ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«24» июня 2025 г.
Протокол №2

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Квантовые технологии в действии»

Направление подготовки: *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

Направленность (профиль) подготовки: *Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика»*

Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

Форма обучения: *очная*

Срок освоения программы: *4 года*

Год набора: *2025*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0215B0C000D1B3FEB44A37EE631E0C27D4
Владелец: Ивашкевич Евгений Васильевич
Действителен: с 13.01.2026 до 13.04.2027

Электронный документ

Москва
2025

Содержание

1. **Краткая характеристика дисциплины (модуля)** 3
2. **Перечень планируемых результатов обучения** 5
3. **Тематический план** 7
4. **Содержание дисциплины (модуля)** 8
5. **Учебно-методическое обеспечение** 9
6. **Материально-техническое обеспечение** 9
7. **Методические и оценочные материалы** 11

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Квантовые технологии в действии» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика», утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Квантовые технологии в действии» позволяет понять принципы работы передовых квантовых устройств и их применение в реальных задачах, таких как квантовые вычисления, криптография и сенсоры. Это знание открывает доступ к быстроразвивающейся области, формирующей будущее науки, технологий и экономики.

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Программа двух дипломов НИУ ВШЭ и ЦУ «Прикладная математика и информатика» и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений, как дисциплина по выбору.

Дисциплина (модуль) доступна к изучению на 1, 2, 3 или 4 курсе с 1 по 8 семестры на выбор.

Цель изучения дисциплины (модуля): освоение практических принципов и методов применения квантовых технологий для решения современных научных и технических задач.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

— формирование знаний по темам: основные концепции и терминологию в области квантовых технологий, математический аппарат квантовых технологий, ключевые идеи квантовой механики, связанные с вычислениями, ключевые квантовые алгоритмы и их потенциальные применения, общие принципы обеспечения устойчивости квантовых вычислений, основные подходы к работе с квантовыми системами в лабораторных условиях;

— развитие понимания по темам: различия между классическими и квантовыми подходами к обработке информации, основные математические модели, используемые в квантовых вычислениях, важность коррекции ошибок в квантовых устройствах, физические основы работы некоторых квантовых технологий, возможности и ограничения практического применения квантовых методов;

— освоение умений: работать с простыми квантовыми системами в рамках лабораторных заданий, проводить базовые операции по настройке и тестированию квантовых систем, интерпретировать данные, полученные в ходе экспериментов, оценивать перспективы использования квантовых технологий в различных сферах.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

знать:

— основные концепции и терминологию в области квантовых технологий;

— ключевые идеи квантовой механики, связанные с вычислениями, сенсорикой, криптографией;

— ключевые инженерные компромиссы и технические вызовы при создании реальных квантовых устройств;

— логику протоколов квантовой криптографии и простейших квантовых алгоритмов;

— основные подходы к работе с квантовыми системами в лабораторных условиях;

— математический аппарат и основные математические модели, используемые в квантовых технологиях;

уметь:

— следить за ходом простейших расчётов в бра-кет нотации и выполнять базовые операции с кет-векторами и гейтами;

— собирать и верифицировать цепочки квантовых алгоритмов аналитически и с помощью готовых симуляторов;

— интерпретировать данные, полученные в ходе экспериментов с квантовыми системами;

— проводить базовые операции по настройке и тестированию квантовых систем;

— оценивать перспективы и ограничения практического применения квантовых методов в различных сферах;

— объяснять различия между классическими и квантовыми подходами к обработке информации;

владеть:

— навыками работы с простыми квантовыми системами в рамках лабораторных заданий;

— навыками проведения базовых операций по настройке и тестированию квантовых систем;

— навыками интерпретации данных, полученных в ходе экспериментов;

— пониманием физических основ работы квантовых технологий, их возможностей и ограничений;

— навыками ориентирования в современном ландшафте квантовых технологий и критической оценки заявлений о «квантовом превосходстве»;

— основами методологии получения естественнонаучного знания;

— способностью оценивать потенциал применения квантовых и квантово-вдохновлённых подходов в контексте реальных задач.

