

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:23:08

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)

Modern Quantum Physics of Solids part 2/ Квантовая физика твердого тела, часть 2

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 2

аудиторные занятия

32

курсовая работа 2

самостоятельная работа

49

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	Неделя 17			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Итого ауд.	32	32	32	32
Контактная работа	32	32	32	32
Сам. работа	49	49	49	49
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

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

Рабочая программа

Modern Quantum Physics of Solids part 2/ Квантовая физика твердого тела, часть 2

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-МФ3-23-3А.plx Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, 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, Quantum Physics for Advanced Materials Engineering/ Квантовая физика для современной инженерии материалов, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 23.06.2022 г., №7/22

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.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Management of Quality / Менеджмент качества	
2.1.2	Modern methods of structural characterisation of micro- and nano-systems/Современные методы диагностики и исследования материалов, нано- и микросистем	
2.1.3	Modern Quantum Physics of Solids part 1 / Квантовая физика твердого тела, часть 1	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Modern methods of atomistic simulation / Современные методы атомистического моделирования	
2.2.2	Physics of Low Dimensional Systems / Физика низкоразмерных систем	
2.2.3	Сверхпроводящие цепи и кубиты	
2.2.4	Master's Thesis / Преддипломная практика	
2.2.5	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни	
Знать:	
УК-6-31 Основные принципы физики твердого тела;	
УК-6-32 Основные физические принципы современной электронной теории твердых тел;	
УК-6-33 Основные физические принципы современной электронной теории нормальных металлов и сверхпроводников;	
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, вырабатывать стратегию действий	
Знать:	
УК-1-31 Основные задачи и проблемы современной электронной теории твердых тел;	
УК-1-32 Основные технологические направления для применений современной электронной теории твердых тел;	
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики	
Уметь:	
ПК-1-У3 Находить новые математические методы решения задач физики твердого тела	
ПК-1-У1 Используя интернет или библиотеку, быстро и эффективно находить современные научные статьи, обзоры или специальную литературу по заданной области или конкретной проблеме физики конденсированного состояния;	
ПК-1-У2 Наглядно представить результаты своей работы;	
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, вырабатывать стратегию действий	
Уметь:	
УК-1-У1 Выбирать новые задачи исходя из опубликованных в научной периодике статей;	
УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни	
Уметь:	
УК-6-У2 Анализировать экспериментальные данные на основе теории физики твердого тела;	

УК-6-У1 Читать учебную, справочную и специальную литературу по физике твердых тел, понимать и правильно интерпретировать прочитанное;
ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики
Владеть:
ПК-1-В1 Навыками представлять основные теоретические положения по заданной теме;
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, вырабатывать стратегию действий
Владеть:
УК-1-В1 Основными методами численного и аналитического расчета основных термоэлектрических свойств твердых тел;
УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни
Владеть:
УК-6-В1 Применять на практике навыки самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях;

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. Магнитные свойства твердых тел /Magnetic properties of solids							
1.1	Магнетизм. Диамагнетизм и парамагнетизм. Природа этих эффектов и различные вклады в магнитную восприимчивость. /Magnetism. Diamagnets and paramagnets. The nature of these effects and the various contributions to the magnetic susceptibility. /Лек/	2	2	УК-6-31 УК-6-32 УК-6-33 УК-6-У1	Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.3 Л2.4 Э1			
1.2	Природа и типы обменного взаимодействия /Nature and types of exchange interaction /Лек/	2	2	УК-1-31 УК-6-33 УК-6-У1 УК-6-У2	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
1.3	Ферромагнетизм. Температурная зависимость намагниченности и закон дисперсии магнонов в ферромагнетиках. Домены. /Ferromagnetism. Temperature dependence of magnetization and magnon dispersion law in ferromagnets. Domains. /Лек/	2	2	УК-6-31 УК-6-32 ПК-1-У3	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			

