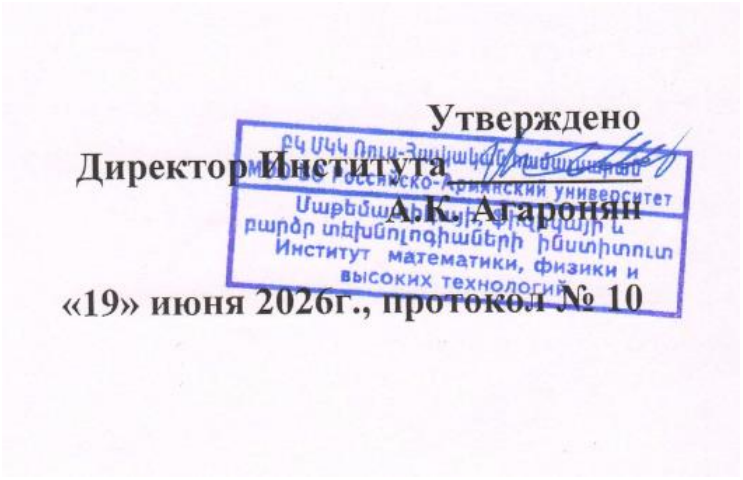
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.16 Квантовое программирование (QISKET)

Автор (ы) к.ф.-м.н., старший преподаватель Газазян Эмиль Альфредович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. **АННОТАЦИЯ**

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина «Квантовое программирование» направлена на формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области программирования квантовых алгоритмов, моделирования квантовых систем и использования современных фреймворков для квантовых вычислений. В рамках курса изучаются основы квантовой механики применительно к вычислениям, принципы работы с кубитами, квантовыми логическими гейтами, квантовыми алгоритмами (Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора, VQE, QAOA), моделируются квантовые цепочки, рассматриваются особенности шумов и декогеренции. Особое внимание уделяется практической работе с библиотеками Qiskit, Cirq и облачными квантовыми платформами.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

Трудоемкость: 6 академических кредитов / 216 академических часов

Формы занятий:

– Лекции: 32 часа

– Практические занятия: 32 часа

– Контрольные и промежуточные работы: 54 часа

– Самостоятельная работа студентов: 98 часов

Форма итогового контроля: экзамен

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Квантовая криптография, Программирование в физике, Структуры данных и алгоритмы, Функциональное программирование

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций**	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*

рабочим с учебным планом)		*(в соответствии рабочим с учебным планом)*	
УК-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1	Знает основные приемы и нормы социального взаимодействия и основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии
		УК-3.2	Умеет устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды
		УК-3.3	Владеет простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
ОПК-5	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-5.1	Понимает принципы построения алгоритмов и компьютерных программ, пригодных для практического применения
		ОПК-5.2	Умеет на основе алгоритмов применять языки программирования для создания компьютерные программ
		ОПК-5.3	Владеет навыками программирования, отладки и тестирования компьютерных программ
ПК-7	Владеет базовыми навыками создания на основе стандартных методик и действующих нормативов различных типов текстов	ПК-7.1	Умеет грамотно написать автобиографию
		ПК-7.2	Умеет корректно оформить резюме, используя необходимые реквизиты
		ПК-7.3	

			Умеет правильно написать заявление и объяснительную записку

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины

Формирование у студентов фундаментальных знаний и практических навыков в области квантовых вычислений и программирования квантовых алгоритмов с использованием современных инструментов, и симуляторов, а также развитие способности применять методы квантового моделирования для решения прикладных и научных задач.

Задачи дисциплины

1. Ознакомить студентов с физико-математическими основами квантовой информации и вычислений: суперпозицией, интерференцией, унитарными преобразованиями, измерениями и запутанностью.
2. Изучить устройство и принципы работы квантовых логических гейтов и квантовых цепей.
3. Научить проектировать и реализовывать квантовые алгоритмы (Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора и др.) с использованием языков программирования.
4. Познакомить с основами моделирования шумов, декогеренции и коррекции ошибок в открытых квантовых системах.
5. Обеспечить подготовку к научно-исследовательской деятельности в области квантовых технологий, включая выполнение проектов, оформление отчётов, интерпретацию результатов.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**

