ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«07» марта 2024 г.
Протокол №1

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Квантовые алгоритмы»

Направление подготовки: *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

Направленность (профиль) подготовки: *Искусственный интеллект*

Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

Форма обучения: *очная*

Срок освоения программы: *4 года*

Год набора: *2024*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

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

Электронный документ

Москва
2024

Содержание

1. **Краткая характеристика дисциплины (модуля)** 3
2. **Перечень планируемых результатов обучения** 4
3. **Тематический план** 6
4. **Содержание дисциплины (модуля)** 7
5. **Учебно-методическое обеспечение** 8
6. **Материально-техническое обеспечение** 8
7. **Методические и оценочные материалы** 10

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Квантовые алгоритмы» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Искусственный интеллект», утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 838 от 29.07.2020 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Квантовые алгоритмы» имеет стратегическое значение для подготовки специалистов в области перспективных информационных технологий. Квантовые вычисления представляют собой принципиально новый подход к обработке информации, способный решить задачи, недоступные для классических компьютеров.

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 «Искусственный интеллект» и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений как дисциплина по выбору.

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

Цель изучения дисциплины (модуля): формирование у студентов комплексных компетенций в области квантовых алгоритмов, включая знание математических основ, понимание модели универсальных квантовых вычислений и практические навыки программной реализации.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

— изучение математического аппарата квантовых вычислений (линейная алгебра, теория вероятностей, гильбертовы пространства);

— анализ модели универсальных квантовых вычислений (кубиты, квантовые гейты, схемы);

— обучение раскладыванию квантовых алгоритмов на элементарные операции (приготовление начальных состояний, гейты из универсального набора, измерения);

— анализ сложности и ресурсоемкости квантовых схем.

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 искусственного интеллекта, 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
ПК-1.	Способен использовать основные методы естественнонаучных, экономических и ИТ-дисциплин в профессиональной деятельности для	ПК-1.1.	Знает ключевые методы естественнонаучных, экономических и ИТ-дисциплин, применяемые в профессиональной деятельности

	теоретического и экспериментального исследования	ПК-1.2.	Умеет интегрировать различные методологические подходы для проведения теоретических и экспериментальных исследований
		ПК-1.3.	Имеет практический опыт применения методов в реальных проектах для достижения научных и практических результатов

3. Тематический план

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Контактная работа		Контроль	Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары (практические занятия)			
1	Математические основы квантовых вычислений	8			20	Мини-проект Аудиторная активность Защита кейсов
2	Квантовые вычисления	8			20	Мини-проект Аудиторная активность Защита кейсов
3	Квантовые алгоритмы	8			20	Мини-проект Аудиторная активность Защита кейсов
4	Квантово вдохновленные алгоритмы	6			20	Мини-проект Аудиторная активность Защита кейсов
	Зачет с оценкой			4		
	Итого:	***30***		***4***	***80***	
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	Математические основы квантовых вычислений	Гильбертовы пространства, чистые квантовые состояния, квантовые наблюдаемые, измерения фон-Неймана, эволюция замкнутых квантовых систем, смешанные состояния. Свойства чистых и смешанных состояний. Сфера Блоха многочастичные квантовые системы, сепарабельные и запутанные состояния, свойства запутанности, меры запутанности, разложение Шмидта, очищение смешанных состояний, многочастичная запутанность, классификация квантовых состояний Симулятор квантового компьютера, основанный на векторе состояния.
2	Квантовые вычисления	Классические вычисления, детерминированная и рандомизированная машина Тьюринга, вычислительная сложность. Квантовый компьютер как вычислительная модель, критерии Ди Винченцо для квантовых компьютеров Обратимые и необратимые вычисления, унитарный оператор для классической функции, квантовые гейты, универсальные и не универсальные наборы гейтов Идея разложения произвольного унитарного оператора на однокубитные и двухкубитные операции. Измерения в квантовых цепочках Бенчмаркинг симулятора квантового компьютера
3	Квантовые алгоритмы	Алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Йожи, алгоритм Бернштейна вазирани. Квантовый параллелизм, и почему он не работает в общем случае. Алгоритм Гровера. Геометрическая интерпретация, оптимальное число итераций Гровера, поиск нескольких правильных ответов. Реализация алгоритма Гровера на симуляторе квантового компьютера Квантовая оптимизация. Адиабатический подход к квантовым вычислениям. Алгоритм QAOA, формулировка задач дискретной оптимизации в терминах гамильтониана физической системы. Проблемы с обучением квантовых цепочек, или почему не работает квантовое машинное обучение Практика. Реализация алгоритма QAOA
4	Квантово вдохновленные алгоритмы	Тензорные сети. Тензоры, нотация Пенроуза, сингулярное разложение, разложение Шмидта через SVD. Состояния матричных произведений (тензорный поезд) как способ описания квантовых систем с малой запутанностью. Bond dimension, центры ортогональности, каноническая форма MPS, и как это всё упрощает измерения в квантовых системах. Квантово вдохновленные алгоритмы оптимизации. Симуляция квантового отжига для решения задач дискретной оптимизации.

