

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 12:38:01

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)

Сверхпроводящие цепи и кубиты

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

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

34

курсовая работа 3

самостоятельная работа

74

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	74	74	74	74
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

кфмн, старший научный сотрудник, Фистуль Михаил Викторович; дфмн, профессор, Мухин Сергей Иванович

Рабочая программа

Сверхпроводящие цепи и кубиты

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-МФ3-22-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, 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	Ознакомление специалистов с теоретическими основами работы различных сверхпроводящих систем в макроскопическом квантовом режиме. Будут рассмотрены вопросы, связанные с выбором параметров этих систем, влиянием температуры и диссипации, взаимодействием с микроволновым излучением и измерением макроскопических квантовых эффектов.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Введение в современные квантовые технологии ч.2	
2.1.2	Квантовая физика твердого тела	
2.1.3	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности. Научно-исследовательская практика	
2.1.4	Спектроскопические методы анализа материалов	
2.1.5	Введение в современные квантовые технологии ч.1	
2.1.6	Квантовая криптография и связь	
2.1.7	Квантовая механика и статистика наночастиц	
2.1.8	Математика квантовых технологий	
2.1.9	Нелинейная физика	
2.1.10	Философские вопросы естествознания	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-3: способность планировать и осуществлять комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых технологий
Знать:
ПК-3-31 основные идеи, лежащие в основе методов теоретического исследования объектов квантовой электроники; основные методы реализации конкретных задач квантовой электроники, их преимущества и практические уязвимости устройств; методы и способы лабораторных исследований в области квантовой электроники и техники физического эксперимента; основные задачи и проблемы современной квантовой физики
УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
Знать:
УК-2-31 фундаментальные свойства сверхпроводящих систем
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
Знать:
УК-1-31 физическую картину явлений, происходящих в сверхпроводящих цепях и кубитах
ПК-3: способность планировать и осуществлять комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых технологий
Уметь:
ПК-3-У1 обосновывать правомерность допущений и приближений, используемых при решении задач; анализировать существующие методы квантовой механики, электродинамики и техники физического эксперимента, выбирать и адаптировать методы в зависимости от задачи; использовать современное приборно-вычислительное оснащение лаборатории сверхпроводящих систем, применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты; читать учебную, справочную и специальную литературу по сверхпроводящей и квантовой электронике, понимать и правильно интерпретировать прочитанное; вести поиск необходимой информации в специальной и справочной литературе и на интернет – ресурсах
УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла

Уметь:
УК-2-У1 применять методы квантовой механики, электродинамики и техники физического эксперимента к описанию свойств сверхпроводящих цепей и кубитов
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
Уметь:
УК-1-У1 проводить простые оценки и расчеты величин, характерных для рассматриваемых процессов и явлений
ПК-3: способность планировать и осуществлять комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых технологий
Владеть:
ПК-3-В1 базовыми навыками исследований и работы в лаборатории, моделирования объектов и процессов; навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях; навыком применения при решении поставленных задач логического творческого, системного мышления
УК-2: Способен интегрировать знания и принимать решения в сложных ситуациях, формулировать суждения на основе неполной или ограниченной информации, управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
Владеть:
УК-2-В1 навыками качественного и количественного анализа фундаментальных свойств, явлений и процессов в сверхпроводящих цепях и кубитах
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
Владеть:
УК-1-В1 базовыми идеями и методами анализа сверхпроводящих систем в квантовом режиме

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. Сверхпроводящие системы: потенциал, эффективная масса, уровни энергии, частота осцилляций							
1.1	Сверхпроводящие системы: потенциал, эффективная масса, уровни энергии, частота осцилляций /Лек/	3	5	УК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
1.2	Сверхпроводящие системы: потенциал, эффективная масса, уровни энергии, частота осцилляций /Пр/	3	5	УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
1.3	Сверхпроводящие системы: потенциал, эффективная масса, уровни энергии, частота осцилляций /Ср/	3	10	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
	Раздел 2. Макроскопические квантовые эффекты: температура, диссипация, взаимодействие с микроволновым излучением							