		1 сем
1	2	3
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**216**	**216**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**64**	**64**
1.1.1. Лекции	**32**	**32**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**32**	**32**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**98**	**98**
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен 54**	**Экзамен 54**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4+5+6+7	3	4
Тема 1. Введение в квантовые вычисления и основы квантовой механики	8	4	4
Тема 2. Кубиты, квантовые гейты и квантовые схемы	16	8	8
Тема 3. Языки квантового программирования: Qiskit, Cirq, QuTiP	4	2	2
Тема 4. Квантовые алгоритмы: Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора	4	2	2
Тема 5. Гибридные алгоритмы: VQE, QAOA и квантовая оптимизация	4	2	2
Тема 6. Квантовые алгоритмы: Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора	4	2	2
Тема 7. Квантовая телепортация, криптография и распределение ключей	4	2	2
Тема 8. Квантовые симуляторы и квантовые облачные платформы	8	4	4
Тема 9. Проектная работа: разработка и защита квантового приложения	12	6	6
ИТОГО	**64**	**32**	**32**

2.3.2. **Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана**

Тема 1. Введение в квантовые вычисления и основы квантовой механики

Рассматриваются фундаментальные принципы квантовой механики, лежащие в основе квантовых вычислений: суперпозиция, интерференция, измерение, уравнение Шрёдингера. Обосновывается необходимость квантового подхода к вычислениям, обсуждаются исторические предпосылки и современное состояние квантовых технологий [1-2].

Тема 2. Кубиты, квантовые гейты и квантовые схемы

Изучаются одно- и двухкубитные состояния, операция Адамара, фазы, CNOT и другие базовые элементы квантовых схем. Вводятся понятия тензорного произведения, унитарных преобразований и квантовых логических вентилей. Практикуется построение и анализ квантовых схем. [1,2]

Тема 3. Языки квантового программирования: Qiskit, Cirq, QuTiP

Осуществляется знакомство с современными фреймворками квантового программирования. Рассматриваются особенности синтаксиса, реализация квантовых схем, запуск на симуляторах и взаимодействие с облачными квантовыми сервисами [1,2]

Тема 4. Квантовые алгоритмы: Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора

Изучаются первые квантовые алгоритмы, демонстрирующие преимущества квантового параллелизма. Подробно разбираются шаги алгоритмов, принципы ускорения, требования к архитектуре. Выполняется их программная реализация и анализ [1,2]

Тема 5. Гибридные алгоритмы: VQE, QAOA и квантовая оптимизация

Рассматриваются гибридные классико-квантовые алгоритмы, включающие вариационные схемы и приближённые методы оптимизации. Выполняется моделирование молекул и комбинаторных задач с помощью квантовых методов [1,2]

Тема 6. Шум, декогеренция, моделирование открытых квантовых систем

Анализируются механизмы потери когерентности и влияние окружающей среды. Изучаются методы моделирования открытых квантовых систем, включая мастер-уравнение Линблада и моделирование шума в симуляторах [1,2]

Тема 7. Квантовая телепортация, криптография и распределение ключей

Рассматриваются протоколы телепортации квантовых состояний, квантового распределения ключей (BB84) и защиты информации. Выполняются практические симуляции передачи и восстановления кубитов [1,2]

Тема 8. Квантовые симуляторы и квантовые облачные платформы

Даётся обзор существующих облачных квантовых платформ (IBM Quantum, Amazon Braket, Azure Quantum) и возможностей для тестирования разработанных схем на удалённых симуляторах или реальных устройствах. [1,2]

Тема 9. Проектная работа: разработка и защита квантового приложения

Студенты разрабатывают собственный квантовый проект, реализуют схему на выбранной платформе, проводят симуляцию и анализ, подготавливают отчёт и презентацию с последующей защитой.

2.3.3. **Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума**

Практические занятия проводятся в интерактивной форме с использованием современных платформ квантового программирования, таких как Qiskit, Cirq и QuTiP. Занятия направлены на закрепление теоретических знаний путём программной реализации квантовых алгоритмов и моделирования квантовых цепочек.

