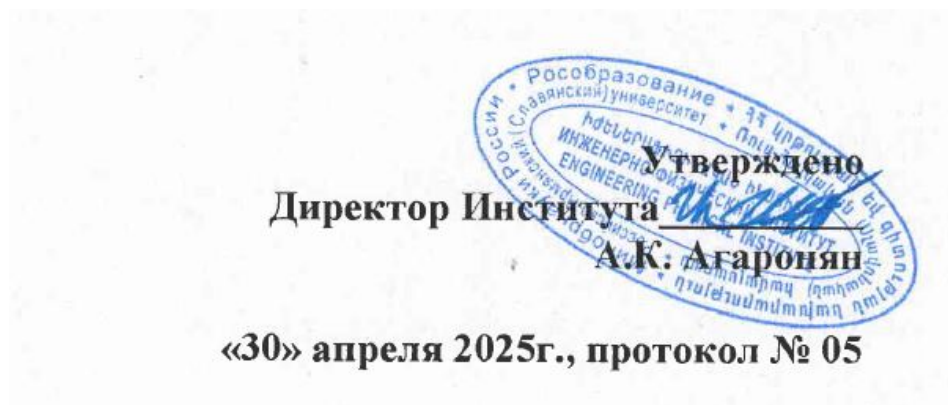


**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



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 нанoeлектроника

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-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач
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	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

		ОПК-3.3	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	"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 документации
		ОПК-4.3	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 нанoeлектроники

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 $|0\rangle$ и $|1\rangle$
- 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
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
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
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

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

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

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*

¹ Учебный Модуль

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

4.1. Планы практических занятий

Исследование суперпозиции и измерений кубита

- Подготовка состояния $|+\rangle$ 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 квантовой 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

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
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. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__ г.

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
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. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__ г.
