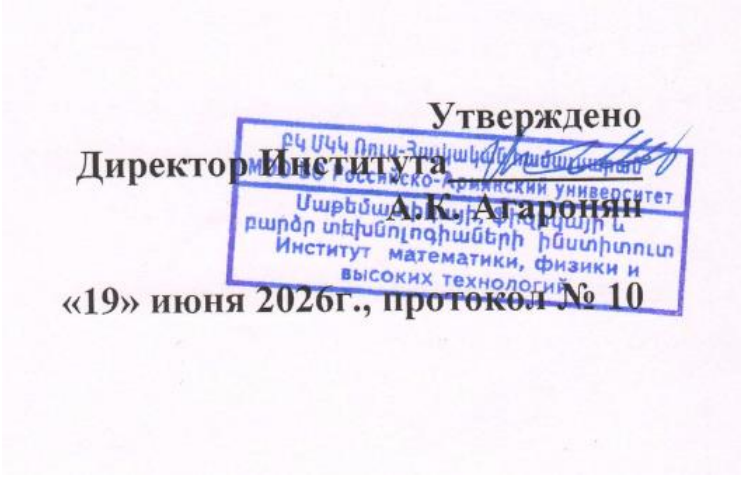
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Квантовая Информатика

Автор (ы) **к.ф.-м.н., старший преподаватель Абгарян Ваагн Саргисович**
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 «Квантовая информатика» посвящена изучению принципов хранения, обработки и передачи информации с использованием законов квантовой механики. В курсе рассматриваются фундаментальные понятия квантовой теории информации: кубиты, суперпозиция, запутанность, измерение и квантовые гейты. Изучаются основы построения квантовых алгоритмов, включая алгоритмы Дойча–Йожи, Гровера и Шора, а также квантовые протоколы криптографии и телепортации.

Особое внимание уделяется сравнению классических и квантовых моделей вычислений, а также архитектурам квантовых компьютеров. Осваиваются методы математического описания квантовых состояний (матрицы плотности, унитарные операторы) и моделирование квантовых схем. Практическая часть курса может включать работу в квантовых симуляторах и простых облачных платформах (например, IBM Quantum Experience).

Дисциплина формирует представление о перспективных направлениях развития квантовых технологий и готовит студентов к участию в научных проектах в области квантовых вычислений, квантовой криптографии и квантовой коммуникации.

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

1-ый семестр 6 академических кредитов / 216 часов. Форма итогового контроля — экзамен.

2-ой семестр 6 академических кредитов / 216 часов. Форма итогового контроля — экзамен.

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

"Информатика", "Квантовое программирование", "Квантовая механика"

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 рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1	"Знает, как использовать компьютерные технологии для подготовки текстовой конструкторско-технологической документации; современные интерактивные программные комплексы для выполнения и редактирования текстов, изображений и чертежей"
		ОПК-4.2	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 документациц
		ОПК-4.3	Владеет современными программными средствами

			подготовки конструкторско-технологической документации

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

Формирование у студентов фундаментальных знаний в области квантовой теории информации и освоение базовых методов квантовых вычислений, квантовой криптографии и моделирования квантовых алгоритмов, необходимых для работы в современных и перспективных направлениях квантовых технологий.

Задачи дисциплины:

1. Ознакомление студентов с основами квантовой механики, применимыми к информационным процессам.
2. Изучение принципов работы квантовых логических элементов и кубитов.
3. Освоение базовых квантовых алгоритмов: Дойча–Йожи, Гровера, Шора и др.
4. Анализ отличий между классическими и квантовыми моделями вычислений.
5. Изучение квантовых протоколов передачи и защиты информации (BB84, квантовая телепортация и др.).
6. Развитие навыков построения и моделирования квантовых схем и логических операций.
7. Формирование представления о технической реализации квантовых компьютеров и квантовых сетей.
8. Подготовка студентов к самостоятельной научно-исследовательской работе в области квантовых технологий.

