

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



» 20 г.

подписано электронно-цифровой подписью

## Программа дисциплины

Квантовые модели вычислений Б1.В.ДВ.10.04

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

Автор(ы): Гайнутдинова А.Ф.

Рецензент(ы): Аблаев Ф.М., Хадиев К.Р.

### СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Аблаев Ф. М.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института вычислительной математики и информационных технологий:

Протокол заседания УМК № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

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. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-5	Обеспечения функционирования баз данных
ПК-7	Разработка и документирование программных интерфейсов, разработка процедур сборки модулей и компонент программного обеспечения, разработка процедур развертывания и обновления программного обеспечения.

Выпускник, освоивший дисциплину:

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 элементов); то, каким образом производится обработка входных слов и распознавание языков в данных моделях;

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.

Должен владеть:

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

Должен демонстрировать способность и готовность:

готовность и способность применять полученные знания на практике.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.10.04 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.04 "Прикладная математика (не предусмотрено)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 4 курсе в 8 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

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

Контактная работа - 40 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 40 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 32 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 8 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. История возникновения квантовых вычислений.	8	0	0	2	2
2.	Тема 2. Основные понятия квантовых вычислений	8	0	0	2	1
3.	Тема 3. Основные постулаты квантовой механики.	8	0	0	2	1
4.	Тема 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс.	8	0	0	2	1
5.	Тема 5. Квантовая криптография.	8	0	0	2	4
6.	Тема 6. Квантовые гейты.	8	0	0	2	1
7.	Тема 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы.	8	0	0	2	1
8.	Тема 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация.	8	0	0	2	1
9.	Тема 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дайча, алгоритм Дайча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани.	8	0	0	2	1
10.	Тема 10. Алгоритм Саймона.	8	0	0	2	1
11.	Тема 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных.	8	0	0	2	2
12.	Тема 12. Квантовое преобразование Фурье.	8	0	0	2	1
13.	Тема 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора.	8	0	0	2	2
14.	Тема 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок.	8	0	0	2	4
15.	Тема 15. Квантовые и классические классы сложности.	8	0	0	4	1
16.	Тема 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.	8	0	0	2	1
17.	Тема 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами.	8	0	0	2	1
18.	Тема 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ	8	0	0	2	1
19.	Тема 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.	8	0	0	1	1
20.	Тема 20. k-partition квантовая коммуникационная модель.	8	0	0	1	4
	Итого		0	0	40	32

#### 4.2 Содержание дисциплины

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

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**

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.**

Основные постулаты квантовой механики. Квантовая система. Составная квантовая система, объединенная квантовая система. Состояние квантовой системы. Эволюция квантовой системы. Квантовое измерение. Теорема неклонирования. Основной математический аппарат, используемый в теории квантовых вычислений.

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

Запутанные состояния, история открытия. Два различных определения запутанных квантовых состояний - через разложимость квантовой системы и через измерение квантовой системы. Примеры запутанных квантовых состояний с обоснованием. EPR- парадокс. Использование эффекта entanglement в квантовых вычислениях.

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

Классическая криптография ее основные понятия. Симметричное и асимметричное 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.**

Классические гейты. Полная система классических гейтов. Квантовые гейты, их определение, отличие от классических гейтов. Простейшие однокубитные, двухкубитные, трехкубитные гейты. Контролируемые квантовые гейты. Преобразование Адамара и Уолша-Адамара. Их роль. Универсальные квантовые гейты с доказательством их универсальности.

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

Определение классических схем как модели без памяти. Сложностные характеристики классической схемы: сложность схемы и глубина схемы. Квантовые схемы, их определение. Основные отличия квантовых и классических схем. Сложностные характеристики квантовых схем. Построение простейших квантовых схем.

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

Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм телепортации, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Реализация данных алгоритмов на языке схем. Роль запутанных состояний в рассматриваемых алгоритмах. Сложность. Сравнительный анализ квантовых алгоритмов и классических алгоритмов. Для решения данных задач.

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

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.**

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 квантовых схем. Сравнение с классическими алгоритмами решения задачи (детерминированными и вероятностными).

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

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.**

Классическое преобразование Фурье и алгоритмы его вычисления. Классический алгоритмы преобразования Фурье. Алгоритм быстрого преобразования Фурье его реализация. Сложность классических алгоритмов преобразования Фурье. 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.**

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.**

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

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

Понятия вычислимости и сложности. Тезис Черча, Черча-Тьюринга. Определение машины Тьюринга. Понятие времерной и пространственной меры сложности, их соотношения. 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.**

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>p</sub>, EQ.