2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1.	Знает методы поиска и анализа информации в области разработки, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности
		УК-1.2.	Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем
		УК-1.3.	Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации
УК-2.	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1.	Знает действующие правовые нормы, регулирующие деятельность в области решения задач, основные методы и подходы к определению круга задач
		УК-2.2.	Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения задач, учитывая имеющиеся ресурсы и ограничения
		УК-2.3.	Имеет практический опыт применения знаний о правовых нормах и ресурсах в реальных ситуациях, разработки и реализации решений в соответствии с установленными ограничениями
ОПК-1.	Способен консультировать и использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа	ОПК-1.1.	Знает основные концепции и теории в области математического анализа и смежных дисциплин; методы и подходы, используемые в различных областях

	алгебры, аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики в профессиональной деятельности		математики
		ОПК-1.2.	Умеет применять математические методы для решения профессиональных задач
		ОПК-1.3.	Имеет практический опыт разработки и реализация математических моделей в профессиональной деятельности
ПК-1.	Способен формулировать задачи с математической точностью, обосновывать утверждения строго и анализировать полученные результаты в области математики и компьютерных наук	ПК-1.1.	Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических наук, программирования и информационных технологий
		ПК-1.2.	Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в математике и информатике
		ПК-1.3.	Имеет опыт работы с задачами в области математики и компьютерных наук, включая применение математических методов для решения практических задач

3. Тематический план

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Аудиторная работа		Контроль	Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары (практические занятия)			
1	Физические основы квантовых технологий	2	1		9	Аудиторная работа
2	Что может один фотон?	8	4		20	Аудиторная работа, Домашние задания, Лабораторная работа, Тест
3	Практическая реализация квантовых принципов	12	6		20	Аудиторная работа, Домашние задания, Лабораторная работа, Тест
4	Мощь многих кубитов	8	4		20	Аудиторная работа, Домашние задания, Лабораторная работа, Тест
	Зачет с оценкой					
	Итого:	***30***	***15***		***69***	
Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)		***114***				
Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)		***3***				

4. Содержание дисциплины (модуля)

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание дисциплины (модуля) по темам
1	Физические основы квантовых технологий	Что такое "квантовый"?
2	Что может один фотон?	Квантовые состояния Квантовая интерференция Квантовая криптография А правда ли всё так устроено?
3	Практическая реализация квантовых принципов	Как создаются квантовые технологии? Оптические квантовые технологии Квантовые технологии на практике Квантовые технологии на практике Квантовые технологии на практике Квантовая отрасль
4	Мощь многих кубитов	Квантовая запутанность Квантовые алгоритмы Квантовые вычисления Свободная тема

5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Основная литература:

1. Байков, Ю. А. Нерелятивистская квантовая механика : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов, Н. И. Петров. - Москва : Лаборатория знаний, 2025. - 318 с. - ISBN 978-5-93208-919-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2191836.

2. Пленкин, А. П. Квантово-криптографические сети : учебное пособие / А. П. Пленкин, В. А. Прудников, В. В. Юшицына ; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2024. - 126 с. - ISBN 978-5-9275-4595-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2172867.

Дополнительная литература:

1. Байков, Ю. А. Бра-кет-формализм Дирака в решении квантовых задач : учебное пособие / Ю. А. Байков, Н. И. Петров. – Москва : Лаборатория знаний, 2026. - 95 с. – ISBN 978-5-93208-935-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2249507.

6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

- столами и стульями;
- компьютерной техникой;
- механическими калькуляторами;
- специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

№	Наименование портала (издания, курса, документа)	Ссылка
1.	Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
2.	База данных для IT-специалистов	https://habr.com
3.	База данных ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
4.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации	https://minobrnauki.gov.ru/
5.	Федеральный портал «Российское образование"	https://www.edu.ru/
6.	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
7.	Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	http://school-collection.edu.ru/
8.	Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов	http://fcior.edu.ru/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Наименование ПО	Производство	Лицензионное / свободно распространяемое
Операционные системы:		
Microsoft Imagine (Windows Client, Server)	зарубежное	лицензионное
Браузеры:		
Яндекс.Браузер	отечественное	свободно распространяемое
Google Chrome	зарубежное	свободно распространяемое
Офисные приложения:		
Microsoft Imagine (Visio, OneNote)	зарубежное	лицензионное
TeXstudio	зарубежное	свободно распространяемое
Adobe Acrobat Reader	зарубежное	свободно распространяемое
Программное обеспечение для планирования и учета времени:		
Toggle app	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления проектами:		
Microsoft Imagine (Project)	зарубежное	лицензионное
Системы управления базами данных:		
Microsoft Imagine (SQL Server)	зарубежное	лицензионное
Системы резервного копирования (backup):		
Acronis Backup Advanced for HyperV	зарубежное	лицензионное
Справочно-правовые системы:		
КонсультантПлюс: справочно-правовая система	отечественное	лицензионное
Средства антивирусной защиты:		
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition	отечественное	лицензионное
Среды разработки:		
Visual Studio Code	зарубежное	свободно распространяемое
Bash (Unix shell)	зарубежное	свободно распространяемое