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. Ефремов Ю. С. Квантовая механика : учебник для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 458 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04975-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/563482.

2. Копытин, И. В. Квантовая механика : учебник для вузов / И. В. Копытин. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 222 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15459-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/559348.

3. Тырышкин, С. Ю. Квантовая информатика. Информационно-измерительные и управляющие системы : учебник для вузов / С. Ю. Тырышкин. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 102 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19540-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/580749.

4. Хренников, А. Ю. Квантовая физика и неколмогоровские теории вероятностей : учебник для вузов / А. Ю. Хренников. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 219 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04355-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561990.

Дополнительная литература:

1. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : учебник для вузов / С. Н. Вергелес. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 262 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01663-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561938.

2. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. А. Щука, А. С. Сигов ; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 117 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01870-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561578.

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 алгоритмы» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, мини-проекты, аудиторна работа, защита кейсов, бонусные баллы, 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.

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.

Бонусные баллы — это оценки, которые студенты могут получить за выполнение дополнительных заданий.

Формат бонусных баллов позволяет студентам улучшить общую оценку по дисциплине (модулю) и стимулирует углубленное изучение материала.

Защита кейсов – анализ реальных ситуаций и разработка практических решений на основе теоретических знаний.

Студенты работают индивидуально или в группах, а затем представляют свои выводы и рекомендации перед преподавателями и однокурсниками, получая обратную связь. Такой подход не только оценивает уровень усвоения материала, но и формирует навыки публичного выступления и аргументации.

Мини-проект — это краткосрочная практическая работа в малых группах на семинарах, направленная на применение теоретических знаний для решения конкретных задач.

В ходе мини-проекта студенты проводят анализ проблемы, разрабатывают техническое решение и представляют результаты в виде отчета, модели или презентации. Такой формат способствует развитию навыков самостоятельной работы, критического мышления и командного взаимодействия.

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 алгоритмы»

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:

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
9	Отлично	Зачтено	
8	Отлично	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
			логически последовательно отвечает на все вопросы, 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
6	Хорошо	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
			практическими задачами.
5	Удовлетворительно	Зачтено	Студент обладает базовыми 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.
4	Удовлетворительно	Зачтено	
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 алгоритмы» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Количество	Описание
Мини-проект	45%	3	Краткосрочная практическая работа в малых группах на занятиях, направленная на решение конкретных задач
Аудиторная работа	15%	15	Активное участие в семинарах: ответы на вопросы преподавателя и участие в дискуссии
Защита кейсов	20%	1	Анализ реальных ситуаций и разработка практических решений на основе теоретических знаний
Зачет с оценкой	20%	1	Письменная или устная работа над заданием, направленным на проверку полученных знаний и навыков по дисциплине (модулю)

Формула расчета итоговой оценки по дисциплине (модулю) «Квантовые алгоритмы»: «0,45 × среднее за мини-проекты + 0,15 × среднее за аудиторную работу + 0,2 × защита кейсов + 0,2 × зачет с оценкой»

В рамках дисциплины (модуля) возможно получение бонусных баллов.