2.1	Макроскопические квантовые эффекты: температура, диссипация, взаимодействие с микроволновым излучением /Лек/	3	3	УК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
2.2	Макроскопические квантовые эффекты: температура, диссипация, взаимодействие с микроволновым излучением /Пр/	3	3	УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			Р1
2.3	Макроскопические квантовые эффекты: температура, диссипация, взаимодействие с микроволновым излучением /Ср/	3	10	УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
Раздел 3. Методы измерений макроскопических квантовых эффектов								
3.1	Методы измерений макроскопических квантовых эффектов /Лек/	3	3	УК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
3.2	Методы измерений макроскопических квантовых эффектов /Пр/	3	3	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			Р1
3.3	Методы измерений макроскопических квантовых эффектов /Ср/	3	10	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
Раздел 4. Макроскопическое квантовое туннелирование (МКТ)								
4.1	Макроскопическое квантовое туннелирование (МКТ) /Лек/	3	2	УК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
4.2	Макроскопическое квантовое туннелирование (МКТ) /Пр/	3	2	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			Р1
4.3	Макроскопическое квантовое туннелирование (МКТ) /Ср/	3	10	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
Раздел 5. Раби-осцилляции, Рамзи полосы и «спин-эхо» эффект								
5.1	Раби-осцилляции, Рамзи полосы и «спин-эхо» эффект /Лек/	3	2	ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
5.2	Раби-осцилляции, Рамзи полосы и «спин-эхо» эффект /Пр/	3	2	ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			Р1
5.3	Раби-осцилляции, Рамзи полосы и «спин-эхо» эффект /Ср/	3	10	ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
Раздел 6. Зарядовый кубит								
6.1	Зарядовый кубит /Лек/	3	2	ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			

6.2	Зарядовый кубит /Пр/	3	2	ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			P1
6.3	Зарядовый кубит /Ср/	3	6	ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1			
Раздел 7. Курсовая работа								
7.1	Курсовая работа /Ср/	3	18	УК-1-31 УК-1-У1 УК-2-31 УК-2-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 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	УК-2-31;УК-1-31;ПК-3-31	<p>1. Что такое кубит? Состояния классического бита и кубита. Математическое описание логических операций с одним кубитом (NOT, фазовый сдвиг, «sqrt (NOT)», Hadamard).</p> <p>2. Сравнение «логического» и «адиабатического» квантовых компьютеров.</p> <p>3. Импульсная техника для логических операций с одиночным кубитом. Одиночный спин в переменном магнитном поле.</p> <p>4. SWAP и CNOT логические операции. Квантовая запутанность. Состояния Белла. Как получить состояния Белла.</p> <p>5. Невозможность квантового копирования. Квантовая запутанность. Принципы квантовой телепортации</p> <p>6. Адиабатический квантовый компьютер. Пример одиночного спина. Ландау-Зинер туннелирование.</p> <p>7. Принципы Di Vincenzo (построение квантового компьютера). Что такое диссипация и декогерентность. Простые квантовые эффекты: квантовые биения и Раби осцилляции.</p> <p>8. Как реализовать квантовый компьютер в ионных ловушках?</p> <p>9. Сравнить квантовый компьютер на дефектах в кремнии и алмазе.</p> <p>10. Квантовый компьютер на квантовых точках.</p> <p>11. Сверхпроводящие кубиты (сравнить фазовые, зарядовые и «флак» кубиты).</p> <p>12. Макроскопическое квантовое туннелирование.</p> <p>13. Раби осцилляции в сверхпроводящих кубитах. Затухание Раби осцилляций. Полосы Рамзи.</p> <p>14. Измерение состояний сверхпроводящих кубитов</p>

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	письменный опрос на каждом практическом занятии	УК-2-31;УК-1-31;ПК-3-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-В1;ПК-3-В1;ПК-3-У1;УК-1-У1	Пример задачи из письменного опроса Задача 1. Рассчитать коэффициенты прохождения и отражения для метаматериала на основе жидкого кристалла с различными параметрами порядка.
P2	курсовая работа	УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1	Пример тем: Исследование сверхпроводящих кубитов Квантовые биения и Раби осцилляции.