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

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**

Сложность вычисления функций классическими и квантовыми ветвящимися программами. Критерии вычисления функция ветвящимися программами: вычисление без ошибки, вычисление с ограниченной ошибкой, с неограниченной ошибкой, недетерминированное вычисление функций. Примеры функций, демонстрирующих вычислительную мощь квантовых ветвящихся программ. Классические и квантовые ветвящиеся программы константной ширины.

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

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.**

Различные разновидности коммуникационной модели вычислений: однорундовые вычисления, многорундовые вычисления, модель с двумя и более участниками. K-partition квантовая коммуникационная модель. Использование запутанности в алгоритмах для квантовой коммуникационной модели. Пример протокола, основанного на использовании за-путанных квантовых состояний.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"".

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/>

## 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 8</b>			
1	Контрольная работа	ПК-2 , ПК-1 , ПК-3	2. Основные понятия квантовых вычислений 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс. 6. Квантовые гейты. 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы. 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация. 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани. 12. Квантовое преобразование Фурье. 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами.

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
2	Устный опрос	ПК-3 , ПК-2 , ПК-1	1. Введение. История возникновения квантовых вычислений. 2. Основные понятия квантовых вычислений 3. Основные постулаты квантовой механики. 4. Определение запутанных квантовых состояния, примеры. EPR- парадокс. 5. Квантовая криптография. 6. Квантовые гейты. 7. Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы. 8. Плотное квантовое кодирование. Телепортация. 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани. 10. Алгоритм Саймона. 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных. 12. Квантовое преобразование Фурье. 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора. 14. Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок. 15. Квантовые и классические классы сложности. 16. Определение квантового конечного автомата. Распознавание языков квантовыми конечными автоматами. 17. Определение квантовой бинарной программы. Вычислений функций квантовыми ветвящимися программами. 18. Сравнение квантовых и классических ветвящихся программ 19. Квантовая коммуникационная модель вычислений.
2	Устный опрос	ПК-3 , ПК-2 , ПК-1	20. k-partition квантовая коммуникационная модель.
	<b>Зачет</b>	ПК-5, ПК-7	

**6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап	
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.		
<b>Семестр 8</b>						
<b>Текущий контроль</b>						
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	1	

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	2
<b>Зачлено</b>		<b>Не зачленено</b>			
<b>Зачет</b>	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.		

### 6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### Семестр 8

##### Текущий контроль

###### 1. Контрольная работа

Темы 2, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 16

Вариант 1.

1. Разработайте квантовую схему, которая подготовливает заданное квантовое состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(\ket{00} + \ket{11})$ .

2. Изложите алгоритм телепортации и обоснуйте роль запутанных состояний в этом алгоритме.

3. Разработайте квантовый конечный автомат, распознающий язык MODp.

Вариант 2.

1. Разработайте квантовую схему, которая подготовливает заданное квантовое состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(\ket{00\dots0} + \ket{11\dots0})$ .

2. Изложите алгоритм плотного кодирования и обоснуйте роль запутанных состояний в этом алгоритме.

3. Разработайте квантовую ветвящуюся программу, вычисляющую функцию EQ.

Вариант 2.

1. Разработайте квантовую схему, которая из состояния  $\ket{\psi} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\ket{a_1 \dots a_n} + \ket{a_1 \dots a_n})$ , где  $a_1, \dots, a_n \in \{0, 1\}$ , подготавливает заданное квантовое состояние  $\frac{1}{\sqrt{2}}(\ket{a_1 \dots a_n} + \ket{a_1 \dots a_n})$ , где  $a_1, \dots, a_n \in \{0, 1\}$ .

2. Изложите алгоритм Гровера. Обоснуйте его сложность

3. Разработайте недетерминированный квантовый автомат, распознающий язык  $O$ , состоящий из слов, содержащих равное число нулей и единиц. Обоснуйте его сложность

###### 2. Устный опрос

Темы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

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.

### **Зачет**

Вопросы к зачету:

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 Снот 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>.