Anaconda	зарубежное	свободно распространяемое
Robotic Operating System	зарубежное	свободно распространяемое
CopelliaSim	зарубежное	свободно распространяемое
Google Colaboratory	зарубежное	свободно распространяемое
Пакеты программных средств и библиотек:		
AutoPsy	зарубежное	свободно распространяемое
Interactive Disassembler (IDA)	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления библиографической информацией:		
Zotero	зарубежное	свободно распространяемое
Сервисы и службы:		
Bind	зарубежное	свободно распространяемое
Docker	зарубежное	свободно распространяемое

7. Методические и оценочные материалы

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Квантовые технологии в действии» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, семинары, домашние задания, лабораторные работы, тесты, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

Лекция – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удается, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

Семинар – это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

Аудиторная работа – активная работа студента на семинаре, его ответы на вопросы преподавателя и участие в дискуссии.

Для успешного участия в семинаре студентам рекомендуется заранее ознакомиться с темой обсуждения, прочитать необходимые материалы и подготовить вопросы. Важно активно слушать и вовлекаться в дискуссию, высказывая свои мнения и аргументируя их. При ответах на вопросы преподавателя стоит быть уверенным, четким и логичным, опираясь на изученный материал. Также полезно поддерживать диалог с однокурсниками, чтобы обогатить обсуждение и расширить свои знания.

Лабораторная работа – учебное занятие, направленное на практическое закрепление теоретических знаний через выполнение экспериментальных или проектных заданий. В ходе лабораторной работы студенты проводят анализ, разработку или тестирование программного кода, изученного в рамках курса.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо внимательно ознакомиться с теоретическим материалом и методическими указаниями. Рекомендуется изучить используемые инструменты и технологии для уверенного их применения на практике. При возникновении вопросов следует обращаться к преподавателю для получения разъяснений.

Домашнее задание – набор задач по темам недели.

При работе над домашними заданиями важно внимательно ознакомиться с требованиями и сроками выполнения. Рекомендуется разбивать задания на этапы, чтобы избежать перегрузки и лучше усвоить материал. Использовать различные источники информации, включая учебники и онлайн-ресурсы, для более глубокого понимания темы.

Тест – особая форма проверки знаний. Проводится после освоения одной или нескольких тем и свидетельствует о качестве понимания основных понятий изучаемого материала. Тестовые задания составлены к ключевым понятиям, основным разделам, важным терминологическим категориям изучаемой дисциплины.

Для подготовки к тесту необходимо знать терминологический аппарат дисциплины, понимать смысл научных категорий и уметь их использовать в профессиональной лексике. Владение понятийным аппаратом, включённым в тестовые задания, позволяет преподавателю быстро проверить уровень понимания студентами важных методологических категорий.

Самостоятельная работа – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов планов и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модулю) «Квантовые технологии в действии»

Оценивание уровня учебных достижений, обучающихся по дисциплине (модулю), осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в форме ***зачета с оценкой***, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом, если иное не указано в силлабусе дисциплины:

Десятибалльная оценка	**Пятибалльная оценка**	**Оценка за зачет**	**Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)**
10	Отлично	Зачтено	Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и глубоко осмысляет дисциплину. Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы,
9	Отлично	Зачтено	
8	Отлично	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
			акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами.
7	Хорошо	Зачтено	Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами.
6	Хорошо	Зачтено	
5	Удовлетворительно	Зачтено	Студент обладает базовыми

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
4	Удовлетворительно	Зачтено	знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования.
3	Не сдан	Не зачтено	Студент не овладел обязательным минимумом знаний по предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы.
2	Не сдан	Не зачтено	
1	Не сдан	Не зачтено	

Дисциплина (модуль) «Квантовые технологии в действии» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Количество	Описание
Накопительная оценка			
Аудиторная работа	30%	15	Примерные вопросы для подготовки к занятию
Домашние задания	10%	9	Набор заданий с развёрнутым ответом по темам недели
Лабораторная работа	30%	3	Закрепление теоретических знаний через выполнение экспериментальных или проектных заданий
Тест	30%	8	Форма проверки знаний студентов через ответы на вопросы с выбором из нескольких вариантов ответов

В рамках изучения дисциплины (модуля) возможно получение бонусных баллов.

