

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт вычислительной математики и информационных технологий



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Таюрский Д.А.

"        "                  20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Квантовые модели вычислений Б1.В.ДВ.13

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Гайнутдинова А.Ф.

**Рецензент(ы):**

Аблаев Ф.М.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Аблаев Ф. М.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института вычислительной математики и информационных технологий:

Протокол заседания УМК № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный №

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) заместитель директора по научной деятельности Гайнутдинова А.Ф. Директорат Института ВМ и ИТ Институт вычислительной математики и информационных технологий , Aida.Gainutdinova@kpfu.ru

## **1. Цели освоения дисциплины**

Данный курс предназначен для студентов Института Вычислительной математики и информационных технологий КФУ, рассчитан на один семестр и включает лабораторные занятия. Целью данного курса является изучение основ квантовых вычислений, квантовых вычислительных моделей и эффективных квантовых алгоритмов. Курс направлен на расширение и углубление образования студентов в области компьютерных наук, формирования у них системного мышления путем изучения подходов в проблематике построения квантовых вычислительных моделей, понимания проблем и современного состояния предметной области, умения анализировать и самостоятельно приобретать и применять новые знания и умения, формирование у студентов профессиональных компетенций.

В курсе рассматривается история зарождения квантовых вычислений, вводятся необходимые определения и понятия, опирающиеся на постулаты квантовой механики, изучаются квантовые вычислительные модели, детально рассматриваются известные квантовые алгоритмы, демонстрирующие мощь квантовых вычислений по сравнению с классическими. По окончании курса студент должен владеть основными понятиями квантовой информатики, такими, как понятие кубита, преобразований и измерения квантовой системы, знать основные законы квантовых вычислений, ориентироваться в рассмотренных квантовых моделях.

Программа курса предусматривает практические занятия (40 часов) и самостоятельную работу студентов .

## **2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования**

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.13 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 01.03.04 Прикладная математика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Данная дисциплина относится к профессиональным дисциплинам.

Читается на 4 курсе 8 семестр для студентов, обучающихся по направлению "Прикладная математика и информатика".

Для усвоения материала данного курса студент должен прослушать курсы "Дискретная математика", "Информационная безопасность и защита информации", "Автоматы и грамматики", быть знаком с классическим вычислительными моделями, такими, как конечные автоматы, схемы из функциональных элементов, коммуникационная модель вычислений.

## **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля**

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью к разработке алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным

требованиям

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям
ПК-13 (профессиональные компетенции)	способностью применять существующие и разрабатывать новые методы и средства обучения
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью работать в составе научно-исследовательского и производственного коллектива и решать задачи профессиональной деятельности
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") и в других источниках
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью к разработке и применению алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программного обеспечения

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

историю зарождения квантовой информатики и состояние развития данной области информатики на сегодняшний день, основные законы квантовых вычислений, определения различных квантовых моделей вычислений (машин Тьюринга, автоматов, схем из функциональных эле-ментов); то, каким образом производится обработка входных слов и распознавание языков в данных моделях;

2. должен уметь:

ориентироваться в области квантовых вычислений, и в том, где и каким образом применяются знания из этой области, - в рассмотренных алгоритмах квантовых вычислений, демонстрирующих эффективность квантовых вычислителей по сравнению с классическими, объяснять с математической точки зрения такие явления квантовой механики, как телепортация, запутанность состояний, квантовая передача кода, квантовый параллелизм, и т.д.

3. должен владеть:

основными понятиями квантовой информатики, такими, как понятие кубита, преобразований и измерения квантовой системы; приемами и методами построения эффективных квантовых моделей.