#### **6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 8</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	20
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.	2	30
Зачет	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

#### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

##### **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>

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

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/>)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	<p>В курсе 'Квантовые модели вычислений' рассматривается история зарождения квантовых вычислений; приводятся определения и понятия, используемые в квантовой информатике и опирающиеся на постулаты квантовой механики; обсуждаются основные законы квантовых вычислений; детально рассматриваются известные квантовые алгоритмы обработки и передачи информации, демонстрирующие мощь квантовых вычислительных моделей по сравнению с классическими.</p> <p>По окончании курса студент должен владеть основными понятиями квантовой информатики, такими, как понятие кубита, квантового регистра, квантовых преобразований и измерения квантовой системы, знать основные законы квантовых вычислений, ориентироваться в рассмотренных квантовых алгоритмах.</p> <p>На занятиях студенты выполняют задания, закрепляющие пройденный теоретический материал. Квантовая информатика базируется на законах квантовой механики и оперирует понятиями, отличными от соответствующих понятий, используемых в классической информатике. В силу отличия законов квантовой механики от соответствующих законов классической физики, зачастую при рассмотрении квантовых эффектов тяжело привлечь интуицию. При изучении курса необходимо уделить особое внимание правильному пониманию базовых понятий квантовых вычислений, поскольку квантовые вычисления используют эффекты квантовой механики, не существующие в классических вычислениях. Правильное понимание данных понятий отрабатывается регулярным и своевременным выполнением предлагаемых преподавателем упражнений. Только при адекватном понимании природы квантовых вычислений возможно правильное понимание квантовых алгоритмов и выработка соответствующей интуиции. Основными базовыми понятиями, на правильное понимание которых следует обратить особое внимание, является понятие кубита, квантовой суперпозиции, явления запутанности, интерференции, квантового параллелизма, др.</p> <p>При проведении занятия студентам необходимо активно участвовать в учебном процессе, задавая вопросы преподавателю, обсуждать и предлагая свои решения.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	При самостоятельной работе и самостоятельном изучении и закреплении материала, пройденного под руководством преподавателя, рекомендуется обращать особенное внимание на правильное понимание изучаемых понятий, при затруднениях обращаться к преподавателю с вопросами. Решение предлагаемых упражнений служат проверке правильности усвоения материала. При подготовке к устному опросу следует прочитать конспект лекций, при необходимости обратиться к литературе из списка основной и дополнительной литературы. Хорошему закреплению материала способствует систематическое выполнение домашних заданий и активная работа в классе.
контрольная работа	В течение семестра предусмотрена контрольная работа. При подготовке в контрольной работе следует пользоваться конспектом лекций и рекомендованной литературой по темам выносимым на контроль. При подготовке к контрольной работе могут быть использованы учебное пособия (Гайнутдинова А.Ф. Основы квантовых вычислений. Учебное пособие. Казань: Изд-во КГУ. - 2009г. - 100с., Гайнутдинова А. Ф. Квантовые модели вычислений (учебное пособие) Казань: Отечество, 2016. - 104 с. 104 с.) . Также имеется Сборник задач и упражнения по курсу 'Основы квантовых вычислений'. Методическое пособие / А.Ф.Гайнутдинова. - Казань:Казан. Ун-т, 2014. - 28с.
устный опрос	устный опрос ориентирован на проверку правильности понимания изучаемого материала, а также призван контролировать своевременное выполнение домашних заданий с тем, чтобы студент мог адекватно воспринимать новый материал. При возникновении затруднений с ответами в ходе опроса рекомендуется поощрять совместное обсуждение материала по темам из опроса, побуждать студентов к дискуссии.
зачет	Зачет проводится в устной форме. Билеты, предлагаемые на зачете, содержат 1. один теоретический вопрос по курсу прочитанных лекций 2. одну задачу, подобную тем, что рассматривались на занятиях. При изучении курса могут быть использованы учебное пособия (Гайнутдинова А.Ф. Основы квантовых вычислений. Учебное пособие. Казань: Изд-во КГУ. - 2009г. - 100с., Гайнутдинова А. Ф. Квантовые модели вычислений (учебное пособие) Казань: Отечество, 2016. - 104 с. 104 с.) . Также имеется Сборник задач и упражнения по курсу 'Основы квантовых вычислений'. Методическое пособие / А.Ф.Гайнутдинова. - Казань:Казан. Ун-т, 2014. - 28с. Разработанное учебное пособие и сборник задач может быть полезно как для бакалавров и магистров, слушающих курс лекций по квантовым вычислениям, так и аспирантов, ведущих исследования в области квантовой информатики.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Освоение дисциплины "Квантовые модели вычислений" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. 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, учебно-методические комплексы, 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 образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен обучающимся. 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.

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

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.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.03.04 "Прикладная математика" и профилю подготовки "не предусмотрено".