Итоговая оценка по дисциплине (модулю) «Квантовые технологии в действии» выставляется по накопительной оценке: «0,3 × среднее за аудиторную работу + 0,1 × среднее за домашние + 0,3 × среднее за лабораторные работы + 0,3 × среднее за тесты»

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)
Примерные задания для подготовки к семинарам
Семинар 1.

1. Что понимается под понятием «квантовые технологии» и какие области науки и техники они охватывают?
2. Каковы ключевые исторические этапы развития квантовой механики и какие открытия стали основополагающими для появления квантовых устройств?
3. В чем заключаются основные фундаментальные принципы квантовой механики, отличающие ее от классической физики?
4. Как определяется квантовое состояние системы и какую роль оно играет в описании квантовых систем?

5. Что такое квантовая суперпозиция, и как это явление используется в современных квантовых технологиях?

Семинар 2.

1. Какие математические структуры и инструменты лежат в основе описания квантовых систем и технологий?
2. Как теоретически моделируются квантовые устройства с использованием математического аппарата квантовой механики?
3. В чем заключаются основные принципы работы квантовых алгоритмов и чем они отличаются от классических алгоритмов?
4. Какие известные квантовые алгоритмы существуют, и какие задачи они позволяют эффективно решать?
5. Как математический аппарат квантовых технологий помогает анализировать и оптимизировать работу квантовых устройств и алгоритмов?

Семинар 3.

1. Как устроена оптическая схема установки для генерации случайного квантового ключа и какие основные этапы в ней выделяются?
2. Что такое поляризация фотона и какие типы поляризации используются в квантовых коммуникациях?
3. Как определяется канонический базис в контексте поляризации фотонов и почему он важен для квантовой криптографии?
4. Какова роль и принцип работы основных оптических элементов: делителя, поляризационного делителя, датчика одиночных фотонов и зеркала?
5. Какие особенности и требования предъявляются к оптическим системам для обеспечения надежной генерации и передачи квантового ключа?

Примерные задания для лабораторной работы

1. Сравнить классические и квантовые вероятностные распределения для заданных физических систем.
2. Рассчитать параметры квантовых состояний одиночного фотона на основе исходных данных.
3. Смоделировать интерференционную картину в виртуальном интерферометре Маха-Цендера.
4. Реализовать симуляцию протокола квантового распределения ключей BB84 в среде программирования.
5. Выполнить статистическую проверку квантового поведения на основе предоставленных экспериментальных данных.
6. Проанализировать архитектуру оптической квантовой схемы и её компоненты.
7. Сравнить технические характеристики различных платформ квантовых вычислений (сверхпроводящие, оптические, ионные).
8. Оценить текущее состояние квантовой отрасли на основе анализа рыночных данных и трендов.
9. Смоделировать явление квантовой запутанности (состояния Белла) с использованием библиотеки Qiskit.
10. Разработать и протестировать квантовую схему для решения задачи выбранной свободной темы**.**

Примерные задания для теста
Тест 1.

Вопрос 1.

Какой результат демонстрирует опыт с двумя щелями при прохождении одиночных частиц (например, электронов) через щели?

A. Частицы всегда проходят через одну из щелей, не создавая интерференции
B. Частицы отражаются от щелей и не проходят через них
C. Частицы создают интерференционную картину, указывая на волновую природу
D. Частицы исчезают после прохождения через щели

Ответ: C.

Вопрос 2.

Какой результат дал эксперимент Штерна–Герлаха, подтверждающий квантовую природу спина?

A. Непрерывное распределение частиц на экране
B. Два дискретных пятна, соответствующих квантованным значениям проекции спина
C. Полное поглощение атомов магнитным полем
D. Случайное рассеяние атомов без закономерностей

Ответ: B.

Вопрос 3.

Что такое кубит в контексте квантовых вычислений?

A. Классическая единица информации, принимающая значения 0 или 1
B. Электрон, вращающийся по орбите
C. Квантовая единица информации, способная находиться в суперпозиции состояний 0 и 1
D. Бит, защищённый от ошибок

Ответ: C.

Вопрос 4.

Какие три основные направления включает в себя квантовая технология (КТ)?

A. Криптография, робототехника, биотехнологии
B. Вычисления, коммуникации, сенсорика
C. Лазеры, микроскопия, телепортация
D. Спектроскопия, нанотехнологии, термодинамика

Ответ: B.

Вопрос 5.

