

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.09.2023 15:15:31

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)

Квантовые вычисления

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.03.02 ФИЗИКА

Профиль

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия

36

самостоятельная работа

72

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	12	12	12	12
Практические	24	24	24	24
Итого ауд.	36	36	36	36
Контактная работа	36	36	36	36
Сам. работа	72	72	72	72
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

PhD, профессор, Макаров Вадим Викторович

Рабочая программа

Квантовые вычисления

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-БФ3-23.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.03.02 ФИЗИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

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

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	ознакомить студентов с основными направлениями развития квантовых технологий
-----	--

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.12
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Введение в физику полупроводников	
2.1.2	Введение в физику твердого тела	
2.1.3	Квантовая механика. Спецглавы.	
2.1.4	Компьютерные методы в физике	
2.1.5	Методы физико-химических исследований	
2.1.6	Нелинейная физика	
2.1.7	Специальный физический практикум	
2.1.8	Статистическая физика	
2.1.9	Строение некристаллических систем	
2.1.10	Теория химической связи	
2.1.11	Термодинамика металлических растворов	
2.1.12	Физика конденсированного состояния	
2.1.13	Физические свойства твердых тел	
2.1.14	Анализ данных	
2.1.15	Высшая математика. Спецглавы.	
2.1.16	Квантовая механика	
2.1.17	Машинное обучение	
2.1.18	Методы исследования материалов	
2.1.19	Методы обработки статистических данных (анализ данных)	
2.1.20	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.21	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.22	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.23	Фазовые равновесия и структурообразование	
2.1.24	Физика поверхности	
2.1.25	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы	
2.1.26	Линейная алгебра	
2.1.27	Методы контроля и анализа веществ	
2.1.28	Теория поверхностных явлений	
2.1.29	Теория функций комплексных переменных	
2.1.30	Техника физико-химического эксперимента	
2.1.31	Электродинамика	
2.1.32	Кристаллография	
2.1.33	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.34	Методы математической физики	
2.1.35	Теоретическая механика и основы теории упругости.	
2.1.36	Физика	
2.1.37	Электротехника	
2.1.38	Математика	
2.1.39	Органическая химия	
2.1.40	Информатика	
2.1.41	Химия	
2.1.42	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-4: Способен решать задачи физики используя современные методы исследования и математические методы решения задач
Знать:
ПК-4-31 методы исследований в области квантовых технологий, квантовой метрологии и магнитометрии
ПК-3: Способен осуществлять проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований
Знать:
ПК-3-31 критерии анализа и основы управления комплексными проектами квантовых технологий
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 физические платформы, на которых реализованы квантовые вычислители и сенсоры, реализацию алгоритмов и измерений на них
ПК-4: Способен решать задачи физики используя современные методы исследования и математические методы решения задач
Уметь:
ПК-4-У1 объяснять принципы работы основных квантовых технологий, решать задачи, связанные с областью квантовых технологий
ПК-3: Способен осуществлять проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований
Уметь:
ПК-3-У1 ставить задачи и разрабатывать новые стратегические подходы, применять их в управлении комплексными проектами
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
Уметь:
ОПК-1-У1 объяснять принципы работы основных квантовых технологий, решать задачи, связанные с областью квантовых технологий
ПК-4: Способен решать задачи физики используя современные методы исследования и математические методы решения задач
Владеть:
ПК-4-В1 необходимыми знаниями в области физики и математики для решения задач разработки квантовых технологий, в особенности относящимся к квантовым вычислениям и измерениям
ПК-3: Способен осуществлять проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований
Владеть:
ПК-3-В1 навыками управления комплексных проектов квантовых технологий, теоретической физики
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
Владеть:
ОПК-1-В1 математическими моделями квантовых вычислений и измерений и физической интерпретации численных результатов

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. Первая и вторая квантовые революции. Общий обзор. Квантовая вычислительная парадигма							

1.1	Первая и вторая квантовые революции. Общий обзор. Квантовая вычислительная парадигма /Лек/	8	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.1Л2.3Л3. 1 Э1				
1.2	Первая и вторая квантовые революции. Общий обзор. Квантовая вычислительная парадигма /Пр/	8	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л2.3Л1.1 Л1.1Л3.1				
1.3	Первая и вторая квантовые революции. Общий обзор. Квантовая вычислительная парадигма /Ср/	8	24	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1				
Раздел 2. Квантовая физика атомов и молекул									
2.1	Квантовая физика атомов и молекул /Лек/	8	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1 Э1				
2.2	Квантовая физика атомов и молекул /Пр/	8	8	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1				
2.3	Квантовая физика атомов и молекул /Ср/	8	24	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1				
Раздел 3. Твердотельные квантовые технологии									
3.1	Твердотельные квантовые технологии /Лек/	8	5	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1 Э1				
3.2	Твердотельные квантовые технологии /Пр/	8	6	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1			P1	

3.3	Твердотельные квантовые технологии /Ср/	8	24	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1			
Раздел 4. Контрольная работа								
4.1	Контрольная работа /Пр/	8	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.3Л3. 1			
4.2	Коллоквиум /Пр/	8	2	ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1				

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	коллоквиум	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-У1	1. Опишите основные области применения современных квантовых технологий и объясните их принципы. 2. Квантовый объем как характеристика квантовых компьютеров. 3. Основные процессы в квантовой физике атомов и молекул и в квантовой оптике. 4. Временная эволюция квантовых систем. 5. Твердотельные квантовые технологии 6. Квантовое моделирование

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
Р1	контрольная работа в конце практического занятия	ОПК-1-31;ОПК-1-В1;ОПК-1-У1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1	Примеры контрольного задания: 1. Блоховское состояние: (а) произвольное состояние двухуровневой системы; (б) свободная эволюция; (в) эволюция под резонансным приложенным полем с фазой i . 2. Выведите квантово-механический гамильтониан соответствующий классической энергии внутри резонатора через операторы создания и аннигиляции для возбуждений каждой моды и поляризации.

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

Экзаменационный билет состоит из 2 вопросов.

Пример экзаменационного билета (находится в приложении):

1. Квантовый объем как характеристика квантовых компьютеров.
2. Основные процессы в квантовой физике атомов и молекул и в квантовой оптике.

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****6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Ильичев Е. В., Гринберг Я. С.	Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: учебник	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013
Л2.2	Лоудон Р., Скроцкий Г. В.	Квантовая теория света	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1976
Л2.3	Блистанов А. А.	Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учебное пособие для студ. вузов спец. - 'Микроэлектроника и твердотельная электроника', 'Электроника и микроэлектроника'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2007

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т.3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория	Библиотека МИСиС	, 1989

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: МЦНМО, 2000 г, 402 с. Url: https://www.eduspb.com/public/books/classiki/shmidt._vvedenie_v_fiziku_sverhprovodnikov.pdf . Открытый доступ	https://www.eduspb.com/public/books/classiki/shmidt._vvedenie_v_fiziku_sverhprovodnikov.pdf
----	---	---

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	ESET NOD32 Antivirus
П.3	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.4	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	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/
И.8	

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 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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины. Присутствует промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.