1.4	Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Температурная зависимость и анизотропия намагниченности в антиферромагнетиках. Закон дисперсии магнонов. Экспериментальные методы обнаружения и исследования антиферромагнетиков. /Anti ferromagnetism and ferrimagnetism. Temperature dependence and anisotropy of magnetization in antiferromagnets. Magnon dispersion law. Experimental methods for the detection and study of antiferromagnets. /Лек/	2	2	УК-1-31 УК-6-31 УК-6-32 УК-6-33 УК-6-У2	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
1.5	Магнитный резонанс. Адиабатическое размагничивание. /Magnetic resonance. Adiabatic demagnetization. /Лек/	2	2	УК-6-32 УК-6-33 УК-6-У1	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
1.6	Дополнительные вопросы магнетизма. Магнитные фрустрации и спиновые стекла. Зонный ферромагнетизм (Стонеровская неустойчивость). Спин-орбитальное взаимодействие в металлах. /Additional questions of magnetism. Magnetic frustrations and spin glasses. Band ferromagnetism (Stoner instability). Spin-orbit interaction in metals. /Лек/	2	2	УК-1-32 УК-1-У1 УК-6-31 УК-6-32 УК-6-33 УК-6-У1 УК-6-У2	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
	Раздел 2. Дополнительные разделы физики твердого тела. /Additional topics in solid state physics.							
2.1	Дефекты в кристаллах. Прыжковая проводимость. /Defects in crystals. hopping conductivity. /Лек/	2	2	УК-6-31 УК-6-32 УК-6-33 УК-6-У1 УК-6-У2	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
2.2	Волны зарядовой плотности. /Waves of charge density. /Лек/	2	1	УК-6-31 УК-6-32 ПК-1-У3	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
2.3	Рамановская спектроскопия. Перовскиты. /Raman spectroscopy. Perovskites. /Лек/	2	1	УК-1-31 УК-6-У1 УК-6-У2	Л1.1 Л1.1Л2.4 Э1			
	Раздел 3. Практические занятия / Workshops							

3.1	Рассеяние электрона с переворотом спина. Вклад магнитного рассеяния в электросопротивление в эффекте Кондо. /Scattering of an electron with spin flip. The contribution of magnetic scattering to the electrical resistance in the Kondo effect. /Пр/	2	2	УК-6-31 УК-6-32 УК-6-В1	Л1.1 Л1.1Л2.4			
3.2	Прецессия спина в магнитном поле. Магнитный резонанс и измерение обменных полей в магнетиках методом рассеяния мюонов. /Spin precession in a magnetic field. Magnetic resonance and measurement of exchange fields in magnets by the method of muon scattering. /Пр/	2	2	УК-1-В1 УК-6-31 УК-6-32 УК-6-33 УК-6-В1	Л1.1 Л1.1Л2.4			
3.3	Контрольная работа по разделам 6-7. /Control work on sections 6-7. /Пр/	2	2	УК-1-В1 УК-6-31 УК-6-У2	Л2.4			
3.4	Защита курсовой работы /Coursework defense /Пр/	2	2	УК-6-В1 ПК-1-У2 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.3Л3.1			
3.5	Решение задач по разделам курса 1-7 /Solving problems in sections of the course 1-7 /Пр/	2	8	УК-1-В1 УК-6-31 УК-6-32 УК-6-У2	Л1.1Л2.3 Л2.4			
	Раздел 4. Освоение учебных материалов по разделам 6-7. Написание отчета по курсовой работе /Development of educational materials in sections 6-7. Writing a coursework report							
4.1	Освоение учебных материалов по разделам 6-7. Подготовка к экзамену. Написание отчета и подготовка презентации по курсовой работе /Development of educational materials in sections 6-7. Exam preparation. Writing a report and preparing a presentation on course work /Ср/	2	49	УК-6-В1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.1 Л1.1 Л2.3 Э1			

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 / Exam		Вопросы к экзамену по курсу: 1. Различные вклады в магнитную восприимчивость парамагнетиков и их температурная зависимость. 2. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм в приближении среднего поля: температурная зависимость их магнитной восприимчивости и намагниченности.

