

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального 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

Введение в квантовые вычисления Б1.В.ДВ.12

Направление подготовки: 01.03.01 - Математика

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Новиков А.А.

Рецензент(ы):

Насыров С.Р.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Насыров С. Р.

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

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

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

Регистрационный No

Казань
2017

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) ассистент, б/с Новиков А.А. Кафедра математического анализа отделение математики , A.Nobukob@gmail.com

1. Цели освоения дисциплины

Программа курса 'Введение в квантовые вычисления' призвана рассказать студентам о базовых концепциях, понятиях и алгоритмах квантовой информатики. Целью курса является овладение студентами фундамента для освоения перспективных технологий, связанных с квантовыми вычислениями и с передачей информации по квантовым каналам.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.В.ДВ.12 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 01.03.01 Математика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Для освоения курса 'Квантовые вычисления' необходимы сведения и навыки из дисциплины Б.10 Алгебра, а именно: вычислительные навыки в арифметических операциях над матрицами и комплексными числами, представление о билинейных и эрмитовых (полуторалинейных) формах, линейно-независимых системах, векторных базисах, унитарных (ортогональных) операторах, скалярном произведении; Б.11 Аналитическая геометрия: графические представления кривых второго порядка; В.ОД.1 Компьютерные технологии: общие навыки программирования; а также из Б.9 Математический анализ: понятие преобразования Фурье. Кроме того, необходимы понятия из Б.12 Дискретная математика и математическая логика: таблицы истинности, нормальные формы логических выражений, машина Тьюринга; В.ОД.7 Теория чисел: кольца вычетов, разложение чисел в цепные дроби.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью к самостоятельной научно-исследовательской работе
ОПК-4 (профессиональные компетенции)	способность находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способность строго доказать утверждение, сформулировать результат, увидеть следствия полученного результата
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способность передавать результаты проведенных физико-математических и прикладных исследований в виде конкретных рекомендаций, выраженных в терминах предметной области изучаемого явления
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при анализе управленческих задач в научно-технической сфере, в экономике, бизнесе и гуманитарных областях знаний

В результате освоения дисциплины студент:

- должен демонстрировать способность и готовность:

Решать поставленные задачи в рамках составления и и верификации квантовых алгоритмов. Находить методы квантовых вычислений, соответствующие его целям.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

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

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 5 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. Кубиты	5	1	2	2	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Логические элементы	5	3	2	2	0	Устный опрос
3.	Тема 3. Квантовые схемы	5	5	2	2	0	Устный опрос Компьютерная программа
4.	Тема 4. Квантовое преобразование Фурье	5	7	2	2	0	Устный опрос Реферат
5.	Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска	5	9	2	2	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Квантовые каналы	5	11	2	2	0	Устный опрос
7.	Тема 7. Квантовый шум и квантовые преобразования	5	13	2	2	0	Устный опрос
8.	Тема 8. Меры различия квантовой информации	5	15	2	2	0	Устный опрос Письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
9.	Тема 9. Энтропия и информация	5	17	2	2	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	Зачет
	Итого			18	18	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Кубиты

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Кубиты. Сфера Блоха. Унитарные преобразования. Принцип квантовой суперпозиции. Запутанные кубиты.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Вращения сферы Блоха. Перенормировка. Разложение запутанных пар в тензорное произведение отдельных состояний. ЭПР-пары.

Тема 2. Логические элементы

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Матрицы Паули, элемент Адамара и CNOT.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Генерация пар Белла. Квантовая телепортация.

Тема 3. Квантовые схемы

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Квантовый параллелизм. Алгоритм Дойча-Йожа.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Универсальные квантовые элементы.

Тема 4. Квантовое преобразование Фурье

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Квантовое преобразование Фурье и его приложения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Нахождение периода, дискретный логарифм, нахождение скрытой подгруппы.

Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Оракул, процедура и эффективность.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Алгоритм Гровера. Геометрическая интерпретация.

Тема 6. Квантовые каналы

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Передача квантовой информации. Физическая реализация.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Классический шум и марковские процессы.

