

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



УТВЕРЖДАЮ

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

"__" 20__ г.

Программа дисциплины
Теория квантовых вычислений Б1.В.ДВ.11

Направление подготовки: 02.03.01 - Математика и компьютерные науки

Профиль подготовки: Математическое и компьютерное моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Зубков М.В.

Рецензент(ы):

Файзрахманов М.Х.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Арсланов М. М.

Протокол заседания кафедры № ____ от "____" ____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК № ____ от "____" ____ 201__ г

Регистрационный №

Казань
2018

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) доцент, к.н. Зубков М.В. Кафедра алгебры и математической логики отделение математики , Maxim.Zubkov@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения данной дисциплины является введение в теорию квантовых вычислений, обеспечивающее свободное, самостоятельное, целенаправленное ориентирование в литературе и интернет-ресурсах по этой быстро развивающейся и перспективной дисциплине.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.11 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 02.03.01 Математика и компьютерные науки и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Для освоения данного курса необходимо знакомство с линейной алгеброй в объеме стандартного курса математического факультета университета.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции | Расшифровка приобретаемой компетенции |
|---|---|
| ОПК-2 (профессиональные компетенции) | готовность организовать работу исследовательского коллектива в научной отрасли, соответствующей направлению подготовки |
| ПК-10 (профессиональные компетенции) | способность к преподаванию физико-математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования |
| ПК-5 (профессиональные компетенции) | способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Основные понятия теории квантовых вычислений, определения и свойства математических объектов, используемых в этой области, формулировки утверждений, методы их доказательства, возможные сферы их приложений.

2. должен уметь:

Решать задачи теоретического и прикладного характера из различных разделов теории квантовых вычислений, доказывать утверждения, строить модели объектов и понятий.

3. должен владеть:

Математическим аппаратом теории квантовых вычислений, методами доказательства утверждений в этой области, навыками алгоритмизации основных задач.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

использовать основные понятия теории квантовых вычислений, определения и свойства математических объектов, используемых в этой области, формулировки утверждений, методы их доказательства, возможные сферы их приложений, решать задачи теоретического и прикладного характера из различных разделов теории квантовых вычислений, доказывать утверждения, строить модели объектов и понятий.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 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 | Практические занятия | Лабораторные работы | |
| 1. | Тема 1. Классические алгоритмы: машины Тьюринга, классы P и NP, схемы. Вероятностные алгоритмы. | 8 | | 4 | 4 | 0 | Устный опрос |
| 2. | Тема 2. Основные понятия квантовых алгоритмов. Измеряющие операторы. | 8 | | 4 | 4 | 0 | Устный опрос |
| 3. | Тема 3. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений. | 8 | | 6 | 6 | 0 | Контрольная работа |
| 4. | Тема 4. Квантовое преобразование Фурье и его приложения. | 8 | | 8 | 8 | 0 | Устный опрос |
| 5. | Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска: алгоритм Гровера. | 8 | | 6 | 6 | 0 | Письменное домашнее задание |
| . | Тема . Итоговая форма контроля | 8 | | 0 | 0 | 0 | Зачет |
| | Итого | | | 28 | 28 | 0 | |

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Классические алгоритмы: машины Тьюринга, классы P и NP, схемы.**Вероятностные алгоритмы.****лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Определение машины Тьюринга и недетерминированной машины Тьюринга. Определение классов P и NP. Схемная модель вычислений.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение классических схем для булевых функций. Оценка их сложности.

Тема 2. Основные понятия квантовых алгоритмов. Измеряющие операторы.**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Базовые определения: линейные пространства, бра- и кет- обозначения. Унитарные операторы, тензорное произведение линейных операторов. Постулаты квантовой механики: пространство состояний, кубиты, эволюция системы, квантовые состояния, измерения системы, проективные измерения, POVM-измерения, составные системы.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Представление унитарных операторов в различных базисах. Представление операторов в виде тензорного произведения. Решение задач на проективные и POVM-измерения.