		<p>3. Спиновые волны в ферро- и антиферромагнетиках. Их закон дисперсии. Магноны.</p> <p>4. Вклад магнонов в температурную зависимость теплоемкости в ферро- и антиферромагнетиках.</p> <p>5. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетиков. Результат среднего поля, экспериментальный и теоретический с участием магнонов.</p> <p>6.* Природа магнитного обменного взаимодействия.</p> <p>7.* Дефекты в кристаллах.</p> <p>8.* Прыжковая проводимость.</p> <p>9.* Адиабатическое размагничивание как метод охлаждения.</p> <p>10. Спиновые очки и фрустрированные магнетики.</p> <p>11. Движение электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха.</p> <p>12. Приближения слабой и сильной связи для расчета энергетических спектров металлов.</p> <p>13. Термоэлектронные явления в металле. Закон Видемана-Франца.</p> <p>14. Эффект Пельтье. Термо э.д.с.</p> <p>15. Металл в высокочастотном электромагнитном поле. Эффект нормальной кожи.</p> <p>16. Аномальный скин-эффект. Концепция неэффективности.</p> <p>17. Диамагнетизм Ландау и парамагнетизм Паули идеального ферми-газа.</p> <p>18. Уровни Ландау. Энергетический спектр электрона в магнитном поле.</p> <p>19. Сверхпроводимость (общие свойства).</p> <p>20. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Вихри Абрикосова.</p> <p>21. Куперовские пары (природа притяжения между электронами в металле). Теория Бардина-Купера-Шриффера (теория БКШ). Чем определяется температура сверхпроводящего перехода (в приближении слабой связи)?</p> <p>22. Теория Гинзбурга-Ландау фазового перехода второго рода.</p> <p>23. Температурная зависимость параметра порядка вблизи фазового перехода второго рода.</p> <p>24. Границы применимости теории Гинзбурга-Ландау, критерий Гинзбурга-Леванюка.</p> <p>25. Эффект Джозефсона (стационарный и нестационарный). Его применение. /</p> <p>Questions for the exam for the course:</p> <p>1. Various contributions to magnetic susceptibility of paramagnets and their temperature dependence.</p> <p>2. Ferromagnetism and antiferromagnetism in the mean-field approximation: temperature dependence of their magnetic susceptibility and magnetization.</p> <p>3. Spin waves in ferro- and antiferromagnets. Their dispersion law. Magnons.</p> <p>4. Magnon contribution to the temperature dependence of heat capacity in ferro- and antiferromagnets.</p> <p>5. Temperature dependence of magnetization of ferromagnetics. Mean-field result, experimental, and theoretical with contribution from magnons.</p> <p>6.* Nature of magnetic exchange interaction.</p> <p>7.* Defects in crystals.</p> <p>8.* Hopping conductivity.</p> <p>9.* Adiabatic demagnetization as a cooling method.</p> <p>10. Spin glasses and frustrated magnetics.</p> <p>11. Movement of an electron in a periodic potential. Bloch's theorem.</p> <p>12. Approximations of weak and strong coupling for calculating the energy spectra of metals.</p> <p>13. Thermoelectronic phenomena in metal. Wiedemann-Franz law.</p> <p>14. Peltier effect. Thermo-emf.</p> <p>15. Metal in a high-frequency electromagnetic field. Normal skin effect.</p> <p>16. Abnormal skin effect. Inefficiency concept.</p> <p>17. Landau diamagnetism and Pauli paramagnetism of an ideal Fermi gas.</p> <p>18. Landau levels. Energy spectrum of an electron in a magnetic field.</p> <p>19. Superconductivity (general properties).</p> <p>20. Superconductors of the 1st and 2nd kind. Vortexes of Abrikosov.</p>
--	--	---

			<p>21. Cooper pairs (the nature of attraction between electrons in a metal). The Bardeen - Cooper - Schrieffer theory (BCS theory). What determines the temperature of the superconducting transition (in the weak coupling approximation)?</p> <p>22. Ginzburg-Landau theory of phase transition of the second kind.</p> <p>23. Temperature dependence of the order parameter near a second-order phase transition.</p> <p>24. Limits of applicability of the Ginzburg-Landau theory, the Ginzburg -Levanyuk criterion.</p> <p>25. Josephson effect (stationary and non-stationary). Its application.</p>
--	--	--	--