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)

Примерные задания для подготовки к занятиям

Задание 1. Математический разминка (Linear Algebra Refresh)

- **Цель:** Актуализация знаний математического аппарата квантовых вычислений.
- **Задача:** Решить набор задач на операции с векторами и матрицами в гильбертовом пространстве. Вычислить тензорное произведение состояний, найти собственные значения

эрмитовых матриц.

- **Результат:** Решенный worksheet (PDF) с вычислениями.
- **Критерий:** Правильность вычислений, понимание физической интерпретации результатов.

Задание 2. Трассировка квантовой схемы (Circuit Tracing)

- **Цель:** Подготовка к пониманию модели универсальных квантовых вычислений.
- **Задача:** Дана схема из 3 кубитов с набором гейтов (H, CNOT, X, Z). Вручную просчитать состояние системы после каждого шага (в векторной форме).
- **Результат:** Пошаговое описание эволюции вектора состояния.
- **Критерий:** Отсутствие ошибок в применении матриц гейтов к векторам.

Задание 3. Настройка окружения (Environment Setup)

- **Цель:** Подготовка к реализации алгоритмов в коде.
- **Задача:** Установить SDK для квантовых вычислений (например, Qiskit, Cirq или Pennylane). Запустить пример «Hello World» (схема с одним гейтом Адамара и измерением) на симуляторе.
- **Результат:** Скриншот работающего кода и гистограммы результатов измерений.
- **Критерий:** Работоспособность окружения, готовность к лабораторным работам.

Задание 4. Анализ базового алгоритма (Theory Review)

- **Цель:** Изучение базовых квантовых алгоритмов.
- **Задача:** Прочитать описание алгоритма Дойча – Йожи. Ответить на вопросы: в чем преимущество перед классическим аналогом, сколько запросов к оракулу требуется?
- **Результат:** Краткий конспект (1 страница) с ответами на вопросы.
- **Критерий:** Понимание принципа квантового параллелизма.

Примерные задания для мини-проектов

Проект 1. Реализация алгоритма Гровера (Grover's Implementation)

- **Цель:** Умение реализовывать в коде базовые квантовые алгоритмы.
- **Задача:** Написать код для поиска элемента в неупорядоченной базе данных из 4 элементов menggunakan алгоритм Гровера. Визуализировать амплитуды вероятностей на каждой итерации.
- **Результат:** Jupyter Notebook с кодом, комментариями и графиками.
- **Критерий:** Корректность работы алгоритма, правильная интерпретация результатов измерения.

Проект 2. Декомпозиция квантового преобразования Фурье (QFT Decomposition)

- **Цель:** Навык раскладывания алгоритмов на элементарные операции.
- **Задача:** Реализовать квантовое преобразование Фурье для 3 кубитов, используя только базовый набор гейтов (H, CNOT, Phase). Сравнить полученную схему с готовой библиотекой.
- **Результат:** Схема квантовой цепи и отчет о количестве использованных гейтов.
- **Критерий:** Глубина декомпозиции, соответствие унитарной матрице преобразования.

Проект 3. Квантовая телепортация состояния (Quantum Teleportation)

- **Цель:** Понимание запутанности и измерений.
- **Задача:** Смоделировать протокол квантовой телепортации кубита от Алисы к Бобу. Проверить сохранение состояния после передачи классических битов.
- **Результат:** Код симуляции и доказательство совпадения начального и конечного

состояния (через томографию состояния).

- **Критерий:** Успешная передача состояния, понимание роли классического канала связи.

Проект 4. Квантово-классическое сравнение (Hybrid Comparison)

- **Цель:** Применение концепций квантовых вычислений в классических задачах.
- **Задача:** Решить задачу оптимизации (например, MaxCut) классическим алгоритмом и квантовым приближенным алгоритмом (QAOA) на симуляторе. Сравнить время выполнения и точность.
- **Результат:** Сравнительный отчет с графиками зависимости точности от количества итераций.
- **Критерий:** Глубина анализа преимуществ и ограничений квантового подхода.