Формы проведения включают:

– решение задач на построение квантовых схем и матричное преобразование состояний;

– программирование квантовых алгоритмов (Deutsch–Jozsa, Гровера, Шора) на симуляторах;

– работа с облачными квантовыми устройствами (IBM Quantum, Amazon Braket);

– анализ устойчивости квантовых состояний к шуму и декогеренции;

– моделирование открытых квантовых систем с помощью мастер-уравнений;

– обсуждение научных статей и выполнение мини-проектов с защитой.

Основное внимание уделяется практической реализации квантовых алгоритмов и навыкам написания и отладки квантового кода. Результаты лабораторных работ оформляются в виде отчётов и демонстрационных программ.

2.3.4. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий по дисциплине используется современное компьютерное и программное обеспечение, обеспечивающее реализацию практико-ориентированного подхода к обучению квантовому программированию. В распоряжении обучающихся и преподавателя находятся:

– персональные компьютеры или ноутбуки с доступом в интернет;

– локальная сеть с возможностью выхода на облачные вычислительные платформы;

– установленное программное обеспечение: Python (с библиотеками Qiskit, Cirq, QuTiP, NumPy, matplotlib), среда JupyterLab или аналогичная;

– доступ к онлайн-сервисам IBM Quantum Experience, Amazon Braket, Microsoft Azure Quantum;

– мультимедийное оборудование: проектор, интерактивная доска, аудиосистема;

– доступ к электронной библиотеке, учебным курсам, руководствам и видеоурокам на официальных порталах квантового программирования (qiskit.org, quantum.country и др.);

– виртуальные лаборатории и симуляторы квантовых вычислений.

Обеспечивается техническая поддержка в виде установки необходимого ПО, а также методическая помощь по работе с облачными квантовыми устройствами.

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	**Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)**		**Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)**	**Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля**
Вид учебной работы/контроля	**M1[1]**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Тест *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Реферат *(при наличии)*								
Эссе *(при наличии)*								
Проект *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		

[1] Учебный Модуль

Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. **Теоретический блок** ***(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)***

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. Nielsen M.A., Chuang I.L. Quantum Computation and Quantum Information — Cambridge University Press, 2010.

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

2. Микулин В.Д., Артамонов А.А., Шевченко С.В. Квантовые вычисления и квантовое программирование — М.: МФТИ, 2021.

3. Гершензон А. Квантовые алгоритмы и квантовое машинное обучение — СПб: БХВ-Петербург, 2022.

3.1.3. Электронные материалы (электронные учебники, учебные пособия, курсы и краткие конспекты лекций, презентации PPT и т.п.);

– Qiskit Textbook (IBM Quantum): интерактивный онлайн-учебник по квантовому программированию на Python

https://qiskit.org/textbook

– Видеоуроки IBM Quantum, YouTube-каналы Qiskit и Quantum Country

4. **Фонды оценочных средств** ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Планы практикумов

Практикум 1. Введение в квантовые вычисления. Кубиты и гейты

– Знакомство с суперпозицией и визуализация состояния кубита

– Реализация гейтов X, Z, H и их комбинаций

– Построение диаграмм Блоха для различных состояний

Практикум 2. Многокубитные системы. Тензорное произведение и CNOT-гейт

– Построение составных состояний

– Имитация CNOT-гейта и анализ квантовых корреляций

– Создание запутанных состояний Белла

Практикум 3. Введение в шум и декогеренцию

– Имитация фазового и амплитудного шума

– Добавление ошибок в квантовую цепь

– Анализ устойчивости алгоритмов к шуму

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Учебно-методические пособия;

– Методические указания по выполнению лабораторных работ и практических заданий

– Руководство по работе с квантовым фреймворком Qiskit (на русском и английском языках)

– Инструкция по использованию IBM Quantum Experience, Cirq, Braket и других облачных платформ

– Конспекты лекций с примерами кода и пояснениями к алгоритмам

– Краткий справочник по синтаксису Python и NumPy для работы в Jupyter

4.2.2. Учебные справочники;

– Quantum Computation and Quantum Information, Nielsen & Chuang — базовый теоретический источник

– Qiskit Textbook — интерактивный учебник по квантовому программированию

– Quantum Algorithm Zoo — справочник по квантовым алгоритмам

– Локальный справочник с описанием стандартных квантовых гейтов и их матричных представлений