Какое из следующих применений относится к перспективам использования квантовых технологий в будущем?

A. Замена всех классических компьютеров на квантовые в течение 5 лет
B. Создание квантовых устройств, способных моделировать сложные молекулы для разработки новых лекарств
C. Использование квантовых технологий для увеличения скорости света
D. Применение квантовых технологий для создания вечных двигателей

Ответ: B.

Вопрос 6.

Какова основная функция интерферометра Маха–Цендера в квантово-оптических экспериментах?

A. Усиление сигнала фотонов
B. Измерение длины волны света
C. Создание интерференции между двумя путями фотона
D. Генерация фотонов с заданной поляризацией

Ответ: C.

Вопрос 7.

Какой из следующих типов детекторов чаще всего используется для регистрации одиночных фотонов в квантовой криптографии?

A. Фотодиод
B. ПЗС-матрица (CCD)
C. Сверхпроводящий лавинный фотодиод (SPAD)
D. Лазерный диод

Ответ: C.

Вопрос 8.

Какой элемент оптической схемы используется для случайного выбора базиса при генерации квантового ключа по протоколу BB84?

A. Поляризатор
B. Поляризационный делитель пучка (PBS)
C. Полуволновая пластинка
D. Случайный генератор или квантовый случайный процесс (например, делитель пучка)

Ответ: D.

Вопрос 9.

Что является целью калибровки оптической системы перед началом эксперимента по генерации квантового ключа?

A. Увеличение мощности лазера
B. Снижение температуры детекторов
C. Обеспечение точного выравнивания оптических компонентов и корректной работы детекторов
D. Установка длины волны на максимум

Ответ: C.

Вопрос 10.

Какой результат свидетельствует об успешной работе системы генерации случайного квантового ключа?

A. Получение одинаковых битов у отправителя и получателя при совпадении базисов
B. Получение нулевого сигнала на всех детекторах
C. Полное совпадение всех битов независимо от базиса
D. Отсутствие интерференции в интерферометре

Ответ: A.

Вопрос 11.

Что из перечисленного является первым этапом обработки экспериментальных данных?

A. Построение графика зависимости
B. Сравнение с теоретической моделью
C. Проверка данных на наличие выбросов и ошибок
D. Расчёт стандартного отклонения

Ответ: C.

Вопрос 12.

Какой метод используется для оценки точности измерений при многократных повторениях эксперимента?

A. Метод наименьших квадратов
B. Расчёт среднего арифметического
C. Расчёт стандартного отклонения
D. Интерполяция данных

Ответ: C.

Вопрос 13.

Что означает высокая корреляция между двумя переменными в экспериментальных данных?

A. Между переменными нет связи

B. Изменение одной переменной связано с изменением другой
C. Данные содержат систематическую ошибку
D. Измерения были проведены некорректно

Ответ: B.

Вопрос 14.

Какой из следующих графиков лучше всего подходит для визуализации зависимости между двумя количественными переменными?

A. Гистограмма
B. Круговая диаграмма
C. Диаграмма рассеяния (scatter plot)
D. Столбчатая диаграмма

Ответ: C.

Вопрос 15.

При анализе данных с экспериментальной установки вы обнаружили значительное расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями. Что следует сделать в первую очередь?

A. Удалить все данные
B. Повторить эксперимент и проверить калибровку оборудования
C. Изменить теоретическую модель
D. Игнорировать расхождение

Ответ: B.

Примерные домашние задания

Домашнее задание 1.

1. Напишите эссе (300–400 слов) на тему «Что такое квантовые технологии и в каких сферах они применяются сегодня».

2. Составьте хронологическую таблицу с основными вехами в развитии квантовой механики и появлении квантовых устройств, указав ключевые открытия и ученых.

3. Подготовьте краткое изложение (не более 2 страниц) о фундаментальных принципах квантовой механики, объясняя такие понятия, как квантование, корпускулярно-волновой дуализм и принцип неопределенности.

4. Опишите понятие квантового состояния на примере спина электрона или кубита, используя формулы и схемы для иллюстрации.

5. Проведите исследование и подготовьте доклад (5–7 слайдов) о явлении квантовой суперпозиции, включая примеры из квантовых вычислений или экспериментов с квантовыми системами.

Домашнее задание 2.

1. Изучите основные математические понятия, используемые в квантовой механике (векторы состояния, операторы, гильбертово пространство), и подготовьте конспект с примерами.

