

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. Д.А. Таюрский



» 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Основы квантовых вычислений Б1.В.ДВ.01.01

Направление подготовки: 01.04.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Классические и квантовые методы обработки информации

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

Автор(ы): Аблаев Ф.М., Васильев А.В., Гайнутдинова А.Ф.

Рецензент(ы): Кугураков В.С.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Аблаев Ф. М.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 20__ г.

Учебно-методическая комиссия Института вычислительной математики и информационных технологий:

Протокол заседания УМК No ____ 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) заведующий кафедрой, д.н. (профессор) Аблаев Ф.М. (кафедра теоретической кибернетики, отделение фундаментальной информатики и информационных технологий), Farid.Ablayev@kpfu.ru ; старший научный сотрудник, к.н. (доцент) Васильев А.В. (Научно-исследовательская лаборатория Квантовая информатика, Институт вычислительной математики и информационных технологий), Alexander.Vasiliev@kpfu.ru ; 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-1	Создание педагогических условий для развития группы обучающихся по программам ВО, организационно-методическое, преподавание для программ бакалавриата, ориентированным на соответствующий уровень квалификации
ПК-2	Управление аналитическими работами и подразделением, управление инфраструктурой разработки и сопровождение требований к системам

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); 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:

применять полученные знания в своей профессиональной деятельности.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.04 "Прикладная математика (Классические и квантовые методы обработки информации)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 1 курсе в 1 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 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 36 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 90 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 54 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 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. История зарождения квантовых вычислений. Современное состояние в области квантовой информатики. Основные понятия квантовых вычислений. Математический аппарат квантовых вычислений. Основные постулаты квантовой механики. Квантовые эффекты. Теорема о неклонировании.	1	4	0	0	8
2.	Тема 2. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритм Саймона.	1	6	0	0	10
3.	Тема 3. Задача поиска в неупорядоченной базе данных. Алгоритм Гровера	1	4	0	0	10
4.	Тема 4. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм Шора факторизации числа. Анализ.	1	4	0	0	10
5.	Тема 5. Квантовая криптография. Квантовое распределение ключа.	1	2	0	0	10
6.	Тема 6. Квантовое исправление ошибок.	1	2	0	0	12
7.	Тема 7. Квантовый конечный автомат. Квантовая ветвящаяся программа. Квантовая коммуникационная модель вычислений.	1	8	0	0	14
8.	Тема 8. Квантовые и классические классы сложности.	1	6	0	0	16
	Итого		36	0	0	90

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. История зарождения квантовых вычислений. Современное состояние в области квантовой информатики. Основные понятия квантовых вычислений. Математический аппарат квантовых вычислений. Основные постулаты квантовой механики. Квантовые эффекты. Теорема о неклонировании.

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

Квантовые эффекты: квантовый параллелизм, запутанные состояния, интерференция. Теорема о неклонировании. Информационная емкость кубита. Сравнение информационной емкости классического и квантового бита.

Тема 2. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритм Саймона.

Квантовые гейты, определение, их отличие от классических гейтов. Однокубитные, двухкубитные, трехкубитные Контролируемые квантовые гейты. Преобразование Адамара и Уолша-Адамара. Их роль. Квантовые схемы. Сравнение квантовых и классических схем. Универсальные квантовые гейты. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Реализация алгоритмов на языке схем. Роль запутанных состояний в алгоритмах. Сложность. Алгоритм Дойча-Джозса. Реализация на языке схем, сложность алгоритма. Алгоритм Саймона. Реализация на языке схем, сложность алгоритма. Значение алгоритмов Дойча-Джозса и Саймона.

Тема 3. Задача поиска в неупорядоченной базе данных. Алгоритм Гровера

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 4. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм Шора факторизации числа. Анализ.

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. 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 5. Квантовая криптография. Квантовое распределение ключа.

Классическая криптография, основные понятия. Понятие симметричного и асимметричного шифрования. Задача распределения ключа в криптографии. Квантовая криптография. Протоколы квантового распределения ключа. Протокол BB84. Обоснование стойкости протокола. Квантовые атаки. Понятие постквантовой криптографии.

Тема 6. Квантовое исправление ошибок.

Понятие устойчивости вычислений в классическом случае. Методы исправления ошибок при классических вычислениях. Устойчивость квантовых вычислений. Типы квантовых ошибок. Особенности квантовых ошибок по сравнению классическими. Понятие и причины декогеренции. Методы коррекции квантовых ошибок. Примеры.

Тема 7. Квантовый конечный автомат. Квантовая ветвящаяся программа. Квантовая коммуникационная модель вычислений.

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. Построение эффективных квантовых автоматов. 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 сложный анализ квантовых и классических ветвящихся программ. 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 8. Квантовые и классические классы сложности.

Понятия вычислимости и сложности. Определение классической и квантовой машины Тьюринга. Меры сложности. Определение классических классов сложности. Их соотношения. Методы доказательства соотношения между классами сложности. Открытые проблемы. Квантовые классы сложности. Их место в иерархии сложных классов.

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 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".