4. должен демонстрировать способность и готовность:  
готовность и способность применять полученные знания на практике.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	
1.	Тема 1. Введение. История возникновения квантовых вычислений.	8	10	0	0	2	
2.	Тема 2. Основные понятия квантовых вычислений	8	10	0	0	2	
3.	Тема 3. Основные постулаты квантовой механики.	8	10	0	0	2	
4.	Тема 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс.	8	10	0	0	2	
5.	Тема 5. Квантовая криптография.	8	10	0	0	2	
6.	Тема 6. Квантовые гейты.	8	10	0	0	2	
7.	Тема 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	8	10	0	0	2	
8.	Тема 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	8	10	0	0	2	
9.	Тема 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	8	10	0	0	2	
10.	Тема 10. Алгоритм Саймона.	8	10	0	0	2	
11.	Тема 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	8	10	0	0	2	
12.	Тема 12. Квантовое преобразование Фурье.	8	10	0	0	2	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практи- ческие занятия	Лабора- торные работы	
13.	Тема 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	8	10	0	0	2	
14.	Тема 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	8	10	0	0	2	
15.	Тема 15. Квантовые и классические классы сложности.	8	10	0	0	4	
16.	Тема 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.	8	10	0	0	2	
17.	Тема 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами.	8	10	0	0	2	
18.	Тема 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ	8	10	0	0	2	
19.	Тема 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.	8	19	0	0	2	
20.	Тема 20. k-partition квантовая коммуникационная модель.	8	20	0	0	0	
.	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	Зачет
	Итого			0	0	40	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Введение. История возникновения квантовых вычислений.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

В данной теме обсуждается история зарождения квантовых вычислений начиная с 80-х годов XX века, а также современное состояние в области квантовой информатики. Излагаются перспективы развития данной области. Отдельно обсуждаются области применения квантовых вычислений, такие, как криптография, обработка больших данных, задачи поиска и т.д. Обсуждаются основные отличия квантовых вычислений от классических.

##### Тема 2. Основные понятия квантовых вычислений

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Основные понятия квантовых вычислений: кубит, квантовая система, квантовое преобразование, квантовое измерение. Математический аппарат квантовых вычислений: линейные преобразования, унитарные преобразования, норма вектора, свойства унитарных преобразований, декартово и тензорное произведение векторов и матриц, и т.д.

##### Тема 3. Основные постулаты квантовой механики.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Основные постулаты квантовой механики: Пространство состояний, Унитарная эволюция. Квантовое измерение. Составная квантовая система. Объединенная квантовая система.

**Тема 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс. лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Квантовые эффекты: квантовый параллелизм, запутанные состояния, интерференция. Теорема о невозможности копирования произвольного квантового состояния.

Информационная емкость кубита. Сравнение информационной емкости классического и квантового бита.

**Тема 5. Квантовая криптография.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Классическая криптография. Симметричное и ассиметричное шифрование. Задача распределения ключа в криптографии. Квантовая криптография. Протоколы квантового распределения ключа. Протокол BB84. Обоснование стойкости протокола. Квантовые атаки. Понятие постквантовой криптографии.

**Тема 6. Квантовые гейты.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Квантовые гейты, определение, их отличие от классических гейтов. Однокубитные, двухкубитные, трехкубитные Контролируемые квантовые гейты. Преобразование Адамара и Уолша-Адамара. Их роль. Универсальные квантовые гейты.

**Тема 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

В данной теме рассматривается модель квантовых и классических схем. Обсуждаются их основные отличия. Определяются основные сложностные характеристики схемной модели: сложность схемы и глубина схемы. Квантовые схемы. Сравнение квантовых и классических схем.

**Тема 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Реализация алгоритмов на языке схем. Роль запутанных состояний в алгоритмах. Сложность. Сравнительный анализ квантовых и классических алгоритмов.

**Тема 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Рассматриваются простейшие квантовые алгоритмы, которые демонстрируют мощь квантовых вычислений, алгоритмы Дойча и алгоритм Дойча-Джозса. Приводится реализация данных алгоритмов на языке схем. Сложность решения данных задач классическими вычислительными моделями. Сложность квантового алгоритма. Сравнение с классическими алгоритмами решения задачи (детерминированными и вероятностными). Значение алгоритмов Дойча и Дойча-Джозса.

**Тема 10. Алгоритм Саймона.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Задача о нахождении периода функции, периодичной по модулю два. Алгоритм Саймона. Сложность решения задачи классическими алгоритмами (детерминированными и вероятностными). Квантовый алгоритм и его сложность. Реализация алгоритма на языке на языке квантовых схем. Сравнение с классическими алгоритмами решения задачи (детерминированными и вероятностными).