4.2.3. Задачники (практикумы);

– Сборник задач по реализации квантовых алгоритмов в Qiskit

– Практикум по построению квантовых схем на Python

– Упражнения по моделированию ошибок, декогеренции и шумовых каналов

– Индивидуальные задания по симуляции квантовых цепей и анализу их выходов

– Шаблоны для проектных работ и мини-исследований

4.2.4. Наглядно-иллюстративные материалы;

– Диаграммы Блоха для визуализации кубитных состояний

– Иллюстрации квантовых вентилей и преобразований

– Презентации в формате PowerPoint для каждой темы курса

– Видеодемонстрации симуляции алгоритмов и экспериментов в Qiskit

– Постеры с архитектурой квантового компьютера и принципами квантовой логики

4.2.5. др. виды материалов.

– Репозиторий с примерами кода (GitHub, GitLab, LMS-платформы)

– Видеоуроки и записи лекций преподавателя

– Доступ к внешним обучающим платформам: Coursera, EdX (по курсам IBM, MIT, Harvard)

– Интерактивные симуляторы квантовых цепей (например, Quantum Circuit Simulator)

– Тестовые среды для проверки кода и самопроверки (JupyterHub, Colab, CodeOcean)

4.3. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

1. Реализуйте квантовую схему с двумя гейтами Адамара (H) и проанализируйте интерференцию на выходе. Объясните результат измерения.
2. Напишите квантовую схему для алгоритма Deutsch–Jozsa на трёх кубитах. Протестируйте её на константной и сбалансированной функции.
3. Смоделируйте алгоритм Гровера для поиска одного элемента среди четырёх. Сравните количество итераций с теоретической оценкой.

4. Сконструируйте квантовую цепь, реализующую схему телепортации кубита $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Проведите симуляцию с конкретными значениями α и β.
5. Реализуйте в Qiskit простую вариационную квантовую схему (ansatz) и выполните оптимизацию энергии с помощью VQE.
6. Напишите код, реализующий квантовый гейт Toffoli (CCNOT), используя базовые операции.
7. Добавьте в квантовую схему шумовую модель Amplitude Damping и исследуйте влияние на финальную вероятность состояния $|1\rangle$.
8. Исследуйте результат применения гейтов Pauli-X, -Y и -Z к произвольному кубиту. Визуализируйте состояния на сфере Блоха.
9. Постройте и проанализируйте квантовое преобразование Фурье (QFT) для 3 кубитов. Проверьте обратимость операции.
10. Сравните работу алгоритма Гровера на идеальном симуляторе и на симуляторе с шумом. Подготовьте отчёт с графиками и выводами.
11. Разработайте схему BB84-протокола квантового распределения ключей и смоделируйте процесс передачи с вмешательством «атаки» (перехвата).
12. Реализуйте схему квантовой эволюции с унитаром U = e^{-iHt} для простого гамильтониана H, используя оператор Trotterization.
13. Используйте Qiskit для запуска своей схемы на реальном квантовом устройстве (например, ibmq_lima) и сравните с симулятором.
14. Смоделируйте выполнение алгоритма QAOA для задачи MAXCUT на графе из 4 узлов. Постройте визуализацию оптимального решения.
15. Составьте отчёт с сравнением основных типов квантовых шумов (Bit-flip, Phase-flip, Depolarizing) и их действия на одно- и двухкубитные схемы.

4.4. Тематика курсовых работ и других форм самостоятельных работ

1. История квантовых вычислений: от идеи Фейнмана до облачных квантовых платформ
2. Суперпозиция и интерференция как основа квантовых алгоритмов