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
Семестр 1			
	Текущий контроль		
1	Контрольная работа	ПК-1 , ПК-2	1. История зарождения квантовых вычислений. Современное состояние в области квантовой информатики. Основные понятия квантовых вычислений. Математический аппарат квантовых вычислений. Основные постулаты квантовой механики. Квантовые эффекты. Теорема о неклонировании. 2. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритм Саймона. 4. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм Шора факторизации числа. Анализ. 7. Квантовый конечный автомат. Квантовая ветвящаяся программа. Квантовая коммуникационная модель вычислений.
2	Устный опрос	ПК-2 , ПК-1	1. История зарождения квантовых вычислений. Современное состояние в области квантовой информатики. Основные понятия квантовых вычислений. Математический аппарат квантовых вычислений. Основные постулаты квантовой механики. Квантовые эффекты. Теорема о неклонировании. 2. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритм Саймона. 3. Задача поиска в неупорядоченной базе данных. Алгоритм Гровера 4. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм Шора факторизации числа. Анализ. 5. Квантовая криптография. Квантовое распределение ключа. 6. Квантовое исправление ошибок. 7. Квантовый конечный автомат. Квантовая ветвящаяся программа. Квантовая коммуникационная модель вычислений. 8. Квантовые и классические классы сложности.

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
3	Реферат	ПК-2 , ПК-1	1. История зарождения квантовых вычислений. Современное состояние в области квантовой информатики. Основные понятия квантовых вычислений. Математический аппарат квантовых вычислений. Основные постулаты квантовой механики. Квантовые эффекты. Теорема о неклонировании. 2. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Простейшие квантовые алгоритмы: телепортация, алгоритм плотного кодирования, алгоритм Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Алгоритм Саймона. 3. Задача поиска в неупорядоченной базе данных. Алгоритм Гровера 4. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм Шора факторизации числа. Анализ. 5. Квантовая криптография. Квантовое распределение ключа. 6. Квантовое исправление ошибок. 7. Квантовый конечный автомат. Квантовая ветвящаяся программа. Квантовая коммуникационная модель вычислений. 8. Квантовые и классические классы сложности.
	Экзамен	ПК-1, ПК-2	

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.	
Семестр 1					
Текущий контроль					
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
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

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Реферат	Тема раскрыта полностью. Продемонстрировано превосходное владение материалом. Используются надлежащие источники в нужном количестве. Структура работы соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы высокая.	Тема в основном раскрыта. Продемонстрировано хорошее владение материалом. Используются надлежащие источники. Структура работы в основном соответствует поставленным задачам. Степень самостоятельности работы средняя.	Тема раскрыта слабо. Продемонстрировано удовлетворительное владение материалом. Используются источники и структура работы частично соответствуют поставленным задачам. Степень самостоятельности работы низкая.	Тема не раскрыта. Продемонстрировано неудовлетворительное владение материалом. Используются источники недостаточны. Структура работы не соответствует поставленным задачам. Работа несамостоятельна.	3
Экзамен	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	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 1

Текущий контроль

1. Контрольная работа

Темы 1, 2, 4, 7

Вариант 1.

1. Разработайте квантовую схему, которая подготавливает заданное квантовое состояние $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$.

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 подготавливает заданное квантовое состояние $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\dots 0\rangle + |11\dots 1\rangle)$.

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 $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|a_1 \dots a_n\rangle + |0 \dots 0\rangle)$ подготавливает заданное квантовое состояние $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|a_1 \dots a_n\rangle + |a_1 \dots a_n\rangle)$, где $a_1, \dots, a_n \in \{0, 1\}$.
2. Изложите алгоритм Гровера. Обоснуйте его сложность
3. Разработайте недетерминированный квантовый автомат, распознающий язык 0^n , состоящий из слов, содержащий равное число нулей и единиц. Обоснуйте его сложность

