

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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

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

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, к.н. 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:

4. 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	Практи- ческие занятия	Лабора- торные 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	Практи- ческие 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		5	Компьютерная программа
				подготовка к устному опросу	2	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

№	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
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
	Итого				36	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

При проведении занятий используется симуляция квантовых 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 сфере 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?

Итоговая форма контроля

зачет (в 5 семестре)

Примерные вопросы к итоговой форме контроля

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

7.1. Основная литература:

1. Душкин Р. В., Квантовые вычисления и функциональное программирование [Электронный ресурс] / Душкин Р. В. - М. : ДМК Пресс, 2015. - 232 с. - ISBN 978-5-97060-275-1 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970602751.html>
2. Перри, Р. Элементарное введение в квантовые вычисления: учебное пособие / Р. Перри. - Долгопрудный : Интеллект, 2018. - 208 с. - ISBN 978-5-91559-249-9. - - Текст: электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/1022486>

7.2. Дополнительная литература:

1. Гринштейн Д. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики: Учебное пособие / Гринштейн Д., Зайонц А. - Долгопрудный:Интеллект, 2008. - 400 с. ISBN 978-5-91559-013-6 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/883991>
2. Ильичев Е. В. Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: Учебник / Е.В. Ильичев, Я.С. Гринберг. - Новосибирск: НГТУ, 2013. - 172 с. ISBN 978-5-7782-2287-8, - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/490017>

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.