3. Кубит и его физическая реализация: сравнение технологий (сверхпроводимость, ионы, фотоны)
4. Тензорное произведение и построение многокубитных систем
5. Унитарные преобразования и квантовые гейты: X, H, CNOT, T, S
6. Квантовое измерение: разрушение состояния и вероятностный выход
7. Реализация алгоритма Deutsch–Jozsa и его преимущества над классическим
8. Алгоритм Гровера: квантовый поиск и квадратичное ускорение
9. Алгоритм Шора и его значение для криптографии
10. Квантовое преобразование Фурье (QFT) и его применение
11. Телепортация квантового состояния: протокол и реализация
12. Квантовая криптография: протокол BB84 и устойчивость к взлому
13. Квантовое распределение ключей в защищённых коммуникациях
14. Шум и декогеренция в квантовых вычислениях: типы и модели
15. Методы квантовой коррекции ошибок: поверхностный код и другие подходы
16. Вариационные алгоритмы VQE и QAOA: гибридные квантово-классические методы
17. Проблема оптимизации в квантовых вычислениях: перспективы и сложности
18. Квантовое машинное обучение: текущие подходы и алгоритмы
19. Архитектура квантовых компьютеров: логическая и физическая схемы
20. Сравнительный анализ платформ: IBM Q, Google Sycamore, IonQ, Rigetti
21. Использование Qiskit для разработки квантовых алгоритмов
22. Облачные квантовые вычисления: возможности и ограничения
23. Квантовые симуляторы: обзор и сферы применения
24. Применение квантовых вычислений в химии и моделировании молекул
25. Алгоритмы квантовой оптимизации для задач логистики и маршрутизации
26. Проблемы масштабируемости квантовых систем и подходы к их решению
27. Квантовые алгоритмы для графовых задач: минимальное покрытие, раскраска
28. Квантовые вычисления и искусственный интеллект: синергия или противостояние?
29. Этические и правовые аспекты квантовых технологий
30. Будущее квантового программирования: вызовы, направления и перспективы

4.5. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Контрольная работа №1

Тема: Основы квантовой теории и квантовой логики

Задания:

Объясните понятие суперпозиции и приведите пример состояния в суперпозиции.

Вычислите тензорное произведение состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$.

Запишите матрицы гейтов H, X и CNOT.

Примените гейт Хадамар к состоянию $|0\rangle$ и найдите результат.

Постройте квантовую схему из гейтов H и CNOT для создания запутанного состояния Белла.

Объясните процесс измерения в квантовой системе.

Контрольная работа №2

Тема: Простейшие квантовые алгоритмы

Задания:

Опишите идею алгоритма Deutsch–Jozsa.

Реализуйте алгоритм Deutsch–Jozsa на двух входах, используя Qiskit (приведите код и результат).

Сравните эффективность квантового и классического подхода.

Распишите шаги алгоритма Гровера для поиска одного элемента среди четырёх.

Смоделируйте шаг амплитудного усиления.

Тест №1

Тема: Основы квантового программирования (вариант А)

Какой гейт переводит $|0\rangle$ в состояние $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$?

A) X B) Z C) H D) CNOT

Ответ: C

Что делает гейт CNOT при управляющем кубите |1⟩?

A) Ничего B) Инвертирует целевой кубит C) Обнуляет оба кубита D) Измеряет систему

Ответ: B

Какой из следующих гейтов является двухкубитным?

A) H B) Z C) CNOT D) T

Ответ: C

Что произойдёт при измерении состояния (|0⟩ + |1⟩)/√2?

A) Результат всегда |0⟩ B) Результат всегда |1⟩ C) Вероятность 50/50 D) Нельзя измерить

Ответ: C

Тест №2

Тема: Квантовые алгоритмы (вариант B)

Алгоритм Гровера позволяет:

A) Сортировать данные быстрее, чем классические алгоритмы

B) Искать элементы с квадратичным ускорением

C) Решать все NP-полные задачи

D) Оптимизировать кубитное состояние

Ответ: B

Что отличает алгоритм Deutsch–Jozsa от классического анализа функции?

