МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по образовательной деятельности КФУ
Проф. Минзарипов Р.Г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Квантовые компьютеры М1.ДВ.4

Направление подготовки: 011200.68 - Физика
Профиль подготовки: Физика сложных систем
Квалификация выпускника: магистр
Форма обучения: очное
Язык обучения: русский

Автор(ы):

Калачев А.А.

Рецензент(ы):

Гайнутдинов Р.Х.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.
Протокол заседания кафедры No ___ от "____" _____ 201__г
Учебно-методическая комиссия Института физики:
Протокол заседания УМК No ____ от "____" _____ 201__г

Регистрационный No 6109614

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) Калачев А.А. , AAKalachev@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

- ознакомление с основами квантовой теории информации;
- ознакомление с основами квантовых вычислений;
- ознакомление с особенностями различных реализаций квантовых компьютеров.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М1.ДВ.4 Общенаучный" основной образовательной программы 011200.68 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина квантовые компьютеры относится к курсам по выбору общенаучного цикла М1.ДВ4 и является логическим продолжением и синтезом таких дисциплин как квантовая механика, информатика, атомная физика, теория твердого тела и оптика. Программа дисциплины предполагает, что слушатели знакомы, прежде всего, с основами информатики и нерелятивистской квантовой механики. Кроме того, предполагаются знания основ атомной физики, статистической физики, термодинамики, физики твердого тела и оптики.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1	способностью демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой)
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные положения квантовой теории информации, различия между квантовыми и классическим вычислениями, основные модели квантовых компьютеров и подходы к их реализации.

2. должен уметь:

ориентироваться в современных достижениях квантовой информатики

3. должен владеть:

навыками решения простейших задач квантовой теории информации

4. должен демонстрировать способность и готовность:

использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук и навыки работы с информацией из различных источников, а также способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 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. Основные понятия квантовой теории информации.	3	1-2	2	2	0	
2.	Тема 2. Квантовые логические элементы.	3	3-4	2	2	0	
3.	Тема 3. Квантовые операции и измерения.	3	5-6	2	2	0	
4.	Тема 4. Квантовые вычисления.	3	7-10	2	2	0	
5.	Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.	3	11-12	2	2	0	
6.	Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.	3	13-18	4	4	0	
.	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
	Итого			14	14	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Основные понятия квантовой теории информации.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Кубит. Геометрическое представление состояния кубита. Чистые и смешанные состояния кубита. Перепутанное состояние двух кубитов. Разложение Шмидта. Критерий сепарабельности. Меры информации и перепутанности. Энтропия и информация.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с анализом чистоты квантовых состояний, нахождением разложения Шмидта и применением критерия Переса-Городецких.

Тема 2. Квантовые логические элементы.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Однокубитовые и двухкубитовые вентили. Представление произвольного многокубитового вентиля через одно- и двухкубитовые. Универсальные наборы квантовых вентилей.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с разложением многокубитовых вентилей и доказательством эквивалентности различных квантовых схем.

Тема 3. Квантовые операции и измерения.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Эволюция открытой квантовой системы. Динамическое отображение. Представление Крауса. Квантовые каналы. Квантовые измерения. Проекционные и POVM-измерения

практическое занятие (2 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с нахождением представления Крауса.

Тема 4. Квантовые вычисления.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Сетевая модель квантовых вычислений. Вычисление функций. Квантовый параллелизм. Алгоритм Дойча. Алгоритм Гровера. Квантовое преобразование Фурье. Квантовый алгоритм нахождения периода функции. Классы сложности. Квантовая телепортация, однонаправленные квантовые вычисления и кластерные состояния.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с анализом квантовых схем, реализующих простейшие квантовые алгоритмы.

Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Декогерентность. Перепутывание между кубитом и окружением. Пространства, свободные от декогеренции. Теорема о невозможности клонирования. Квантовые коды исправления ошибок. Коды с тремя и семью кубитами. Устойчивое к сбоям вычисление. Пороговая теорема.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с анализом квантовых кодов, исправляющих ошибки.

Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Условия, необходимые для выполнения квантовых вычислений. ЯМР-реализации квантовых вычислений. Квантовые вычисления на ионах в ловушках. Линейные оптические квантовые компьютеры.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Работа с литературой и решение задач, связанных с реализацией квантовых вентилей в различных физических системах.

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. Основные понятия квантовой теории информации.	3	1-2	Работа с литературой и решение задач	6	Отчет
2.	Тема 2. Квантовые логические элементы.	3	3-4	Работа с литературой и решение задач	6	Отчет
3.	Тема 3. Квантовые операции и измерения.	3	5-6	Работа с литературой и решение задач	6	Отчет
4.	Тема 4. Квантовые вычисления.	3	7-10	Работа с литературой и решение задач	8	Отчет
5.	Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.	3	11-12	Работа с литературой и решение задач	6	Отчет
6.	Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.	3	13-18	Работа с литературой и решение задач	12	Отчет
	Итого				44	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, в рамках учебного курса предусмотрена самостоятельная работа, включающая в себя не только решение задач, сформулированных на лекциях, но и изучение некоторых вопросов по литературе, в том числе на английском языке, с последующим выступлением перед аудиторией.