**Тема 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Задача поиска в неупорядоченной базе данных. Классические алгоритмы решения задачи поиска в неупорядоченной базе данных (детерминированные и вероятностные). Их сложность. Квантовый алгоритм Гровера в неупорядоченной базе данных. Основные этапы алгоритма. Анализ сложности алгоритма Гровера. Использование алгоритма Гровера для решения других задач.

**Тема 12. Квантовое преобразование Фурье.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Классическое преобразование Фурье и алгоритмы его вычисления. Классический алгоритмы преобразования Фурье. Алгоритм быстрого преобразования Фурье. Их сложность. Квантовое преобразование Фурье и его сравнение с классическим преобразованием Фурье. Сложность квантовых и классических алгоритмов.

**Тема 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Понятие односторонней функции и их значение для криптографии. Задача умножения как пример условно односторонней функции. Задача факторизации. Классические алгоритмы факторизации (детерминированные, вероятностные), их сложность Квантовый алгоритм Шора факторизации числа и нахождения периода. Анализ алгоритма Шора. Применение алгоритма Шора к криптографии.

**Тема 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Понятие устойчивости вычислений. Методы исправление ошибок в классических вычислениях. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок. Отличие квантовых ошибок от классических. Методы коррекции квантовых ошибок. Примеры.

**Тема 15. Квантовые и классические классы сложности.**

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Понятия вычислимости и сложности. Определение классических классов сложности. Их соотношения. Открытые проблемы. Квантовые классы сложности. Их место в иерархии сложностных классов.

**Тема 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Определение классического конечного автомата. Класс языков, распознаваемых классическими конечными автоматами (детерминированными, недетерминированными, вероятностными). Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами. Различные модели квантовых конечных автоматов, их сравнение. Класс языков, распознаваемых квантовыми конечными автоматами. Сравнение квантовых, детерминированных и вероятностных автоматов. Сложность распознавания языка квантовыми автоматами. Эффективные квантовые автоматы. Методы построения эффективных квантовых автоматов на примере автоматов, распознающих функции MOD<sub>r</sub>, EQ.

**Тема 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами.**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Определение классической ветвящейся программы. Длина, ширина и сложность ветвящейся программы. Определение квантовой ветвящейся программы. Отличие квантовой модели от классической. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами. Сравнительный сложностной анализ квантовых и классических ветвящихся программ.

**Тема 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ**

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Сложность вычисления функций классическими и квантовыми ветвящимися программами. Примеры функций, демонстрирующих вычислительную мощь квантовых ветвящихся программ. Классические и квантовые ветвящиеся программы константной ширины.

### **Тема 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.**

#### **лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Классическая коммуникационная модель. Основные понятия: односторонний, двусторонний коммуникационный протокол, сложность протокола. Квантовая коммуникационная модель вычислений, ее отличие от классической модели. Примеры эффективных алгоритмов для квантовой коммуникационной модели. Протоколы, использующие запутанность квантовых состояний.

### **Тема 20. k-partition квантовая коммуникационная модель.**

#### **4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел дисциплины	Се-мestr	Неде-ля семе-стра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудо-емкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение. История возникновения квантовых вычислений.	8	10	закрепление пройденного материала	2	Устный опрос
2.	Тема 2. Основные понятия квантовых вычислений	8	10	Выполнение домашнего задания	1	Проверка домашнего задания
3.	Тема 3. Основные постулаты квантовой механики.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
4.	Тема 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR-парадокс.	8	10	Выполнение домашнего задания	1	Проверка домашнего задания

N	Раздел дисциплины	Се-мestr	Неде-ля семе-стра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудо-емкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Квантовая криптография.	8	10	Чтение дополнительной литературы	4	обсуждение пройденного материала
6.	Тема 6. Квантовые гейты.	8	10	Выполнение домашнего задания	1	Проверка домашнего задания
7.	Тема 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Проверка домашнего задания
8.	Тема 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Проверка домашнего задания
9.	Тема 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
10.	Тема 10. Алгоритм Саймона.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос

N	Раздел дисциплины	Се-мestr	Неде-ля семе-стра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудо-емкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
11.	Тема 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	8	10	закрепление пройденного материала	2	Устный опрос
12.	Тема 12. Квантовое преобразование Фурье.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
13.	Тема 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	8	10	Выполнение домашнего задания	2	Проверка домашнего задания
14.	Тема 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	8	10	Выполнение домашнего задания	4	Проверка домашнего задания
15.	Тема 15. Квантовые и классические классы сложности.	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
16.	Тема 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.	8	10	Выполнение домашнего задания	1	Проверка домашнего задания

N	Раздел дисциплины	Се-мestr	Неде-ля семе-стра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудо-емкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
17.	Тема 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами.	8	10	Выполнение домашнего задания	1	Проверка домашнего задания
18.	Тема 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ	8	10	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
19.	Тема 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.	8	19	закрепление пройденного материала	1	Устный опрос
20.	Тема 20. k-partition квантовая коммуникационная модель.	8	20	Изучение литературы	4	Обсуждение изученного материала
Итого					32	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Обучение происходит в форме практических занятий, а также самостоятельной работы студентов.

Рекомендуется предлагать студентам упражнения по теме занятия для самостоятельного выполнения с целью более глубокого закрепления и понимания материала. Если упражнения предлагаются для самостоятельного выполнения дома, то необходимо в начале следующего занятия уделить время для разбора упражнения и проверки правильности его выполнения. Целесообразно в ходе обсуждения решения задачи задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения уровня усвоения теоретических аспектов обсуждаемых проблем. Следует поощрять выступления с места в виде кратких дополнений и вопросов к выступающим и преподавателю.

Рекомендуется привлекать студентов к активному участию в проведении занятия, предлагая к самостоятельному доказательству несложные утверждения и давая подсказку в случае затруднения. Также рекомендуется отмечать посещаемость занятий студентами.

Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу. Кроме того, рекомендуется предлагать для самостоятельного доказательства некоторые частные утверждения, способствующие более глубокому пониманию изучаемой темы и развитию абстрактного мышления.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Введение. История возникновения квантовых вычислений.**

Устный опрос , примерные вопросы:

1. Когда начала развиваться область квантовых вычислений, 2. Кто впервые высказал идею о возможности использования квантовых эффектов в вычислениях. 3. На чем основана эффективность квантовых вычислений? 4. Каково современное состояние в области квантовой информатики? 5. Сформулируйте основные постулаты квантовой механики. 6. Как они используются в квантовых вычислениях. 7. В чем различие между объединенной квантовой системой и составное квантовой системой. 8. Что такое запутанные квантовые состояния. 9. В чем состоят основные трудности для создания квантового компьютера. 10.Что такое квантовый параллелизм и как он используется в вычислениях.

### **Тема 2. Основные понятия квантовых вычислений**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений но основные понятия квантовых вычислений. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., стр. 7 - 9 .

### **Тема 3. Основные постулаты квантовой механики.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 1-6 стр. 12 - 13.

### **Тема 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 7-11 стр. 13.

### **Тема 5. Квантовая криптография.**

обсуждение пройденного материала , примерные вопросы:

Какие квантовые протоколы распределения ключа Вы знаете? Проведите их анализ. На чем основана их защищенность?

### **Тема 6. Квантовые гейты.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 1-5 стр. 17.

### **Тема 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 6-14 стр. 18.

## **Тема 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 15-22 стр. 19-20.

## **Тема 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Сформулируйте задачи, которые решаются алгоритмами Дойча, Дойча-Джозса, Бернштейна-Вазирани. Изложите каждый из алгоритмов на языке квантовых схем. Оцените их сложность. Сравните ее с классической сложностью решения данных задач. Какие квантовые эффекты позволяют достичь преимущество квантовых моделей для данных задач?

## **Тема 10. Алгоритм Саймона.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Какую задачу решает алгоритм Саймона? Какова сложность решения данной задачи классическим детерминированным алгоритмом? Какова сложность решения данной задачи классическим вероятностным алгоритмом? Изложите алгоритм Саймона на языке квантовых схем. Оцените его сложность. Сравните ее с классической сложностью решения данных задач. Какие квантовые эффекты позволяют достичь преимущество квантовых моделей для данных задач?

