

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 02.08.2023 12:57:58

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) Математика квантовых технологий

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

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

47

часов на контроль

27

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	1 (1.1)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	18			
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	47	47	47	47
Часы на контроль	27	27	27	27
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

дфмн, ведущий научный сотрудник, Печень Александр Николаевич

Рабочая программа

Математика квантовых технологий

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 С.И.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	сформировать у учащихся понимание основного математического аппарата, используемого в решении задач квантовых технологий, включая основные понятия квантовых вычислений, квантовой криптографии, теории управления квантовыми системами
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Введение в современные квантовые технологии ч.2	
2.2.2	Лабораторный практикум по квантовой фотонике и криптографии	
2.2.3	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности. Научно-исследовательская практика	
2.2.4	Спектроскопические методы анализа материалов	
2.2.5	Нанопотоника	
2.2.6	Сверхпроводящие цепи и кубиты	
2.2.7	Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике	
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	Квантово-механическое моделирование материалов	
2.2.11	Machine learning сложных систем и квантовой материи	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки	
Знать:	
ОПК-3-31 основные идеи, лежащие в основе методов теоретического исследования объектов квантовой электроники, математические основы квантовой механики	
ПК-3: способность планировать и осуществлять комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых технологий	
Знать:	
ПК-3-32 основные идеи, лежащие в основе математических основ квантовой механики, квантовых систем	
ПК-3-31 методы системного и критического анализа протокола квантовой телепортации	
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 основные задачи и проблемы современной квантовой физики	
ПК-3: способность планировать и осуществлять комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области квантовых технологий	
Уметь:	
ПК-3-У1 применять методы системного подхода и критического анализа для анализа протокола квантовой телепортации	
ПК-3-У2 вести поиск необходимой информации в специальной и справочной литературе и на интернет – ресурсах	
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 читать учебную, справочную и специальную литературу по квантовой электронике, оптике, метрологии, понимать и правильно интерпретировать прочитанное
ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
Уметь:
ОПК-3-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 навыками использования методологии системного и критического анализа протокола квантовой телепортации
ПК-3-В2 навыками использования при решении поставленных задач логического творческого системного мышления
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 навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях
ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
Владеть:
ОПК-3-В1 навыками качественного и количественного анализа фундаментальных свойств, явлений и процессов, основными понятиями теории квантовых схем

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. Квантовые технологии – обзор. Математические основы квантовой механики							
1.1	Квантовые технологии – обзор. Математические основы квантовой механики /Лек/	1	3	ОПК-3-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
1.2	Квантовые технологии – обзор. Математические основы квантовой механики /Пр/	1	2	УК-1-В1 ОПК-3-У1 ПК-3-У2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			Р1
1.3	Квантовые технологии – обзор. Математические основы квантовой механики /Ср/	1	2	ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 2. ЭПР парадокс. Неравенства Белла. Квантовая телепортация							
2.1	ЭПР парадокс. Неравенства Белла. Квантовая телепортация /Лек/	1	2	УК-1-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
2.2	ЭПР парадокс. Неравенства Белла. Квантовая телепортация /Пр/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
2.3	ЭПР парадокс. Неравенства Белла. Квантовая телепортация /Ср/	1	2	ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			

	Раздел 3. Квантовые схемы. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора							
3.1	Квантовые схемы. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора /Лек/	1	3	УК-1-31 ОПК-3-31 ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
3.2	Квантовые схемы. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора /Пр/	1	1	ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
3.3	Квантовые схемы. Алгоритм Гровера. Алгоритм Шора /Ср/	1	10	ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 4. Основы квантовой теории информации. Квантовые каналы. Энтропия фон Неймана							
4.1	Основы квантовой теории информации. Квантовые каналы. Энтропия фон Неймана /Лек/	1	3	ПК-3-31 ПК-3-32	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
4.2	Основы квантовой теории информации. Квантовые каналы. Энтропия фон Неймана /Пр/	1	1	ПК-3-У1 ПК-3-В1 ПК-3-В2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			P1
4.3	Основы квантовой теории информации. Квантовые каналы. Энтропия фон Неймана /Ср/	1	11	ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 5. Квантовая криптография. Протокол BB84							
5.1	Квантовая криптография. Протокол BB84 /Лек/	1	3	УК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
5.2	Квантовая криптография. Протокол BB84 /Пр/	1	5	ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			P1
5.3	Квантовая криптография. Протокол BB84 /Ср/	1	11	ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 6. Управление квантовыми системами							
6.1	Управление квантовыми системами /Лек/	1	3	УК-1-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
6.2	Управление квантовыми системами /Пр/	1	6	ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
6.3	Управление квантовыми системами /Ср/	1	11	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 Э3			
	Раздел 7. Коллоквиум							
7.1	Коллоквиум /Пр/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2			КМ1