A) Использует шум

B) Работает медленнее

C) Даёт точный результат за одно измерение

D) Зависит от измерения

Ответ: C

Промежуточная аттестация (мини-проект)

Вариант проекта:

«Разработка и симуляция алгоритма телепортации произвольного квантового состояния $|\psi\rangle$»

Структура работы:

– Постановка задачи

– Теоретическая схема

– Программная реализация в Qiskit

– Визуализация результатов

– Анализ устойчивости к шуму

– Выводы и рекомендации

4.6. Перечень экзаменационных вопросов

Основные принципы квантовой механики, применимые в квантовом программировании: суперпозиция, интерференция, измерение

1. Понятие кубита. Физическая и математическая интерпретация
2. Операции над кубитами. Унитарные преобразования. Квантовые логические гейты (X, H, Z, T, S, CNOT)
3. Многокубитные системы. Тензорное произведение и матрица плотности
4. Измерение квантовых состояний. Коллапс и вероятностный характер результата
5. Диаграммы квантовых схем. Обозначения, чтение, построение
6. Принцип действия алгоритма Deutsch–Jozsa. Преимущества над классическим алгоритмом
7. Алгоритм Гровера: идея, реализация, амплитудное усиление
8. Алгоритм Шора и его значение для криптографических систем
9. Квантовое преобразование Фурье: назначение, структура, реализация
10. Квантовая телепортация: теория и реализация в квантовых схемах
11. Протокол квантового распределения ключей BB84. Основные этапы и безопасность

12. Влияние шума и декогеренции на квантовые вычисления. Модели шумов
13. Методы моделирования открытых квантовых систем. Уравнение Линблада
14. Квантовая коррекция ошибок. Основные подходы
15. Вариационный алгоритм VQE: структура, задача, реализация
16. Алгоритм QAOA: принципы и пример применения
17. Гибридные квантово-классические вычисления: архитектура и применение
18. Языки и библиотеки квантового программирования: Qiskit, Cirq, QuTiP
19. Принципы построения и анализа квантовых программ в Qiskit
20. Квантовые симуляторы и облачные платформы: возможности и ограничения
21. Аппаратная реализация квантовых компьютеров: сверхпроводниковые, ионные, фотонные кубиты
22. Разработка, симуляция и тестирование квантовой схемы в Python
23. Особенности построения квантового алгоритма с учётом шумов
24. Перспективы развития квантового программирования и квантовых технологий

4.7. Образцы экзаменационных билетов

Билет №1

1. Опишите принцип суперпозиции и его реализацию с помощью квантового гейта.
2. Постройте квантовую схему, реализующую гейт CNOT. Объясните её работу.
3. Практическое задание: реализуйте в Qiskit подготовку состояния $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$ и выполните его измерение.

Билет №2

1. Поясните суть алгоритма Deutsch–Jozsa и в чём его преимущество над классическим.
2. Как работает измерение в квантовой системе и какова его роль?
3. Практическое задание: постройте в Qiskit схему алгоритма Deutsch–Jozsa на 2 кубитах.

4.8. Образцы экзаменационных практических заданий

Суперпозиция и измерение

Создайте квантовую схему в Qiskit, подготавливающую состояние $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$. Выполните симуляцию и измерение. Проанализируйте вероятности выхода.

Создание запутанного состояния (состояние Белла)

Сконструируйте схему, создающую состояние Белла: $(|00\rangle + |11\rangle)/\sqrt{2}$. Выполните измерение обоих кубитов и проанализируйте корреляции.

Реализация алгоритма Deutsch–Jozsa

Реализуйте квантовую схему алгоритма Deutsch–Jozsa для двухкубитной функции f(x), выбрав один из типов: сбалансированная или константная. Проанализируйте результат и объясните, почему алгоритм даёт точный ответ за одно измерение.

Квантовая телепортация

Создайте и реализуйте схему квантовой телепортации произвольного состояния $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Определите, восстанавливается ли состояние на выходе. Проанализируйте шаги алгоритма.

Алгоритм Гровера (2 кубита)

Реализуйте упрощённую версию алгоритма Гровера для поиска одного из четырёх элементов. Выполните симуляцию и измерение. Сравните результат с классическим поиском.

Вариационный алгоритм (VQE)

Напишите схему вариационного алгоритма с параметрическими гейтами Ry и оптимизатором COBYLA. Используйте в качестве модели гамильтониан $H = ZI + IZ$. Найдите минимум энергии.

Влияние шумов

Создайте простую схему из H и CNOT, затем примените шумовую модель (например, amplitude damping). Сравните результат с идеальной схемой. Постройте график вероятностей.

Преобразование Фурье (QFT)

Реализуйте квантовое преобразование Фурье (QFT) для 3 кубитов. Проверьте, что обратное QFT возвращает исходное состояние. Визуализируйте цепь и результат.