## **Тема 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Какую задачу решает алгоритм Гровера? Какова сложность решения данной задачи классическим детерминированным алгоритмом? Какова сложность решения данной задачи классическим вероятностным алгоритмом? Изложите алгоритм Гровера на языке квантовых схем. Оцените его сложность. Сравните ее с классической сложностью решения данных задач. Какие квантовые эффекты позволяют достичь преимущество квантовых моделей для данных задач? Как оценивается количество итераций алгоритма, требуемых для нахождения искомого значения в неупорядоченной базе данных? Какие задачи могут быть сведены к задаче поиска в неупорядоченном массиве данных?

## **Тема 12. Квантовое преобразование Фурье.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое классическое преобразование Фурье, как оно выполняется какова его сложность. Что такое быстрое преобразование Фурье, как оно выполняется какова его сложность. Что такое квантовое преобразование Фурье, в чем его отличие от классического преобразования Фурье. Проведите их сравнительный анализ. Оценить сложность вычисления квантового преобразования Фурье.

## **Тема 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 1-6 стр. 22-23.

## **Тема 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 7-10 стр. 24-25.

### **Тема 15. Квантовые и классические классы сложности.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое класс сложности? Какие классы сложности Вы знаете. Что такое иерархия классов сложность. Какие методами может быть доказано соотношение классов сложности? Какие вопросы в иерархии сложностных классов являются открытыми на сегодняшний день? Какие квантовые классы сложности Вы знаете и как они определяются. Каково их место в иерархии сложностных классов и как это может быть показано.

### **Тема 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 11-12 стр. 25.

### **Тема 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами.**

Проверка домашнего задания , примерные вопросы:

Выполнение упражнений, контролирующих правильность понимания основных понятиями квантовой информатики (кубит, квантовое состояние, квантовое преобразование, измерение и т.д. ), и умение манипулировать данными понятиями. Методическое пособие "Сборник задач и упражнений по курсу Основы квантовых вычислений"/ Гайнутдинова А.Ф. . - Казань: Казан. ун-т. 2014., упр. 13-15 стр. 26.

### **Тема 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ**

Устный опрос , примерные вопросы:

Как определяется модель ветвящихся программ. Какие образом производится вычисления функций в данной модели. Как определяется сложность и глубина ветвящейся программы. Какие разновидности ветвящихся программ Вы знаете. Как определяется модель квантовых ветвящихся программ. Какие образом производится вычисления функций в данной модели. Как определяется сложность и квантовой ветвящейся программы. Могут ли квантовые ветвящиеся быть эффективнее классических? Приведите аргументацию Вашего ответа.

### **Тема 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое коммуникационная модель вычислений. Какие образом производится вычисления функций в данной коммуникационного протокола. Как определяется коммуникационная сложность функции. Как определяется квантовая коммуникационная модель вычислений. Какие образом производится вычисления функций в данной модели. Как определяется сложность квантового коммуникационного протокола. Что такое односторонний коммуникационный протокол? Могут ли квантовые коммуникационные модели быть эффективнее классических? Приведите аргументацию Вашего ответа.

### **Тема 20. k-partition квантовая коммуникационная модель.**

Обсуждение изученного материала , примерные вопросы:

Что такое k-partition квантовая коммуникационная модель. Чем она отличается об обычной квантовой коммуникационной модели. Приведите пример функции, для которой демонстрируется преимущество квантовой модели перед классической. Какие квантовые эффекты используются для вычисления данной функции.

### **Итоговая форма контроля**

зачет (в 8 семестре)

Примерные вопросы к итоговой форме контроля

По данной дисциплине предусмотрено проведение экзамена. Примерные вопросы для экзамена - Приложение1.