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-3-31;УК-1-31;ПК-3-31;ПК-3-32	<p>Вопросы для устного опроса:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вычислить степень чистоты (purity) состояния кубита с вектором Блоха g. 2. Для каждого состояния базиса Белла для системы двух спинов вычислить редуцированные матрицы плотности первой и второй подсистем. 3. Построить унитарную матрицу двухкубитного вентиля SWAP. <p>Примеры вопросов для коллоквиума:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гильбертово пространство. 2. Чистые и смешанные состояния. 3. Базис Белла. 4. Квантовая телепортация. 5. Двухкубитные квантовые вентили. Примеры. <p>Перечень примерных вопросов и заданий к экзамену:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Матрица плотности кубита. Параметризация вектором Блоха. Степень чистоты. 2. Неравенства Белла и нелокальность 3. Квантовая телепортация 4. Теорема о запрете клонирования 5. Квантовое сверхплотное кодирование 6. Алгоритм Гровера 7. Алгоритм нахождения периода и алгоритм Шора 8. Энтропия Шеннона 9. Взаимная информация, пропускная способность канала 10. Протокол квантовой криптографии BB84 11. Управляемость замкнутых квантовых систем <p>Задания (ПК-2.2-У1, УК-5.2-У1, УК-5.2-У2, УК-7.1-У1, ПК-2.2-В1, УК-5.2-В1, УК-5.2-В2, УК-7.1-В1):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить, является ли заданное двухкубитное состояние чистым или смешанным. 2. Построить разложение Шмидта для состояния $(00\rangle + 01\rangle + 10\rangle + 11\rangle)/2$. 3. Вычислить градиент целевого функционала для задачи максимизации вероятности перехода в двухуровневой
-----	---------	----------------------------------	--

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	Контрольный опрос в конце практического занятия:	ОПК-3-31;ОПК-3-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ОПК-3-В1;УК-1-В1;ПК-3-В1;ПК-3-В2	<p>Примеры вопросов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вычислить степень чистоты (purity) состояния кубита с вектором Блоха g. 2. Для каждого состояния базиса Белла для системы двух спинов вычислить редуцированные матрицы плотности первой и второй подсистем. 3. Построить унитарную матрицу двухкубитного вентиля SWAP. <p>Примеры вопросов для коллоквиума (ПК-2.2-31, УК-5.2-31, УК-5.2-32, УК-7.1-31):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Гильбертово пространство. 2. Чистые и смешанные состояния. 3. Базис Белла. 4. Квантовая телепортация. 5. Двухкубитные квантовые вентили. Примеры

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

Пример структуры экзаменационного билета:

1. Теоретический вопрос.
2. Практическое задание.

Пример экзаменационного билета приведен 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	Шень А. Х., Вялый М. Н.	Классические и квантовые вычисления: курс: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2007
Л1.2	Ильчев Е. В., Гринберг Я. С.	Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: учебник	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Китаев, А., Шень, А., Вялый, М. Классические и квантовые вычисления. — М.: МЦНМО, 1999. Url: https://www.mccme.ru/free-books/qcomp/qbook.pdf . Открытый доступ	https://www.mccme.ru/free-books/qcomp/qbook.pdf
Э2	Холево А.С. Квантовые системы, каналы, информация. — М.: МЦНМО, 2014. Url: https://www.mccme.ru/free-books/holevo-quantum.pdf . Открытый доступ	https://www.mccme.ru/free-books/holevo-quantum.pdf
Э3	Кронберг, Д.А., Ожигов, Ю.И., Чернявский, А.Ю. Квантовая криптография: учебное пособие. — МАКС Пресс, 2011. Url: http://sqi.cs.msu.ru/store/storage/ss8dw5n_quantum_cryptography.pdf . Открытый доступ	http://sqi.cs.msu.ru/store/storage/ss8dw5n_quantum_cryptography.pdf

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.3	WinRAR
П.4	Creative Cloud for teams All Apps Multiple Platforms Multi European Language

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
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.
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

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение дисциплины включает:

- рабочую программу дисциплины;
- методические и оценочные материалы.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы включает:

- учебники;
- электронные образовательные ресурсы;

Самостоятельная работа обучающихся является формой организации образовательного процесса по дисциплине, стимулирующей активность, самостоятельность и познавательный интерес студентов.

Самостоятельная работа обучающихся предусматривает углубленное изучение разделов и тем дисциплины, основных и дополнительных источников учебной и научной литературы, проработку аудиторного материала, выполнение домашних заданий.

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.

Самостоятельная работа включает следующие виды деятельности:

- 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;
- выполнение индивидуальных заданий;
- освоение материала, предусмотренного для самостоятельного изучения;
- подготовка к семинарским занятиям;
- подготовка к экзамену.