

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**

Директор Института

Утверждено

А.К. Агаронян

«30» апреля 2025г., протокол № 05

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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D.B. Ayrapetian', written over a horizontal line.

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

| | | <i>работим с учебным планом)</i> | |
|-------|---|---------------------------------------|--|
| ОПК-3 | Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности | ОПК-3.1 ОПК-3.2 ОПК-3.3 | Знает, как использовать информационно-коммуникационные технологии при поиске необходимой информации и современные принципы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации Владеет навыками обеспечения информационной безопасности |
| ОПК-4 | Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности | ОПК-4.1 ОПК-4.2 ОПК-4.3 | "Знает, как использовать компьютерные технологии для подготовки текстовой конструкторско-технологической документации; современные интерактивные программные комплексы для выполнения и редактирования текстов, изображений и чертежей" Умеет проектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; использовать современные средства автоматизации разработки и выполнения конструкторской документации Владеет современными программными средствами подготовки конструкторско-технологической документации |

| | | | |
|-------|--|---------------------------------------|---|
| ОПК-5 | Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения | ОПК-5.1 ОПК-5.2 ОПК-5.3 | Понимает принципы построения алгоритмов и компьютерных программ, пригодных для практического применения Умеет на основе алгоритмов применять языки программирования для создания компьютерные программ Владеет навыками программирования, отладки и тестирования компьютерных программ |
| ПК-2 | Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию | ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.3 | Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники |
| ПК-7 | Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ | ПК-7.1 ПК-7.2 ПК-7.3 | Знает схемы и устройства изделий микро- и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет подготавливать технические задания на выполнение проектных работ Владеет навыками разработки архитектуры изделий микро- и наноэлектроники |
| ПК-11 | Готов участвовать в поддержании единого информационного пространства планирования и управления | ПК-11.1 ПК-11.2 | Знает принципы управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции Умеет использовать информационное |

| | | | |
|--|---|---------|--|
| | предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции | ПК-11.3 | пространство для управления производственным процессом Владеет навыками компьютерного моделирования жизненного цикла производимой продукции |
|--|---|---------|--|

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 и(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 |
|--|---|-----|---|-----|---|----|--|---|
| | M1 ¹ | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | | |
| Вид учебной работы/контроля | M1 ¹ | M2 | M1 | M2 | M1 | M2 | | |
| Контрольная работа <i>(при наличии)</i> | | | 0.5 | 0.5 | | | | |
| Устный опрос <i>(при наличии)</i> | | | | | | | | |
| Тест <i>(при наличии)</i> | | | | | | | | |
| Лабораторные работы <i>(при наличии)</i> | 0.5 | 0.5 | | | | | | |
| Письменные домашние задания <i>(при наличии)</i> | | | | | | | | |
| Реферат <i>(при наличии)</i> | | | | | | | | |
| Эссе <i>(при наличии)</i> | | | | | | | | |

¹ Учебный Модуль

| | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Проект (при наличии) | | | | | | | | |
| Решение задач | 0.5 | 0.5 | | | | | | |
| Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей | | | | | 0.5 | 0.5 | | |
| Весы 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 |
| | $\Sigma = 1$ |

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 РРТ 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 вентилях 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 $|1\rangle$?

- 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 $(|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$?

- A) Результат всегда $|0\rangle$ B) Результат всегда $|1\rangle$ 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 R_y 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 $|0\rangle$?

A) Оставляет без изменения

B) Преобразует в $|1\rangle$

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 $|0\rangle$ или $|1\rangle$, как классический бит, но и в любой их линейной комбинации

Задание 2

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

Методика решения:

Гейт Адамара (H) действует как преобразование:

Таким образом, он создаёт суперпозицию из базисных состояний.

Задание 3

Что делает гейт X с состоянием $|0\rangle$?

Правильный ответ: B) Преобразует в $|1\rangle$

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 ($|1\rangle$ становится $-|1\rangle$). 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.