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**	
		5 сем	**6 сем**

1	2	3	
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**432**	**216**	**216**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**128**	**64**	**64**
1.1.1. Лекции	**64**	**32**	**32**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**64**	**32**	**32**
1.1.3. Лабораторные работы			
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**241**	**116**	**125**
1.3. Консультации			
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен**	**Экзамен 36**	**Экзамен 27**

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
5-ый семестр			
Тема 1. Основы квантовой механики для информатики	**12**	**6**	**6**
Тема 2. Геометрическое представление кубитов	**12**	**6**	**6**
Тема 3. Квантовые гейты и унитарные преобразования	**8**	**4**	**4**
Тема 4. Математический аппарат квантовой информатики	**12**	**6**	**6**
Тема 5. Квантовые алгоритмы	**8**	**4**	**4**
Тема 6. Квантовая запутанность	**12**	**6**	**6**
6-ой семестр			
Тема 7. Квантовая криптография	**12**	**6**	**6**
Тема 8. Квантовая телепортация	**12**	**6**	**6**
Тема 9. Основы квантовых сетей и коммуникаций	**8**	**4**	**4**
Тема 10. Архитектуры квантовых компьютеров	**12**	**6**	**6**

Тема 11. Симуляторы и облачные квантовые платформы	**8**	**4**	**4**
Тема 12. Перспективы и вызовы квантовых технологий	**12**	**6**	**6**
ИТОГО	**128**	**64**	**64**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Основы квантовой механики для информатики
Кубит как квантовая система. Принцип суперпозиции. Измерение и коллапс волновой функции.
Тема 2. Геометрическое представление кубитов
Сфера Блоха. Описание состояний, визуализация квантовых операций.
Тема 3. Квантовые гейты и унитарные преобразования
Одиночные гейты: X, Y, Z, H, T, S. Двухкубитные гейты: CNOT, CZ. Универсальный набор гейтов.
Тема 4. Математический аппарат квантовой информатики
Матричное описание квантовых состояний и операторов. Тензорное произведение. Матрицы плотности.
Тема 5. Квантовые алгоритмы
Простейшие алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Гровера (поиск), алгоритм Шора (разложение на множители).
Тема 6. Квантовая запутанность
Определение, свойства, примеры (состояния Белла). Роль запутанности в вычислениях и коммуникациях.
Тема 7. Квантовая криптография
Протокол BB84. Квантовая передача ключа. Безопасность и защита от перехвата.
Тема 8. Квантовая телепортация
Механизм телепортации квантового состояния. Практическое применение и эксперименты.
Тема 9. Основы квантовых сетей и коммуникаций
Квантовые каналы. Повторители. Квантовая спутниковая связь.
Тема 10. Архитектуры квантовых компьютеров
Кубиты на основе ионов, фотонов, сверхпроводников. Обзор современных квантовых платформ.
Тема 11. Симуляторы и облачные квантовые платформы
Программирование квантовых алгоритмов в Qiskit, Cirq и др. IBM Quantum Experience.
Тема 12. Перспективы и вызовы квантовых технологий
Ошибки и декогеренция. Квантовая коррекция ошибок. Реальные приложения квантовых вычислений.

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Операции с кубитами и построение квантовых состояний

– Работа с базисами |0⟩ и |1⟩

– Создание суперпозиции с помощью гейта Hadamard

Визуализация кубитов на сфере Блоха

– Программные симуляторы для построения состояний

– Вращения и измерения на сфере Блоха

Реализация основных квантовых гейтов (X, H, Z, CNOT)

– Составление квантовых схем

– Проверка действия гейтов на различных входных состояниях

Моделирование алгоритма Дойча и Гровера

– Шаги выполнения алгоритма

– Визуализация выходных состояний и сравнение с классическими результатами

Изучение квантовой запутанности (состояния Белла)

– Генерация запутанных пар

– Проверка коррелированных измерений

Моделирование протокола BB84 (Алиса и Боб)

– Генерация квантовых ключей

– Введение помех и проверка безопасности канала

Реализация квантовой телепортации

– Подготовка запутанных состояний

– Передача произвольного кубита с помощью вспомогательных измерений

Работа с квантовыми симуляторами (Qiskit, IBM Quantum Experience)

– Построение и выполнение схем в симуляторе

– Анализ выходных данных и вероятностей состояний

Исследование декогеренции и ошибок в квантовых системах

– Введение шумов в систему

– Моделирование и сравнение с идеальной схемой

Мини-проект: моделирование квантовой схемы и анализ результатов

– Самостоятельная разработка простого алгоритма

– Представление результатов и обсуждение

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория и учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий

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	**М1**[1]	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
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

[1] Учебный Модуль

3.1.1. Учебник(и);