Вопросы к экзамену:

1. Понятие квантового бита. Основные свойства квантового бита. Его отличие от классического. Геометрическая интерпретация. Понятие стандартного (вычислительного) базиса. Квантовый регистр. Квантовое состояние. Информационное содержание квантового и классического битов.
2. Квантовый регистр и его состояние. Сравнение с классическим регистром. Пространство состояний квантового и классического регистров. Тензорное и декартово произведение пространств.
3. Квантовая система, квантовое состояние, преобразования квантовой системы, квантовое измерение как способ извлечения информации.
4. Понятие унитарного оператора и его основные свойства.
5. Квантовые гейты. Их сравнение с классическими гейтами. Примеры однокубитных и двухкубитных квантовых гейтов.
6. Понятие универсального квантового гейта. Квантовые схемы.
7. Преобразование Адамара. преобразование Уолша-Адамара. Примеры алгоритмов, использующих данные преобразования.
8. Вычисление функций на квантовом компьютере. В чем состоит мощь и ограниченность квантового вычислений функций. Понятие квантового параллелизма.
9. Теорема о неклонировании. Использование гейта Спот для создания запутанных состояний. Объяснение данного явления в свете Теоремы о неклонировании.
10. Запутанность как один из феноменов квантовой механики. Два различных определения запутанных квантовых состояний. Примеры использования.
11. Алгоритм плотного кодирования.
12. Телепортация (алгоритм передачи квантового состояния).
13. Алгоритм Дойча. Квантовая сложность алгоритма в сравнении с классической.
14. Алгоритм Дойча-Джозса. Квантовая сложность алгоритма в сравнении с классической.
15. Алгоритм Гровера. Квантовая сложность алгоритма в сравнении с классической.
16. Алгоритм Саймона. Квантовая сложность алгоритма в сравнении с классической.
17. Сведение задачи факторизации к задаче нахождения периода функции. Алгоритм Шора факторизации числа (без изложения алгоритма нахождения периода).
18. Преобразование Фурье (детерминированное, быстрое, квантовое). Классическая и квантовая сложность преобразования Фурье. Роль квантового преобразования Фурье в алгоритме Шора.
19. Алгоритм Шора нахождения периода функции.
20. Алгоритм Шора факторизации числа.
21. RSA-алгоритм шифрования. Почему использование квантового компьютера поможет взломать системы, основанные на методе RSA-шифрования с открытым ключом.
22. Определение квантового конечного автомата с одним измерением . Сравнение с детерминированным, вероятностным конечным автоматом.

23. Свойство: квантовые конечные автоматы распознают собственное подмножество регулярных языков.

24. Сравнительная сложность квантовых, детерминированных и вероятностных конечных автоматов на примере булевой функции MOD<sub>r</sub>.

### **7.1. Основная литература:**

1. Марченков, С.С. Основы теории булевых функций [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.С. Марченков. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2014. - 136 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59714>

2. Байков, Ю.А. Квантовая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. - Электрон. дан. - Москва : Издательство 'Лаборатория знаний', 2015. - 294 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70719>

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Хренников, А.Ю. Введение в квантовую теорию информации [Электронный ресурс] : учебник / А.Ю. Хренников. - Электрон. дан. - Москва : Физматлит, 2008. - 284 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2176>

2. Гольдин Л. Л. Квантовая физика. Вводный курс / Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. - Долгопрудный: Интеллект, 2016. - 480 с.: ISBN 978-5-91559-199-7 Режим доступа:<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=552465>

3. Бройль, Луи Луи де Бройль. Избранные научные труды. Т. 1. Становление квантовой физики: работы 1921 - 1934 годов [Электронный ресурс] / Луи де Бройль. - М.: Логос, 2010. - 556 с. - ISBN 978-5-98704-505-3. Режим доступа:

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=468215>

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Интернет-портал образовательных ресурсов КФУ - <http://www.kfu-elearning.ru/>

Интернет-портал образовательных ресурсов по ИТ - <http://algolist.manual.ru>

Интернет-портал по математическим наукам - <http://www.mathnet.ru>

Интернет-портал ресурсов по математике - <http://www.allmath.com/>

Интернет-портал ресурсов по математическим наукам - [http://www.math.ru/](http://www.math.ru)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Квантовые модели вычислений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

занятия по дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной доской и мелом(маркером), а также в специализированных компьютерных кабинетах.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 01.03.04 "Прикладная математика" и профилю подготовки Математическое моделирование .

Автор(ы):

Гайнутдинова А.Ф. \_\_\_\_\_  
" " 201 \_\_\_\_ г.

Рецензент(ы):

Аблаев Ф.М. \_\_\_\_\_  
" " 201 \_\_\_\_ г.