Тема 3. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Квантовые схемы. Операции на одном кубите. Условные операции. Универсальные квантовые элементы. Универсальность двухуровневых унитарных операторов. Универсальность набора из однокубитовых элементов и оператора CNOT. Конечный набор универсальных операций. Трудность аппроксимации общего унитарного оператора в общем случае.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Построение схем с требуемыми свойствами для заданных унитарных операторов.

Тема 4. Квантовое преобразование Фурье и его приложения.**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Квантовое преобразование Фурье. Определение собственного числа: реализация, оценка скорости работы (числа необходимых элементов), вероятность ошибки. Общие приложения квантового преобразования Фурье.

практическое занятие (8 часа(ов)):

Нахождение собственных значений и решение задачи факторизации при помощи квантового алгоритма Фурье.

Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска: алгоритм Гровера.**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Квантовый алгоритм поиска: оракул, процедура. Геометрическая интерпретация. Эффективность алгоритма. Квантовое перечисление. Ускорение решения NP-полных задач. Оптимальность алгоритма поиска. Ограничение алгоритмов в модели черного ящика.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Применение алгоритма Гровера.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

| N | Раздел Дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|---|---------|--------------------|--|---------------------------|---|
| 1. | Тема 1. Классические алгоритмы: машины Тьюринга, классы P и NP, схемы. Вероятностные | | | | | |

алгоритмы.

| | | | |
|---|-----------------------------|----|--------------|
| 8 | подготовка к устному опросу | 10 | Устный опрос |
|---|-----------------------------|----|--------------|

| N | Раздел Дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|---|---------|--------------------|--|---------------------------|---|
| 2. | Тема 2. Основные понятия квантовых алгоритмов. Измеряющие операторы. | 8 | | подготовка к устному опросу | 10 | Устный опрос |
| 3. | Тема 3. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений. | 8 | | подготовка к контрольной работе | 10 | Контрольная работа |
| 4. | Тема 4. Квантовое преобразование Фурье и его приложения. | 8 | | подготовка к устному опросу | 10 | Устный опрос |
| 5. | Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска: алгоритм Гровера. | 8 | | подготовка домашнего задания | 12 | Письменное домашнее задание |
| | Итого | | | | 52 | |

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии ранжированные по формам организации образовательного процесса: чтение лекций; проведение практических занятий; организация самостоятельной работы; организация и проведение консультаций; проведение экзамена; мониторинг результатов образовательной деятельности.

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

Тема 1. Классические алгоритмы: машины Тьюринга, классы P и NP, схемы. Вероятностные алгоритмы.

Устный опрос , примерные вопросы:

1. Построить машину Тьюринга реализующую умножение.
2. Примеры NP-полных задач.
3. Примеры задач разрешимых за полиномиальное время.
4. Примеры экспоненциально сложных задач.
5. Примеры Np-трудных задач.

Тема 2. Основные понятия квантовых алгоритмов. Измеряющие операторы.

Устный опрос , примерные вопросы:

1. Найти оператор который реализует операцию отрицания относительно стандартного базиса.
2. Найти попарные тензорные произведения матриц Паули.
3. Найти значения оператора Уолша-Адамара на векторах стандартного 2-кубитового базиса.
4. Найти собственные числа и собственные вектора операторов Паули.
5. Провести измерения в заданном базисе.

Тема 3. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.

Контрольная работа , примерные вопросы:

1. Найти матрицу унитарного оператора действующего согласно схеме: на первый кубит действует тождественный оператор, на второй кубит действует оператор Адамара. 2. Реализовать элемент Фредкина с помощью квантовой схемы использующей три элемента Тоффоли. 3. Показать, что набор состоящий из элементов Адамара, сдвига фазы, Тоффоли и СНОТ, универсален для квантовых вычислений. 4. Привести пример схемы реализующей обмен 2 кубитов. 5. Возможно ли построить квантовую схему реализующую копирование кубита?