Майкл А. Нильсен, Исаак Л. Чуанг — *Квантовые вычисления и квантовая информация* (Оригинал: *Quantum Computation and Quantum Information*)
В. В. Винокуров — *Основы квантовой информатики и квантовых вычислений*
И. Я. Дружинин, Е. М. Левин — *Введение в квантовые вычисления*
Phillip Kaye, Raymond Laflamme, Michele Mosca — *An Introduction to Quantum Computing*
Thomas G. Wong — *Introduction to Classical and Quantum Computing*

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

4.1. Планы практичских занятий

Исследование суперпозиции и измерений кубита
– Подготовка состояния |+⟩ с помощью гейта H
– Измерения в разных базисах
– Интерпретация вероятностей

Визуализация состояний на сфере Блоха
– Построение различных состояний
– Влияние одиночных квантовых гейтов на кубит
– Работа в симуляторе (например, Qiskit)

Реализация квантового протокола BB84 (Алиса и Боб)
– Генерация и передача квантовых битов
– Выявление перехвата и построение общего ключа
– Анализ устойчивости к атаке

Генерация запутанных состояний (состояния Белла)
– Схема создания запутанных пар с использованием CNOT и Hadamard
– Проверка коррелированных измерений

Квантовая телепортация
– Подготовка произвольного состояния
– Телепортация с использованием Белловской пары
– Контроль правильности восстановления состояния

Квантовый ластик (Quantum Eraser)
– Демонстрация принципа «сохранения/уничтожения» интерференционной картины
– Реализация в симуляторе: использование квантовых гейтов и условных измерений
– Анализ полученных результатов

Алгоритм Дойча и его квантовая реализация
– Сравнение с классическим случаем
– Реализация схемы и интерпретация результата

Алгоритм Гровера (поиск в неупорядоченном списке)
– Сбор схемы
– Визуализация усиления вероятности нужного состояния

Работа с облачной квантовой платформой (IBM Quantum Experience)
– Запуск схем на реальных квантовых процессорах
– Получение и анализ экспериментальных данных

Итоговая лабораторная работа / мини-проект
– Самостоятельная сборка схемы по выбору (например, шифрование или телепортация)
– Защита работы с пояснением принципов

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- ✓ Что такое кубит? Чем он отличается от классического бита?
- ✓ Объясните принцип суперпозиции и его физическое значение.
- ✓ Как работает гейт Hadamard? Какое состояние он создает из $|0\rangle$?
- ✓ Что такое запутанность? Приведите пример запутанного состояния.
- ✓ Чем отличается измерение в базисе $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ от измерения в базисе $\{|+\rangle, |-\rangle\}$?
- ✓ Объясните механизм квантового телепортации. Какие гейты и измерения используются?
- ✓ Как работает протокол BB84? Почему он считается безопасным?
- ✓ В чем суть алгоритма Дойча? Какие преимущества дает квантовый подход?
- ✓ Каковы принципы работы алгоритма Гровера?
- ✓ Какие типы ошибок существуют в квантовых вычислениях и как с ними борются?

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

- ✓ Реализовать в симуляторе (Qiskit, Quirk или др.) простую квантовую схему для суперпозиции и измерения.
- ✓ Построить схему для генерации Белловского состояния и проверить запутанность при различных измерениях.
- ✓ Написать код или собрать схему протокола BB84 и провести симуляцию перехвата.
- ✓ Смоделировать процесс квантовой телепортации в симуляторе и убедиться в передаче состояния.
- ✓ Написать отчет с пояснением механизма квантового ластика и предложить схему для его реализации.

- ✓ Построить квантовую схему алгоритма Дойча и провести симуляцию для двух типов функций (постоянной и сбалансированной).
- ✓ Нарисовать схему алгоритма Гровера и рассчитать количество итераций для поиска элемента среди 8 возможных.
- ✓ Сравнить результаты измерений в идеальной и шумной квантовой схеме.
- ✓ Составить список унитарных гейтов и описать их физическую интерпретацию.
- ✓ Провести исследование: обзор существующих квантовых компьютеров и сравнение их архитектур.