Симуляция BB84-протокола

Реализуйте протокол BB84 квантового распределения ключей. Смоделируйте отправку, выбор базисов и проверку совпадений. Проанализируйте устойчивость к перехвату.

Загрузка схемы на реальное квантовое устройство (IBM Q)

Создайте произвольную схему из 2–3 гейтов, загрузите её на симулятор и на реальный квантовый процессор (например, ibmq_lima). Сравните результаты измерений.

4.9. Банк тестовых заданий для самоконтроля

Тема 1. Основы квантовой механики и квантовых вычислений

1.Что представляет собой кубит?

A) Двоичная переменная

B) Классическая частица

C) Квантовая суперпозиция двух базисных состояний

D) Логический вентиль

Правильный ответ: C

2.Какая операция переводит состояние $|0\rangle$ в суперпозицию $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$?

A) Гейт X

B) Гейт H

C) Гейт Z

D) Гейт CNOT

Правильный ответ: B

Тема 2. Квантовые логические гейты

1.Что делает гейт X с состоянием |0⟩?

A) Оставляет без изменения

B) Преобразует в |1⟩

C) Удаляет кубит

D) Переводит в суперпозицию

Правильный ответ: B

2.Какой гейт является двухкубитным?

A) H

B) X

C) CNOT

D) Z

Правильный ответ: C

Тема 3. Квантовые алгоритмы

1.Какова сложность алгоритма Гровера по сравнению с классическим поиском?

A) Линейная

B) Квадратичная

C) Логарифмическая

D) Экспоненциальная

Правильный ответ: B

2.Какое преимущество имеет алгоритм Deutsch–Jozsa?

A) Позволяет работать с шумом

B) Дает точный результат за одно измерение

C) Использует только один кубит

D) Не требует измерений

Правильный ответ: B

Тема 4. Шум и декогеренция

1.Что такое декогеренция в квантовой системе?

A) Измерение

B) Потеря энергии

C) Вмешательство внешней среды, разрушающее когерентность

D) Результат вычислений

Правильный ответ: C

2.Какой тип шума соответствует случайной фазовой ошибке?

A) Bit-flip

B) Phase-flip

C) Depolarizing

D) T1-релаксация

Правильный ответ: B

Тема 5. Qiskit и симуляция

1.Что делает команда AerSimulator() в Qiskit?

A) Управляет реальным квантовым устройством

B) Измеряет состояние

C) Выполняет симуляцию квантовой цепи

D) Строит график

Правильный ответ: C

2.Как получить результат измерения кубита в Qiskit?

A) execute(...)

B) QuantumCircuit.measure(...)

C) plot_bloch_multivector(...)

D) draw()

Правильный ответ: B

4.10. Методики решения и ответы к образцам тестовых заданий

Задание 1
Что представляет собой кубит?
Правильный ответ: C) Квантовая суперпозиция двух базисных состояний
Методика решения:
Кубит — это элемент квантовой системы, который может находиться не только в состоянии |0⟩ или |1⟩, как классический бит, но и в любой их линейной комбинации

Задание 2
Какая операция переводит |0⟩ в суперпозицию (|0⟩ + |1⟩)/√2?

Методика решения:
Гейт Адамара (H) действует как преобразование:
Таким образом, он создаёт суперпозицию из базисных состояний.

Задание 3
Что делает гейт X с состоянием |0⟩?
Правильный ответ: B) Преобразует в |1⟩
Задание 4
Какой гейт является двухкубитным?
Правильный ответ: C) CNOT
Задание 5
Какова сложность алгоритма Гровера?
Правильный ответ: B) Квадратичная
Задание 6
Какое преимущество имеет алгоритм Deutsch–Jozsa?
Правильный ответ: B) Дает точный результат за одно измерение
Методика решения:
Deutsch–Jozsa позволяет определить, является ли функция константной или сбалансированной, всего за один вызов квантовой схемы, тогда как классическому алгоритму в среднем требуется более одного.

