

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



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Перспективы квантовых вычислений М2.В.1

Направление подготовки: 010100.68 - Математика

Профиль подготовки: Алгебра

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Зубков М.В.

Рецензент(ы):

Фролов А.Н.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Арсланов М. М.

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 81727814

Казань
2014

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

Главной целью освоения дисциплины (модуля) "Перспективы квантовых вычислений" является обучение студентов основам построения квантовых алгоритмов и перспективам их развития. В процессе обучения требуется дать студентам запас базовых знаний о квантовых алгоритмах и их отличии от классических, обучить рациональному и эффективному использованию полученных знаний при решении типовых задач по квантовым вычислениям; сформировать у студентов представление о квантовых вычислениях как эффективным методом решения широкого круга задач; сформировать знания, умения и навыки использования основных понятий квантовых алгоритмов. Формирование логической и математической культуры студента, фундаментальная подготовка в области приложений линейной алгебре и математической логики.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.В.1 Профессиональный" основной образовательной программы 010100.68 Математика и относится к вариативной части. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Данный курс входит в цикл дисциплин по выбору. Для успешного изучения квантовых вычислений необходимы знания и умения в объеме школьной программы по математике, общие понятия и факты из линейной алгебры, дискретной математики и математической логики.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-3 (общекультурные компетенции)	активная социальная мобильность, способность работать в международной среде
ПК-10 (профессиональные компетенции)	определение общих форм, закономерностей, инструментальных средств для групп дисциплин
ПК-4 (профессиональные компетенции)	самостоятельный анализ физических аспектов в классических постановках математических 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:

Решать задачи теоретического и прикладного характера, доказывать утверждения, строить модели объектов и понятий.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Решать задачи теоретического и прикладного характера, доказывать утверждения, строить модели объектов и понятий.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Решать задачи теоретического и прикладного характера, доказывать утверждения, строить модели объектов и понятий.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 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. Классы P и NP. Вероятностные алгоритмы.	3	1-4	3	4	0	домашнее задание
2.	Тема 2. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.	3	5-8	3	4	0	домашнее задание
3.	Тема 3. Соотношения между квантовым и классическим вычислением. Измеряющие операторы.	3	9-13	3	5	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Быстрые квантовые вычисления. Алгоритм Шора.	3	14-18	3	5	0	контрольная работа 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	
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			12	18	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Классические алгоритмы. Классы P и NP. Вероятностные алгоритмы.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Определение и основные свойства классических алгоритмов. Понятие временной сложности. Определение классов P и NP. Определение вероятностных алгоритмов.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение классических и вероятностных алгоритмов. Оценка их сложности.

Тема 2. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Определение квантовой схемы. Полные и не полные базисы для квантовых схем. Примеры полных базисов. Определение квантового вычисления.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Построение квантовых схем. Изучение свойств схем в различных базисах. Доказательство полноты базисов.

Тема 3. Соотношения между квантовым и классическим вычислением. Измеряющие операторы.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Квантовые вероятности, матрицы плотности, чистые и запутанные состояния, измеряющие операторы - определения и основные свойства.

практическое занятие (5 часа(ов)):

Нахождение матриц плотности, построение измеряющих операторов, вычисление результатов применения измеряющих операторов.

Тема 4. Быстрые квантовые вычисления. Алгоритм Шора.

лекционное занятие (3 часа(ов)):

Примеры быстрых квантовых алгоритмов: алгоритм Гровера, задача о скрытой подгруппе, квантовое преобразование Фурье. Алгоритм Шора.

практическое занятие (5 часа(ов)):

Решение задач на применение квантовых алгоритмов.

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. Классы P и NP. Вероятностные алгоритмы.	3	1-4	подготовка домашнего задания	19	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.	3	5-8	подготовка домашнего задания	19	домашнее задание
3.	Тема 3. Соотношения между квантовым и классическим вычислением. Измеряющие операторы.	3	9-13	подготовка домашнего задания	20	домашнее задание
4.	Тема 4. Быстрые квантовые вычисления. Алгоритм Шора.	3	14-18	подготовка домашнего задания	10	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	10	контрольная работа
Итого					78	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

активные и интерактивные формы: лекции, практические занятия, контрольные работы, зачет.

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

Тема 1. Классические алгоритмы. Классы P и NP. Вероятностные алгоритмы.

домашнее задание , примерные вопросы:

Для данной (булевой) функции $f(x,y,z)=x+y^z$ построить классическую вычислительную схему. Оценить сложность построенной схемы.

Тема 2. Квантовые схемы. Базисы для квантовых схем. Определение квантовых вычислений.

домашнее задание , примерные вопросы:

Проверить универсальность набора из однокубитовых операторов и CNOT. Записать в этом наборе элемент Тоффли. Оценить сложность построенной схемы. Показать универсальность набора из элемента Адамара, сдвига фазы, CNOT и $\pi/8$.

Тема 3. Соотношения между квантовым и классическим вычислением. Измеряющие операторы.