Тема 4. Квантовое преобразование Фурье и его приложения.

Устный опрос , примерные вопросы:

1. Найти матрицу квантового преобразования Фурье для случая 3 кубитов. 2. Построить квантовую схему реализующую обратное преобразование Фурье. 3. Непосредственно показать, что преобразование Фурье унитарно. 4. Показать, что 15 наименьшее число, для которого при разложении на множители по алгоритму Шора требуется нахождение порядка. 5. Разложить число 21 на множители используя алгоритм Шора.

Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска: алгоритм Гровера.

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

1. Свести задачу дискретного логарифма к задаче нахождения порядка. 2. Построить квантовый алгоритм решающий задачу Дойча. 3. Построить квантовый алгоритм решающий задачу Саймона. 4. Построить алгоритм решающий задачу о скрытой подгруппе. 5. Оценить сложность алгоритма Гровера.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

1. Базовые определения: линейные пространства, бра- и кет- обозначения.
- 2 Унитарные операторы, тензорное произведение линейных операторов.
3. Постулаты квантовой механики: пространство состояний, кубиты, эволюция системы, квантовые состояния, измерения системы, составные системы.
4. Квантовые схемы.
5. Операции на одном кубите.
6. Условные операции.
7. Универсальные квантовые элементы.
8. Универсальность двухуровневых унитарных операторов.
9. Универсальность набора из однокубитовых элементов и оператора СНОТ.
10. Конечный набор универсальных операций.
11. Квантовое преобразование Фурье.
12. Определение собственного числа: реализация, оценка скорости работы (числа необходимых элементов), вероятность ошибки.
13. Задача нахождения порядка.
14. Задача Факторизации.
15. Нахождение периода.
16. Дискретный логарифм.
17. Задача о скрытой подгруппе и ее примеры.
18. Алгоритм Гровера.
19. Ускорение NP-полных задач.
20. Квантовый поиск в неструктурированной базе данных.
21. Ограничения квантовых вычислений.

7.1. Основная литература:

1. Перри Р. Элементарное введение в квантовые вычисления: Учебное пособие /Р. Перри Р. - Долгопрудный: Интеллект, 2015. - 208 с. - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=525928> (дата обращения 15.11.2015)
2. Гринштейн Д. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики: Учебное пособие / Д. Гринштейн, А. Зайонц А. - Долгопрудный:Интеллект, 2008. - 400 с. - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=883991> (дата обращения 15.11.2015)
3. Кострикин А.И. Введение в алгебру. Ч. 2: Линейная алгебра : [в 3 ч.] / А. И. Кострикин. - Москва : Издательство МЦНМО, 2012. - 367 с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Игошин В.И. Теория алгоритмов: Учебное пособие / В.И. Игошин. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 318 с. - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=241722> (дата обращения 15.11.2016)
2. Кострикин А.И. Линейная алгебра и геометрия : учеб. пособие для студ.вузов / А. И. Кострикин, Ю. И. Манин . - 3-е изд.,стереотип. - СПб. : ЛАНЬ, 2005 . - 304 с.
3. Нейман И. Математические основы квантовой механики / И. Нейман . - Москва : Наука, 1964 . - 367с.

7.3. Интернет-ресурсы:

Quantum Computing Playground - <http://www.quantumplayground.net/#/home>

Википедия: квантовый компьютер - https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_компьютер

Классические и квантовые вычисления - <http://www.intuit.ru/studies/courses/1057/136/info>

Основы квантовых вычислений - <http://theor.jinr.ru/~diastp/april06/lectures/gerdt/gerdt.pdf>

Современные задачи теоретической информатики - <http://yury.name/modern/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Теория 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.

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 02.03.01 "Математика и компьютерные науки" и профилю подготовки Математическое и компьютерное моделирование .

Автор(ы):

Зубков М.В. _____

"__" 201 __ г.

Рецензент(ы):

Файзрахманов М.Х. _____

"__" 201 __ г.