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

Примеры задач для контрольной работы: (УК-5.2-31 УК-1.1-У1 УК-1.1-В1 ОПК-4.1-У1 ОПК-4.1-31 УК-5.1-31 УК-1.1-31 ПК-1.2-31 УК-5.2-У1 УК-5.2-В1 ОПК-4.1-В1 УК-5.1-У1 УК-5.1-В1 ПК-1.2-У1 ПК-1.2-В1)

1. 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?
2. 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.
3. Найти вклад в теплоемкость от магнонов в ферромагнетиках и в антиферромагнетиках. Сравнить результат со вкладом от фононов.

Темы курсовых: (УК-5.2-31 УК-1.1-У1 УК-1.1-В1 ОПК-4.1-У1 ОПК-4.1-31 УК-5.1-31 УК-1.1-31 ПК-1.2-31 УК-5.2-У1 УК-5.2-В1 ОПК-4.1-В1 УК-5.1-У1 УК-5.1-В1 ПК-1.2-У1 ПК-1.2-В1)

1. Уровни Ландау электрона во внешнем магнитном поле.
2. Квантовые осцилляции намагниченности в металлах: эффект де Гааза-ван Альфена.
3. Квантовый эффект Холла.
4. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау.
5. Магнитная восприимчивость двумерного идеального ферми-газа.
6. Измерение эффектов де Гааза - ван Альфена и Шубникова - де Гааза
7. Ферромагнетизм локализованных электронов (модель Хаббарда).
8. Влияние магнитного поля на эффект Джозефсона в сверхпроводнике.
9. Эффект Ааронова-Бома и его наблюдения.
10. Явления переноса в неупорядоченных средах.
11. Сложные металлические сплавы
12. Аэрогели и опалы
13. Жидкие кристаллы
14. Экспериментальное определение структуры кристаллов методом дифракции рентгеновских лучей и электронов
15. Дифракция рентгеновских лучей в аморфных веществах
16. Число независимых компонент тензора модулей упругости
17. Упругая изотропия и поперечная упругая изотропия
18. Локализованные колебательные моды
19. Примеры эйнштейновских твердых тел
20. Тепловые и упругие аномалии в стеклах при низких температурах
21. Перенос тепла в изотопически чистых кристаллах
22. Возможные реализации квантовых битов в физике конденсированного состояния.
23. Цилиндрические магнитные домены
24. Доменные стенки Блоха и Нееля
25. Скачок теплоемкости антиферромагнетика в точке Нееля
26. Типы магнитных структур в редкоземельных металлах
28. Спиновые стекла
29. Проводимость с переменной длиной прыжка в гранулярных проводниках
30. Зонная структура и свойства графена
31. Свойства углеродных нанотрубок
32. Экспериментальное определение магнитной структуры кристаллов методом дифракции нейтронов
33. Теория Гинзбурга-Ландау фазовых переходов 2 рода.
34. Волны зарядовой или/и спиновой плотности в металлах.
35. Рамановская спектроскопия и ее применения.
36. Дефекты в кристаллах
37. Майорановские фермионы в твердом теле
38. Топологические изоляторы и полуметаллы
39. Вейлевские полуметаллы в твердых телах

Вопросы для самостоятельной подготовки к коллоквиуму (УК-5.2-31 ОПК-4.1-31 УК-5.1-31 УК-1.1-31 ПК-1.2-31):

1. Структура периодически-упорядоченных кристаллов.
2. Обратная решетка периодически-упорядоченных 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 твердых тел. Температура Дебая.
10. Нормальные моды монокристаллической 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).