домашнее задание , примерные вопросы:

Пусть ρ оператор плотности. Показать, что $\text{tr}(\rho^2) \leq 1$ и равенство достигается тогда и только тогда когда состояние чистое. Показать, что произвольная матрица плотности для смешанного состояния кубита может быть записана в виде $\rho = \frac{1}{2}(I + r\sigma)$. Чему равно r при $\rho = 1/2$?

Тема 4. Быстрые квантовые вычисления. Алгоритм Шора.

домашнее задание , примерные вопросы:

Разложить число 91 используя квантовый алгоритм Шора. Показать, что число 15 наименьшее число для которого при разложении на множители по алгоритму Шора требуется нахождение порядка.

контрольная работа , примерные вопросы:

Пусть $|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}|00\rangle + \frac{1}{\sqrt{3}}|11\rangle$ и $|\phi\rangle = |11\rangle$. Найти вероятность того, что $|\psi\rangle$ находится в состоянии $|\phi\rangle$.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Приложение 1. Вопросы к зачету.

1. Определение и основные свойства классических алгоритмов.
2. Понятие временной сложности.
3. Определение классов P и NP.
4. Определение вероятностных алгоритмов.
5. Построение классических и вероятностных алгоритмов.
6. Оценка их сложности.
7. Определение квантовой схемы.
8. Полные и не полные базисы для квантовых схем.
9. Примеры полных базисов.
10. Определение квантового вычисления.
11. Построение квантовых схем.
12. Свойства схем в различных базисах.
- 13 . Примеры полных базисов.
14. Квантовые вероятности, матрицы плотности, чистые и запутанные состояния, измеряющие операторы - определения и основные свойства.
15. Матрицы плотности, измеряющие операторы, результатов применения измеряющих операторов.
16. Алгоритм Гровера,
17. Задача о скрытой подгруппе,
18. Квантовое преобразование Фурье.
19. Алгоритм Шора.

7.1. Основная литература:

Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем, Гергель, Виктор Павлович, 2010г.

Эффективные алгоритмы в модели квантовых ветвящихся программ, Васильев, Александр Валерьевич, 2009г.

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

4. Паршаков А.Н. Введение в квантовую физику [Электронный ресурс], 2010 // http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=297

5. Топорков В.В. Модели распределенных вычислений [Электронный ресурс], 2011 // http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2339

7.2. Дополнительная литература:

Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 1, , 2008г.

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

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

Квантовые вычисления и квантовая информация, Нильсен, Майкл А.;Чанг, Исаак Л.;Вялый, М. Н.;Островский, П. М.;Валиев, К. А., 2006г.

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

1. Китаев А. Классические и квантовые вычисления / А. Китаев, А. Шень, М. Вялый. - Москва: МЦНМО: ЧеРо, 1999. - 191 с.: схем.; 22. - (Новые математические дисциплины).- Библиогр.: с.186-188. - Предм. указ.: с.189-191. - ISBN 5-900916-35-9, 1500. - ISBN 985-6595-04-5.

2. Ахо, Альфред. Построение и анализ вычислительных алгоритмов / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман; пер.с англ. А. О. Слисенко; под ред. Ю.В. Матиясевича. - Москва: Мир, 1979. - 536 с.: ил.; 22. - Пер. изд.: The design and analysis of computer algorithms / Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman (London (etc.): Addison-Wesley, 1976). - Библиогр.: с. 502-513 и в конце гл.. - Имен. и предм. указ.: с. 516-535.

3. Пападимитриу Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц; Пер.с англ. В. Б. Алесеева. -Москва: Мир, 1985. -512с.: ил.

4. Прескилл, Джон. Квантовая информация и квантовые вычисления: [в 2 т.] / Дж. Прескилл; пер. с англ. Нечаевой Т. С.; под науч. ред. Епифанова С. С. и Новокшонова С. Г..- Москва; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед.: Регуляр. и хаотич. динамика, 2008. - ; 20. - Загл. и авт. пер.: Lecture notes for physics 229: quantum information and computation / John Preskill.

7.3. Интернет-ресурсы:

Аблаев Ф.М., Васильев А.В. Классические и квантовые ветвящиеся программы - <http://vufind.kpfu.ru/opac/Record/RU05CLSL05CEOR05C170306>

Васюков В.Л. Квантовая логика -

http://www.bibliorossica.com/book.html?currBookId=6580&ln=ru&search_query=%D0%BA%D0%B2%D0%

Ершов Ю.Л., Целищев В.В. Алгоритмы и вычислимость в человеческом познании -

http://www.bibliorossica.com/book.html?currBookId=10202&ln=ru&search_query=%D0%BA%D0%B2%D0%

Кайе, Филлип. Введение в квантовые вычисления -

http://z3950.ksu.ru/bcover/0000688866_con.pdf

Чикрин Д. Е. Теория информации и кодирования: курс лекций -

<http://vufind.kpfu.ru/opac/Record/RU05CLSL05CEOR05C10303>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Перспективы квантовых вычислений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе " БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС " БиблиоРоссика " представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и 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 "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 010100.68 "Математика" и магистерской программе Алгебра .

Автор(ы):

Зубков М.В. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Фролов А.Н. _____

"__" _____ 201__ г.