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

Экзаменационный билет состоит из 3 вопросов.

Пример экзаменационного вопроса:

1. Адиабатический квантовый компьютер.
2. Простые квантовые эффекты: квантовые биения и Раби осцилляции.
3. Макроскопическое квантовое туннелирование.

Пример экзаменационного билета в Приложении.

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

«Отлично» Обучающийся демонстрирует:

- глубокие знания содержания изученной дисциплины во взаимосвязи с другими дисциплинами;
- способность использовать теоретические знания при выполнении практических заданий;
- аргументированные, исчерпывающие ответы на все вопросы по билету, а также дополнительные вопросы экзаменатора;
- умение выполнять и обосновывать решение практических заданий высокого уровня сложности;
- наличие собственной обоснованной позиции по обсуждаемым вопросам;
- свободное использование в ответах на вопросы материалов рекомендованной основной и дополнительной литературы

«Хорошо» Обучающийся демонстрирует:

- знание основных терминов по содержанию изученной дисциплины;
- твердые знания теоретического материала;
- умение дать четкие ответы на поставленные вопросы;
- умение решать практические задания;
- владение основной литературой, рекомендованной программой дисциплины.

Допускаются незначительные неточности в ответах на теоретические вопросы и при выполнении практических заданий

«Удовлетворительно» Обучающийся демонстрирует:

- знания теоретического материала по изученной дисциплине;
- неполные ответы на основные вопросы, допуская ошибки в ответе; недостаточное понимание сущности излагаемых вопросов;
- неточные ответы на дополнительные вопросы;
- умение выполнять практические задания без грубых ошибок;
- недостаточное владение литературой, рекомендованной программой дисциплины

«Неудовлетворительно» Обучающийся демонстрирует:

- существенные пробелы в знаниях учебного материала;
- принципиальные ошибки при ответе на основные вопросы билета, отсутствие знаний и понимания основных терминов и определений;
- непонимание сущности дополнительных вопросов в рамках заданий билета;
- отсутствие навыка или существенные ошибки при выполнении практических заданий;
- незнание литературы, рекомендованной программой дисциплины

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., Гусев А. А.	Введение в физику твердого тела: учеб. руководство	Библиотека МИСиС	М.: МедиаСтар, 2006
Л1.2	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Фейнман Р. П.	Теория фундаментальных процессов	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1978

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Кринчик, Г.С. Физика магнитных явлений / Г.С. Кринчик. – Москва : Московский университет, 1976. – 368 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483364 . – Текст : электронный.	http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483364
----	--	---

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr
-----	---

П.2	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.3	Microsoft Office
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	Иностраные 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 Учебная аудитория	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест
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

<p>Самостоятельная работа обучающихся является формой организации образовательного процесса по дисциплине, стимулирующей активность, самостоятельность и познавательный интерес студентов.</p> <p>Самостоятельная работа обучающихся предусматривает углубленное изучение разделов и тем дисциплины, основных и дополнительных источников учебной и научной литературы, подготовку докладов, выполнение курсовых работ.</p> <p>Материалы докладов, курсовых работ в дальнейшем могут быть использованы при выполнении студенческих научных исследований и стать основой для подготовки выступлений на студенческих научно-практических конференциях, участия в конкурсах.</p> <p>Самостоятельная работа направлена на поиск учебной и научной информации, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, на выработку умений и навыков рациональной организации своей деятельности.</p> <p>Самостоятельная работа включает следующие виды деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку лекционных материалов (конспекты, презентации) и учебной литературы; - поиск (подбор) и обзор научной и учебной литературы с использованием библиотечных и электронных образовательных ресурсов, источников информации в сети «Интернет» по изучаемой теме дисциплины; - освоение материала, предусмотренного для самостоятельного изучения; - подготовка к практическим, семинарским и лабораторным занятиям; - выполнение курсовой работы; - подготовка к экзамену.