2. Устный опрос

Темы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

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. Как они используются в квантовых вычислениях.
6. В чем различие между объединенной квантовой системой и составное квантовой системой.
7. Что такое запутанные квантовые состояния.
8. В чем состоят основные трудности для создания квантового компьютера.
9. Что такое квантовый параллелизм и как он используется в вычислениях.
10. В чем различие между квантовыми и классическими ошибками.
11. Какие методы используются в классических вычислениях для исправления ошибок.
12. Для чего вводится избыточность в коды с исправлением ошибок.
13. Какие типы ошибок возможны при квантовых вычислениях.
14. В результате чего могут возникать квантовые ошибки.
15. Почему классические методы коррекции ошибок не могут напрямую использоваться в квантовых вычислениях.
16. Что такое декогеренция.
17. Приведите методы квантовой коррекции ошибок.
18. Как влияет квантовая коррекция ошибок на сложность вычислений.
19. Какие существуют разновидности квантовых автоматов.
20. В чем различие между один раз измеряющим и много раз измеряющим квантовым автоматом.
21. Как соотносятся вычислительные возможности один раз измеряющего и много раз измеряющего квантового автомата.
22. Дайте определение одностороннего квантового один раз измеряющего конечного автомата.
23. Каким образом квантовый конечный автомат распознает язык.
24. Как определяется вероятность принятия входного слова.
25. При помощи какой процедуры извлекается результат квантового вычисления.
26. Какие критерии распознавания языков квантовыми автоматами существуют.
27. Какой класс языков распознается квантовыми автоматами с ограниченной ошибкой.
28. Как определяется недетерминированный квантовый конечный автомат.
29. Приведите пример языка, демонстрирующего эффективность квантовых автоматов перед классическими. Обоснуйте свой пример.
30. Дайте определение классической ветвящейся программы.
31. Дайте определение квантовой ветвящейся программы.
32. Опишите, а чем отличие квантовой и классической моделей.
33. Каким образом квантовая ветвящаяся программа вычисляет функцию.
34. Как определяется вероятность принятия ветвящейся программой входного слова. При помощи какой процедуры извлекается результат вычисления.
35. Какие критерии вычисления функций квантовыми ветвящимися программами существуют.
36. Приведите пример языка, демонстрирующего эффективность квантовых ветвящихся программ перед классическими. Обоснуйте свой пример.
37. Каким существуют методы уменьшения ошибки вычисления в квантовых ветвящихся программах.
38. Приведите определение квантовой коммуникационной модели.
39. В чем различие между коммуникационной моделью public coin и коммуникационной модулью private coin.
40. В чем отличие квантовой коммуникационной модели от классической.
41. Дайте определение коммуникационного протокола и его сложности.
42. В чем различие между односторонним и двусторонним коммуникационным протоколом.
43. В чем различие между многораундовым и однораундовым коммуникационным протоколом.
44. Приведите пример задачи, демонстрирующей эффективность квантовой коммуникационной модели перед классическими. Обоснуйте свой пример
45. Каким образом может использоваться запутанность в коммуникационных вычислениях. Приведите пример.
46. Каким образом может быть приготовлено запутанное квантовое состояние.

3. Реферат

Темы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

1. Квантовый компьютер IBM-Q. Доступные возможности. Инструкция по использованию сервиса. Новые разработки IBM в области квантовых вычислений.
2. Односторонние и условно односторонние функции. Асимметричная криптография. Безопасность криптографических протоколов, основанных на асимметричном шифровании при существовании квантового компьютера. Постквантовая криптография.
3. Задача факторизации числа. Классические и квантовые алгоритмы.
4. Эффективные квантовые алгоритмы для решения практических важных задач. Современное состояние в данной области.
5. Квантовое машинное обучение.

Экзамен

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 вычисления функций. Понятие квантового параллелизма.
9. Теорема о неклонировании. Использование гейта Cnot 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 MODp.

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
Семестр 1			
Текущий контроль			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдается преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	15
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	15
Реферат	Обучающиеся самостоятельно пишут работу на заданную тему и сдают преподавателю в письменном виде. В работе производится обзор материала в определённой тематической области либо предлагается собственное решение определённой теоретической или практической проблемы. Оцениваются проработка источников, изложение материала, формулировка выводов, соблюдение требований к структуре и оформлению работы, своевременность выполнения. В случае публичной защиты реферата оцениваются также ораторские способности.	3	20
Экзамен	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся даётся время на подготовку. 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:

Марченков С.С., Основы теории булевых функций [Электронный ресурс] / Марченков С.С - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 136 с. - ISBN 978-5-9221-1562-9 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115629.html>

Квантовые модели вычислений : учебное пособие / Казан. федер. ун-т ; [сост. А. Ф. Гайнутдинова] .- Казань : [Отечество], 2016 .- 104 с.

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:

Нильсен, Майкл А. Квантовые вычисления и квантовая информация : перевод с английского / М. Нильсен, И. Чанг ; Пер. под ред. М. Н. Вялого, П. М. Островского с предисл. К. А. Валиева .- Москва : Мир, 2006 .- 824 с.

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>

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 по квантовым вычислениям - <https://www.quantiki.org/>

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

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В курсе 'Основы квантовых 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.
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 пособие (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.
реферат	При подготовке реферата необходимо осуществить поиск литературы, относящейся к теме реферата. Следует не отклоняться от предложенной темы, добиваясь наиболее полного ее раскрытия. Реферат должен быть оформлен в печатном виде, содержать титульный лист, оглавление, введение, в котором обрисовывается область исследования, основную часть, заключение, список использованной литературы, оформленный по ГОСТу. Объем реферата должен составлять не менее 10 листов, межстрочный интервал 1.5, шрифт 14 Times New Roman. Содержимое должно пройти проверку на антиплагиат.
экзамен	Экзамен проводится в устной форме. Билеты, предлагаемые на экзамене, содержат 1. один теоретический вопрос по курсу прочитанных лекций 2. одну задачу, подобную тем, что рассматривались на занятиях. Подготовка к экзамену имеет целью систематизацию знаний, полученных в ходе изучения предмета. При изучении курса могут быть использованы учебное пособие (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 "Основы квантовых 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

Adobe Reader XI

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 "Основы квантовых вычислений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

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 01.04.04 "Прикладная математика" и магистерской программе Классические и квантовые методы обработки информации .