Questions for the exam for the course "Modern Quantum Theory of Solids" (УК-5.2-31 ОПК-4.1-31 УК-5.1-31 УК-1.1-31 ПК-1.2 -31):

Part 1:

1. The structure of periodically-ordered crystals.
2. The reciprocal lattice of periodically ordered crystals. Brillouin zone.
3. Methods for experimental determination of crystal structure.
4. Classification of Bravais lattices.
5. Incommensurably modulated crystals. Quasicrystals.
6. Liquid crystals and polymers; examples.
7. Substances in an amorphous state. Gels, airgels and opals.
8. Effect of temperature on X-ray scattering; the Debye-Waller factor.
9. Specific heat of solids.
- 10.* Methods for determining the Debye temperature.
11. Normal modes of a monoatomic linear chain.
12. Normal modes of a diatomic linear chain; gap in the spectrum of vibrational excitations.
- 13.* Normal vibrational modes of the Bravais lattice and lattices with a basis in two-dimensional and three-dimensional cases.
14. Density of vibrational states.
- 15.* Number of independent components of the modulus tensor of elasticity of crystals and amorphous media.
16. Interatomic interactions and coupling in solids.
17. Thermal conductivity.
18. Phonon umklapp scattering processes.
19. Metals, semimetals, semiconductors, dielectrics. Understanding the graphs of the band structure.
- 20.* The principle of operation of the simplest semiconductor devices: a diode, a photodiode, a solar battery, a laser, a transistor.
21. Dielectrics. Various contributions to the polarizability of dielectrics.
22. Frequency dependence of dielectric permittivity and susceptibility of dielectrics. Its description with the help of forced

oscillations.

23. Calculation of the orientation susceptibility.
24. Complex dielectric permittivity and its physical meaning.
25. Ferroelectrics and piezoelectrics.

Part 2:

1. Various contributions to magnetic susceptibility of paramagnets and their temperature dependence.
2. Ferromagnetism and antiferromagnetism in the mean-field approximation: temperature dependence of their magnetic susceptibility and magnetization.
3. Spin waves in ferro- and antiferromagnets. Their dispersion law. Magnons.
4. Magnon contribution to the temperature dependence of heat capacity in ferro- and antiferromagnets.
5. Temperature dependence of magnetization of ferromagnetics. Mean-field result, experimental, and theoretical with contribution from magnons.
- 6.* Nature of magnetic exchange interaction.
- 7.* Defects in crystals.
- 8.* Hopping conductivity.
- 9.* Adiabatic demagnetization as a cooling method.
10. Spin glasses and frustrated magnetics.
11. Movement of an electron in a periodic potential. Bloch's theorem.
12. Approximations of weak and strong coupling for calculating the energy spectra of metals.
13. Thermoelectronic phenomena in metal. Wiedemann-Franz law.
14. Peltier effect. Thermo-emf.
15. Metal in a high-frequency electromagnetic field. Normal skin effect.
16. Abnormal skin effect. Inefficiency concept.
17. Landau diamagnetism and Pauli paramagnetism of an ideal Fermi gas.
18. Landau levels. Energy spectrum of an electron in a magnetic field.
19. Superconductivity (general properties).
20. Superconductors of the 1st and 2nd kind. Vortexes of Abrikosov.
21. Cooper pairs (the nature of attraction between electrons in a metal). The Bardeen - Cooper - Schrieffer theory (BCS theory). What determines the temperature of the superconducting transition (in the weak coupling approximation)?
22. Ginzburg-Landau theory of phase transition of the second kind.
23. Temperature dependence of the order parameter near a second-order phase transition.
24. Limits of applicability of the Ginzburg-Landau theory, the Ginzburg-Levanyuk criterion.
25. Josephson effect (stationary and non-stationary). Its application.

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

Экзаменационный билет состоит из трёх теоретических вопросов / The examination paper consists of three theoretical questions

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

Оценка	Критерии оценивания на коллоквиуме
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.

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
Л2.4	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
Л3.1	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	https://lms.misis.ru/courses/8385
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 https://elibrary.ru/	
И.3	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):	
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com	
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com/	
И.6	— наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com	
И.7	— научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/	

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 I семестр и организуется в соответствии с настоящей программой. Аттестация по дисциплине предусмотрена в виде зачета с оценкой.

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

Самостоятельная работа студентов осуществляется и контролируется с помощью:

- контрольной работы с задачами;
- коллоквиума.