Примерные задания для защиты кейсов

Кейс 1. Криптографическая угроза (Shor's Algorithm Impact)

- **Ситуация:** Появление квантового компьютера достаточной мощности для запуска алгоритма Шора.
- **Задача:** Оценить риски для текущих стандартов шифрования (RSA, ECC). Предложить план миграции на постквантовую криптографию для гипотетической компании.
- **Вопросы для защиты:** Сколько кубитов потребуется для взлома? Какие алгоритмы устойчивы?
- **Компетенция:** Готовность к применению концепций в реальных сценариях безопасности.

Кейс 2. Оптимизация логистики (Quantum Optimization)

- **Ситуация:** Транспортная компания хочет использовать квантовые вычисления для оптимизации маршрутов (Задача коммивояжера).
- **Задача:** Проанализировать целесообразность использования квантового отжига или вариационных алгоритмов (VQE/QAOA) для данной задачи текущего размера.
- **Вопросы для защиты:** Есть ли квантовое ускорение? Каковы ограничения шума (NISQ era)?
- **Компетенция:** Анализ применимости квантовых алгоритмов к бизнес-задачам.

Кейс 3. Ошибки и коррекция (Error Correction Challenge)

- **Ситуация:** При запуске алгоритма на реальном железе результаты искажены шумом.
- **Задача:** Предложить стратегию смягчения ошибок (Error Mitigation) или схему коррекции ошибок (Surface Code) для конкретного алгоритма.
- **Вопросы для защиты:** Какой порог ошибок допустим? Сколько физических кубитов нужно для одного логического?
- **Компетенция:** Понимание ограничений модели универсальных квантовых вычислений.

Кейс 4. Квантовое вдохновение (Quantum-Inspired Classical)

- **Ситуация:** Квантовое оборудование недоступно, но нужно ускорить задачу машинного обучения.
- **Задача:** Предложить классический алгоритм, использующий тензорные сети или принципы квантовой механики (квантово-вдохновленный алгоритм).
- **Вопросы для защиты:** В чем сходство с квантовым аналогом? Где применяется?
- **Компетенция:** Применение концепций квантовых вычислений в классических

алгоритмах.

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1	Что является основой математического аппарата квантовых вычислений?	Линейная алгебра / Гильбертовы пространства	УК-1
2	Что представляет собой базовая единица информации?	Кубит / Квантовый бит	ПК-1
3	Что включает модель универсальных квантовых вычислений?	Гейты / Измерения / Схемы	ОПК-1
4	Какой алгоритм решает задачу поиска в неупорядоченной базе?	Алгоритм Гровера	ПК-1
5	Какой алгоритм используется для факторизации чисел?	Алгоритм Шора	ПК-1
6	Что обеспечивает квантовый параллелизм?	Суперпозиция состояний	УК-1
7	Что позволяет коррелировать состояния кубитов?	Квантовая запутанность	ОПК-1
8	На что раскладываются квантовые алгоритмы?	Элементарные операции	ПК-1
9	Что входит в элементарные операции?	Приготовление состояний / Гейты / Измерения	ПК-1
10	Какое состояние является стандартным начальным?	Нулевое состояние	ПК-1
11	В чем реализуется код алгоритмов?	SDK (Qiskit, Cirq) / Код	УК-1
12	Что получается в результате измерения?	Вероятностное распределение	ПК-1
13	Пример гейта из универсального набора?	Hadamard / CNOT / Phase	ОПК-1
14	К чему готов студент по итогам курса?	Разработка собственных алгоритмов	ПК-1
15	Где применяются концепции квантовых вычислений?	Классические алгоритмы / Оптимизация	ПК-1
16	Каким свойством обладают квантовые гейты?	Унитарность / Обратимость	УК-1
17	Что влияет на надежность вычислений?	Шум / Декогеренция	ОПК-1
18	Для чего используется квантовая интерференция?	Усиление амплитуд / Ускорение	ПК-1
19	Что характерно для гибридных систем?	Связь классического и квантового	ПК-1
20	Что подтверждает успешное освоение дисциплины?	Реализация базовых алгоритмов	ПК-1