Задание 7
Что такое декогеренция в квантовой системе?
Правильный ответ: C) Вмешательство внешней среды, разрушающее когерентность
Методика решения:
Когерентность означает сохранение фазы между состояниями в суперпозиции. Декогеренция — потеря этой фазы вследствие взаимодействия с окружающей средой
Задание 8
Какой тип шума соответствует случайной фазовой ошибке?
Правильный ответ: B) Phase-flip
Методика решения:
Phase-flip — это ошибка, которая меняет знак фазы (|1⟩ становится -|1⟩). Она моделирует квантовые ошибки, не изменяющие амплитуду, но нарушающие интерференцию.

Задание 9
Что делает команда AerSimulator() в Qiskit?
Правильный ответ: C) Выполняет симуляцию квантовой цепи
Задание 10
Как получить результат измерения кубита в Qiskit?
Правильный ответ: B) QuantumCircuit.measure(...)

5. **Методический блок**

5.1. Методика преподавания

5.1.1. Методические рекомендации для студентов по подготовке к семинарским, практическим или лабораторным занятиям, по организации самостоятельной работы студентов при изучении конкретной дисциплины.

1. Общие рекомендации

– Рекомендуется изучать материал последовательно, начиная с основ квантовой механики и линейной алгебры, необходимых для понимания кубитных состояний и унитарных преобразований.

– Регулярно пересматривайте лекционные конспекты, а также сопроводительные презентации и пояснения к лабораторным работам.

– Пользуйтесь рекомендованными учебниками и онлайн-ресурсами (например, Qiskit Textbook, Quantum Computation and Quantum Information).

– Ведите собственный глоссарий терминов с краткими определениями и примерами.

2. Подготовка к семинарским и практическим занятиям

– Перед каждым занятием ознакомьтесь с темой в лекционном материале и конспекте.

– Повторите ключевые понятия: унитарные матрицы, тензорные произведения, базовые квантовые гейты (X, H, CNOT, T, Z).

– Попробуйте самостоятельно построить схему по теме семинара, используя бумагу или визуальный редактор (например, Quantum Circuit Drawer).

– Подготовьте мини-доклад (1–2 минуты) с объяснением ключевой идеи алгоритма или схемы, если предусмотрено обсуждение.

– Отвечайте письменно на контрольные вопросы к занятию и прорабатывайте их в парах.

3. Подготовка к лабораторным работам

– Ознакомьтесь с постановкой задачи и списком необходимых квантовых гейтов/алгоритмов.

– До выполнения работы установите необходимое ПО: Python, Qiskit, JupyterLab (если работаете на своём ПК).

– Откройте шаблон Jupyter-файла (предоставляется преподавателем) и проанализируйте структуру ячеек: ввод, код, визуализация, выводы.

– Перед запуском кода просмотрите документацию функций (через help() или официальную документацию Qiskit).

– Понимайте, зачем выполняется каждая строка кода, а не просто запускайте её.

4. Организация самостоятельной работы

– Составьте индивидуальный план работы по курсу, распределив изучение тем, выполнение лабораторных заданий и проект.

– Уделяйте не менее 3 часов в неделю на практику в JupyterLab с квантовыми схемами.

– Регулярно проходите тесты и проверочные задания для самоконтроля.

– Выполняйте предложенные задачи в блоках вопросы для самопроверки и задания средней сложности.

– Используйте форумы (Qiskit Slack, StackOverflow) и GitHub для обмена опытом и получения поддержки.

– При выполнении проекта или эссе опирайтесь только на проверенные научные источники и публикуемые алгоритмы.

5. Оформление отчётов и заданий

– Отчёт по лабораторной работе должен включать: цель, постановку задачи, схему/код, результаты симуляции, графики и выводы.

– Все коды должны быть подписаны и снабжены комментариями.

– Графики и таблицы оформляются с подписями осей и заголовками.

– Рефераты и эссе оформляются по требованиям университета: титульный лист, введение, основная часть, заключение, список литературы.

6. Контроль и оценивание

– Самостоятельная работа составляет важную часть итоговой оценки и проверяется регулярно через мини-тесты, код-ревью и проекты.

– Лабораторные отчёты проверяются на полноту, корректность кода, интерпретацию результатов и оформление.

– Активность на семинарах (участие в обсуждении, защита решений) также влияет на текущую аттестацию.