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

Тема 1. Основные понятия квантовой теории информации.

Отчет , примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Вычисление базиса Шмидта. Применение критериев перепутанности для анализа двухкубитовых состояний. Вычисление мер перепутанности. Кутриты, кукварты и т.д. Разложение Шмидта для состояний в непрерывном базисе. Многочастичное перепутывание. (ОК-1, ПК-1, ПК-5, ПК-6)

Тема 2. Квантовые логические элементы.

Отчет , примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Эффективные разложения унитарных преобразований. Наборы универсальных квантовых вентилей. Моделирование условной динамики и вычисление качества квантовых вентилей. (ОК-1, ПК-1, ПК-5, ПК-6)

Тема 3. Квантовые операции и измерения.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КФУ

Отчет, примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Моделирование эволюции открытой системы методом Монте-Карло. Нахождение POVM-операторов для определённых квантовых измерений. (ОК-1, ПК-1, ПК-5, ПК-6)

Тема 4. Квантовые вычисления.

Отчет , примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Анализ квантовых схем. Однонаправленные квантовые вычисления и вычисления, основанные на измерениях. Кластерные состояния. (ОК-1, ПК-1, ПК-5, ПК-6)

Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.

Отчет , примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Помехоустойчивые квантовые вентили. Помехоустойчивые коды, исправляющие ошибки. Помехоустойчивые измерения. Модели ошибок. Методы построения кодов, исправляющих ошибки. (ОК-1, ПК-1, ПК-5, ПК-6)

Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.

Отчет , примерные вопросы:

Примерные темы самостоятельных работ: Материалы, перспективные для использования в качестве квантовых регистров. Анализ основополагающих экспериментов. Последние экспериментальные достижения. (ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-7)

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Контрольные вопросы:

1. Кубит. Геометрическое представление состояния кубита. Чистые и смешанные состояния кубита. Степень чистоты и степень совпадения квантового состояния.
2. Перепутанные, факторизованные и сепарабельные состояния двух кубитов. Разложение Шмидта. Необходимые и достаточные условия сепарабельности. Меры перепутанности
3. Двухкубитовые вентили. Условные преобразования. Представление двухкубитового оператора CU через последовательность четырёх однокубитовых вентилей и двух вентилей CNOT.
4. Теорема об универсальном наборе квантовых вентилей
5. Основные модели квантовых каналов и представление Крауса.
6. Проекционные и POVM-измерения
7. Сетевая модель квантовых вычислений и основные элементы квантового компьютера.
5. Алгоритм Дойча.
6. Алгоритм Гровера.
7. Квантовое преобразование Фурье.
8. Квантовый алгоритм нахождения периода функции.
9. Квантовая телепортация.
10. Однонаправленные квантовые вычисления и кластерные состояния.
11. Декогерентность. Квантовые коды исправления ошибок.
12. Квантовый код, исправляющий амплитудные или фазовые ошибки, с тремя кубитами
13. Девятикубитовый код Шора.
14. Устойчивое к сбоям вычисление. Пороговая теорема.
15. Условия, необходимые для выполнения квантовых вычислений
16. Жидкостный ЯМР-квантовый компьютер.
17. Твердотельный ЯМР-квантовый компьютер.
18. Квантовые вычисления на ионах в ловушках.
19. Линейный оптический квантовый компьютер.

7.1. Основная литература:

1) Щука А.А. Наноэлектроника. - М.:Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 342 c.http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4357

2) Шишкин, Г.Г., Агеев, И.М., Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие. - М.:Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 408 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id= 3147

3) Игнатов А.Н., Микросхемотехника и наноэлектроника. - "Лань", 2011. - 528 с. http://e.lanbook.com/view/book/2035/

7.2. Дополнительная литература:

1) Холево, А. С. Квантовые системы, каналы, информация / А. С. Холево.? М.: МЦНМО, 2010 .? 327 с.

2) Бройер, Х.-П. Теория открытых квантовых систем / Х.-П. Бройер, Ф. Петруччионе ; пер. с англ.: С.А. Нуянзин, Я.А. Герасименко ; под. науч. ред. и с доп. д.ф.-м.н. Ю.И. Богданова.? Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований: Регулярная и хаотическая динамика, 2010 .? 824 с.: ил.

7.3. Интернет-ресурсы:

Preskill J. Quantum computation and information (Caltech, 1998) - http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229

Лекции David Deutsch - http://www.quiprocone.org/Protected/DD_lectures.htm

Лекции Michael Nielsen - https://www.youtube.com/playlist?list=PL1826E60FD05B44E4

Открытый портал по квантовым компьютерам - http://www.quantiki.org/

Статья в Википедии по квантовым компьютерам - http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computer

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовые компьютеры" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Лекционная аудитория со стандартным проекционным оборудованием

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.68 "Физика" и магистерской программе Физика сложных систем .

Автор(ы):
Калачев А.А. _____
"__" _____ 201 __ г.

Рецензент(ы):
Гайнутдинов Р.Х. _____
"__" _____ 201 __ г.