4.4. Перечень экзаменационных вопросов

1-ый семестр

1. Что такое кубит и как он отличается от классического бита?
2. В чём заключается принцип суперпозиции квантового состояния?
3. Что происходит при измерении кубита и как описывается коллапс волновой функции?
4. Как геометрически интерпретируется состояние кубита на сфере Блоха?
5. Какие состояния кубита соответствуют точкам на полюсах и экваторе сферы Блоха?
6. Что такое квантовый гейт? Почему квантовые преобразования являются унитарными?
7. Опишите действие гейтов X, Y, Z, H, S и T.
8. Что такое двухкубитные гейты CNOT и CZ и как они используются?
9. Что представляет собой универсальный набор квантовых гейтов и зачем он нужен?
10. Как задаются квантовые состояния в виде векторов и матриц?
11. Что такое тензорное произведение состояний и операторов?
12. Объясните, что такое матрица плотности и зачем она используется.
13. В чём разница между чистыми и смешанными квантовыми состояниями?
14. Как формулируется алгоритм Дойча? Чем он демонстрирует квантовое ускорение?
15. Как работает алгоритм Гровера и сколько шагов в нём требуется для поиска?
16. В чём состоит алгоритм Шора и какое он имеет значение для криптографии?
17. Что означает квантовое параллелизм и как он используется в алгоритмах?
18. Что такое квантовая запутанность и как она формально определяется?
19. Приведите примеры запутанных состояний (например, состояния Белла).
20. Какими гейтами можно создать запутанное состояние из независимых кубитов?
21. Какова роль запутанности в квантовых вычислениях и передаче информации?
22. Как реализуется квантовая телепортация и какое состояние при этом используется?
23. Почему квантовые измерения не всегда дают полную информацию о состоянии?
24. Как определяется вероятность получения конкретного результата при измерении?
25. Чем обусловлены ограничения клонирования произвольных квантовых состояний?

2-ой семестр

1. В чём заключается суть квантового криптографического протокола BB84?
2. Как обеспечивается безопасность квантовой передачи ключа от перехвата?
3. Какие отличия между классической и квантовой криптографией?
4. Что такое квантовая телепортация и какие состояния в ней используются?
5. Какую роль играют запутанные состояния в квантовой телепортации?
6. Какие шаги включает механизм квантовой телепортации?
7. Как реализуются квантовые коммуникации в экспериментах?

8. Что такое квантовый канал и каковы его основные характеристики?
9. Зачем используются квантовые повторители в коммуникационных сетях?
10. Какие проблемы возникают при передаче квантового состояния на большие расстояния?
11. Какие есть подходы к созданию квантовых сетей (оптические, спутниковые и др.)?
12. Что собой представляет квантовая спутниковая связь? Примеры реализованных проектов.
13. Какие физические реализации кубитов используются в квантовых компьютерах?
14. Каковы особенности и преимущества ионных, фотонных и сверхпроводящих кубитов?
15. Какие существуют современные архитектуры квантовых компьютеров?
16. Приведите примеры существующих квантовых платформ (IBM, Google, Rigetti и др.).
17. Что такое облачные квантовые вычисления? Примеры использования.
18. Какова структура и возможности платформы IBM Quantum Experience?
19. Какие языки/фреймворки применяются для программирования квантовых алгоритмов?
20. В чём особенности Qiskit, Cirq, Braket и других фреймворков?
21. Что такое декогеренция и почему она мешает стабильным вычислениям?
22. Как реализуется квантовая коррекция ошибок? В чём её принципы?
23. Какие типы квантовых ошибок наиболее типичны и как они моделируются?
24. В чём заключаются главные технические и теоретические вызовы квантовых технологий?
25. Какие практические области выиграют от внедрения квантовых вычислений?
26. Что такое NISQ-компьютеры и каковы их ограничения?
27. Каковы перспективы квантовых вычислений в ближайшие 10 лет?
28. Что означает термин «квантовое превосходство» и какие есть примеры его достижения?

4.5. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Квантовая Информатика
(бакалавриат III-ий курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Что такое кубит и как он отличается от классического бита?
2. Что такое двухкубитные гейты CNOT и CZ и как они используются?
3. Какова роль запутанности в квантовых вычислениях и передаче информации?

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Квантовая Информатика
(бакалавриат III-ий курс II-ой семестр)

Экзаменационный билет № **

1. В чём заключается суть квантового криптографического протокола BB84.
2. В чём особенности Qiskit, Cirq, Braket и других фреймворков?
3. Что такое NISQ-компьютеры и каковы их ограничения?

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.