Тема 7. Квантовый шум и квантовые преобразования

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Окружающая среда и квантовые преобразования

практическое занятие (2 часа(ов)):

Представление квантовых преобразований операторной схемой

Тема 8. Меры различия квантовой информации

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Следовая метрика, степень совпадения

практическое занятие (2 часа(ов)):

Нормы Ки Фана, некоммутативное интегрирование

Тема 9. Энтропия и информация

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Шенноновская энтропия, энтропия фон Неймана, граница Холево

практическое занятие (2 часа(ов)):

Передача классической информации по квантовому каналу с шумом

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. Кубиты	5	1	подготовка к устному опросу	1	Устный опрос
2.	Тема 2. Логические элементы	5	3	подготовка к устному опросу	1	Устный опрос
3.	Тема 3. Квантовые схемы	5	5		2	Компьютерная программа
				подготовка к устному опросу	5	Устный опрос
4.	Тема 4. Квантовое преобразование Фурье	5	7	подготовка к реферату	3	Реферат
				подготовка к устному опросу	3	Устный опрос
5.	Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска	5	9	подготовка домашнего задания	3	Письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	3	Устный опрос
6.	Тема 6. Квантовые каналы	5	11	подготовка к устному опросу	1	Устный опрос
7.	Тема 7. Квантовый шум и квантовые преобразования	5	13	подготовка к устному опросу	2	Устный опрос
8.	Тема 8. Меры различия квантовой информации	5	15	подготовка домашнего задания	3	Письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	3	Устный опрос
9.	Тема 9. Энтропия и информация	5	17	подготовка домашнего задания	3	Письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	3	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
	Итого				36	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

При проведении занятий используется симуляция квантовый вычислений на языке программирования Q.

Также решаются кейсы по сочетанию известных квантовых алгоритмов в рамках решения кейса.

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

Тема 1. Кубиты

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое кубит? Как состояние иллюстрируется на сфере Блоха? Совпадают ли состояния $|x\rangle$ и $-|x\rangle$?

Тема 2. Логические элементы

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое матрица Паули? Как матрицы Паули действуют на сферу Блоха? Как с помощью CNOT поменять кубиты местами? Каково основное требование к операциям над квантовыми системами?

Тема 3. Квантовые схемы

Компьютерная программа , примерные вопросы:

На языке Q запишите алгоритм Дойча-Йожа/Квантовой телепортации.

Устный опрос , примерные вопросы:

Можно реализовать циклы на квантовом компьютере? В чем преимущество квантовой схемы над классической?

Тема 4. Квантовое преобразование Фурье

Реферат , примерные вопросы:

Применения квантового преобразования Фурье.

Устный опрос , примерные вопросы:

Как выглядит преобразование Фурье на одном кубите?

Тема 5. Квантовые алгоритмы поиска

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Перечислить известные классические алгоритмы поиска и сравнить вычислительную сложность с алгоритмом Гровера.

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое информационный поиск? Что такое оракул?

Тема 6. Квантовые каналы

Устный опрос , примерные вопросы:

Чем канал отличается от кубита? Что будет, если перехватить сигнал в квантовом канале?

Тема 7. Квантовый шум и квантовые преобразования

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое шум? Какие квантовые преобразования в квантовых каналах Вы знаете?

Тема 8. Меры различия квантовой информации

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Вычислить меры различия между конкретными состояниями квантовой системы.

Устный опрос , примерные вопросы:

Какие меры различия классической информации Вы знаете? Какие меры различия классической информации не могут быть непосредственно перенесены на квантовые состояния?

Тема 9. Энтропия и информация

Письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Вычислить энтропию для конкретной квантовой системы.

Устный опрос , примерные вопросы:

Что такое энтропия. Как соотносятся энтропия Шеннона и энтропия фон Неймана?

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

1. Отнормируйте кубит.
2. Приведите схему квантового преобразования Фурье.
3. Оцените вычислительную сложность алгоритма Гровера.

7.1. Основная литература:

Квантовая теория, Кочелаев, Борис Иванович, 2013г.

Булевы алгебры и квантовые логики, Султанбеков, Фоат Фаритович, 2007г.

7.2. Дополнительная литература:

Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход, Имре, Шандор;Балаж, Ференц;Калачев, А. А.;Самарцев, В. В.;Митрофанова, Т. Г.;Петрушкин, С. В., 2008г.

Введение в квантовые вычисления, Кайе, Филлип;Лафлам, Раймон;Моска, Мишель;Никитина, Т. С.;Анохин, А. В., 2009г.

Квантовая информация и квантовые вычисления, Прескилл, Джон;Нечаева, Т. С.;Епифанов, С. С.;Новокшенов, С. Г., 2008г.

7.3. Интернет-ресурсы:

edX - <https://www.edx.org/course/quantum-mechanics-quantum-computation-uc-berkeleyx-cs-191x>

Quantiki - <https://www.quantiki.org/>

Введение в квантовую теорию информации - <http://www.rqc.ru/pdf/Holevo3.pdf>

Квантовые системы, каналы, информация - http://www.mi.ras.ru/~holevo/qir_cor.pdf

Российский квантовый центр - <http://www.rqc.ru>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Введение в квантовые вычисления" 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.

Требуется проектор.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 01.03.01 "Математика" и профилю подготовки Общий профиль .

Автор(ы):

Новиков А.А. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Насыров С.Р. _____

"__" _____ 201__ г.