

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 27.04.2023 16:31:11

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Введение в физику твердого тела

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.03.02 ФИЗИКА

Профиль

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

Формы контроля в семестрах:
зачет с оценкой 7

в том числе:

аудиторные занятия 68

самостоятельная работа 76

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
	18			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	38	34	38
Лабораторные	34		34	
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	76	76	76	76
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

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

Рабочая программа

Введение в физику твердого тела

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.03.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.03.02 ФИЗИКА, 03.03.02-БФ3-22.plx , утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.03.02 ФИЗИКА, , утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

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.В.ДВ.09
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Высшая математика. Спецглавы.	
2.1.2	Квантовая механика	
2.1.3	Методы исследования материалов	
2.1.4	Фазовые равновесия и структурообразование	
2.1.5	Физика поверхности	
2.1.6	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.7	Линейная алгебра	
2.1.8	Методы контроля и анализа веществ	
2.1.9	Теория поверхностных явлений	
2.1.10	Теория функций комплексных переменных	
2.1.11	Техника физико-химического эксперимента	
2.1.12	Электродинамика	
2.1.13	Кристаллография	
2.1.14	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.15	Методы математической физики	
2.1.16	Теоретическая механика и основы теории упругости.	
2.1.17	Физика	
2.1.18	Электротехника	
2.1.19	Математика	
2.1.20	Органическая химия	
2.1.21	Информатика	
2.1.22	Химия	
2.1.23	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Квантовые вычисления	
2.2.2	Методы вычислительной физики	
2.2.3	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.4	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.5	Статистические расчеты равновесий	
2.2.6	Теоретическая нанофотоника	
2.2.7	Фотоника	
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.9	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.10	Термодинамика неравновесных процессов	
2.2.11	Термодинамика сложных систем	
2.2.12	Физика низкоразмерных систем	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности, осуществлять моделирование и анализ для проведения детальных исследований и поиска решения технических вопросов в соответствующей области исследования

Знать:

ОПК-1-31 Основные физические принципы современной электронной теории нормальных металлов и сверхпроводников

Уметь:

ОПК-1-У1 анализировать экспериментальные данные на основе теории физики твердого тела

Владеть:

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/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.1Л2.3 Л2.5Л3.1 Э1			
	Раздел 2. Структура и упругие свойства кристаллов							
2.1	Кристаллическая структура и методы ее исследования. /Лек/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
2.2	Жидкие кристаллы и квазикристаллы /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л1.1 Л2.5 Э1			
2.3	Типы связи в твердых телах /Лек/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
2.4	Упругие свойства кристаллов (классическая теория упругости) /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.5 Э1			
2.5	Фононы. Их классификация и закон дисперсии /Лек/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
	Раздел 3. Электронные свойства нормальных металлов							
3.1	Вырожденный газ Ферми. Его теплоемкость. История развития области: теории Друде и Зоммерфельда. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
3.2	Электроны в кристаллической решетке и их закон дисперсии в приближениях сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Поверхность Ферми. /Лек/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.5 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/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			

3.4	Термоэлектрические эффекты в металлах. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
3.5	Металлы в магнитном поле. Магнитосопротивление и эффект Холла. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
3.6	Металлы в высокочастотном электромагнитном поле. Скин-эффект. /Лек/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
Раздел 4. Практические занятия								
4.1	Электронный спектр одномерной цепочки (дираковская гребенка)- точное решение и решение в приближении слабой связи. /Лек/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л3.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л1.1Л2.5			
4.2	Движение электрона в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях. Скорость дрейфа. Магнитосопротивление. /Л1 р/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
4.3	Вычисление компонент тензора проводимости в эффекте Холла для двумерного электронного газа, квазиклассический предел. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
4.4	Рассеяние электрона с переворотом спина. Вклад магнитного рассеяния в электросопротивление в эффекте Кондо. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
4.5	Вычисление термо-эдс термопары, эффект Пельтье в контакте двух проволок из разных металлов. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
4.6	Решение уравнения Шредингера для электрона в магнитном поле : плотность состояний, степень вырождения уровней Ландау. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
4.7	Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с уровнями Ландау. Осциллирующая часть магнитного момента ферми-газа. /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
4.8	Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с двумя магнитными подзонами: парамагнетизм Паули. Парамагнитная восприимчивость идеального ферми-газа. /Пр/	7	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			

4.9	Контрольная работа по разделам 1-2 /Пр/	7	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			Р1
4.10	Решение задач по разделам курса 1-7 /Пр/	7	12	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Э1			
Раздел 5. Освоение учебных материалов по разделам 1-3								
5.1	Освоение учебных материалов по разделам 1-3 /Ср/	7	76	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5Л3. 2 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	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<ol style="list-style-type: none"> 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.
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы

P1	контрольная работа в конце практического занятия	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	<p>Примеры задач для контрольной работы :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. В германии при $T=300$ К наблюдается подвижность электронов $\mu=4800$. Каково время релаксации импульса и дрейфовая скорость в поле $E=1$В/см? Учсть, 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 экзаменационного билета (1 семестр):

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 экзаменационного билета (2 семестр):

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.

Пример экзаменационного билета приведен в приложении

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	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, ПК с 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, ПК с 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.