2. Опишите теоретическую модель одного из квантовых устройств (например, квантового бита или квантового регистра), приведите соответствующие математические выражения и схемы.

3. Исследуйте алгоритм Шора или алгоритм Гровера: подготовьте подробное объяснение его принципа работы и математического обоснования.

4. Решите задачи на вычисление вероятностей измерений квантовых состояний, используя операторные методы и матрицы плотности.

5. Подготовьте презентацию о применении математического аппарата для анализа устойчивости и ошибок в квантовых алгоритмах и устройствах.

Домашнее задание 3.

1. Нарисуйте и опишите схему установки для генерации случайного квантового ключа (например, по протоколу BB84). Укажите, какие оптические элементы используются

на каждом этапе и как они влияют на состояние фотонов.

2. Подготовьте краткий реферат (1–2 страницы) о поляризации фотона: определение, типы поляризации (линейная, круговая, эллиптическая), способы её создания и измерения в оптических системах.

3. Объясните, что такое канонический базис в контексте квантовой криптографии. Приведите примеры базисов, используемых в протоколах квантовой передачи ключей, и опишите, как выбор базиса влияет на интерпретацию измерений.

4. Составьте таблицу с описанием функций и принципов работы следующих оптических элементов: делитель пучка, поляризационный делитель, зеркало, датчик одиночных фотонов. Укажите, как каждый из них используется в квантово-оптических установках.

5. Решите задачу: В установке по протоколу BB84 фотон с горизонтальной поляризацией ($|H\rangle$) проходит через поляризационный делитель. Определите, в каком выходном канале он окажется, если делитель ориентирован на базис $\{|H\rangle, |V\rangle\}$. Что произойдёт, если тот же фотон попадёт на делитель, ориентированный на базис $\{|+\rangle, |-\rangle\}$? Обоснуйте ответ.

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1.	Опыт с двумя щелями демонстрирует квантовую суперпозицию. Какое из следующих утверждений лучше всего объясняет, почему этот эксперимент нельзя интерпретировать классической частицей? A) Частица проходит одновременно через обе щели, создавая интерференционную картину B) Частица теряет энергию при прохождении через щели C) Частицы отражаются от щелей и не проходят через них D) Частицы взаимодействуют друг с другом, создавая интерференцию	A	УК-1
2.	При планировании внедрения квантовых коммуникаций в корпоративную сеть необходимо учитывать ограничения текущих технологий. Какое из следующих утверждений наиболее точно отражает один из таких ограничивающих факторов? A) Квантовые коммуникации не требуют специального оборудования B) Квантовые каналы могут быть реализованы на любом расстоянии без потерь C) Современные квантовые коммуникации ограничены расстоянием передачи из-за потерь в оптоволокне D) Квантовые коммуникации полностью заменяют классические каналы связи	C	УК-2
3.	Какой математический аппарат наиболее полно описывает состояние кубита в квантовых вычислениях? A) Векторное пространство над полем вещественных чисел B) Комплексное гильбертово пространство C) Евклидово пространство D) Метрическое пространство с нормой	B	ОПК-1
4.	При выборе квантового алгоритма для решения задачи поиска в неупорядоченной базе данных, какой из следующих алгоритмов будет оптимальным с точки зрения ресурсоэффективности?	B	УК-2

	A) Алгоритм Шора B) Алгоритм Гровера C) Классический жадный алгоритм D) Алгоритм Дейкстры		
5.	При анализе экспериментальных данных квантового генератора случайных чисел для оценки случайности последовательности используется статистический критерий, основанный на: A) Теории вероятностей и математической статистике B) Дифференциальных уравнениях C) Дифференциальной геометрии D) Топологии	A	ОПК-1
6.	Какой оптический элемент в квантовом генераторе случайных ключей обеспечивает разделение фотонов по поляризации, что позволяет реализовать принцип квантовой случайности?	Поляризационный делитель	УК-1
7.	Какой элемент оптической схемы квантового генератора ключей необходимо выбрать для регистрации отдельных фотонов?	Однофотонный детектор	УК-2
8.	Как называется математический объект, описывающий квантовое состояние фотона в базисе поляризации?	Кубит	ОПК-1
9.	Как называется явление, при котором квантовая система может находиться одновременно в нескольких базисных состояниях?	Суперпозиция	ПК-1
10.	Как называется оптический элемент, обеспечивающий интерференцию фотонов в квантовой схеме, используемой для безопасной генерации случайных ключей в системах ИИ?	Интерферометр Маха-Цендера	ПК-1