

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. Таюрский Д.А.

20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
**Квантовые компьютеры М1.ДВ.4**

Направление подготовки: 011200.68 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Калачев А.А.

**Рецензент(ы):**

-

**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 68816

Казань  
2016

## **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	способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук
ОК-16 (общекультурные компетенции)	способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности навыки работы с информацией из различных источников
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки

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

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 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		2	2	0	
2.	Тема 2. Квантовые логические элементы.	3		2	2	0	
3.	Тема 3. Квантовые операции и измерения.	3		2	2	0	
4.	Тема 4. Квантовые вычисления.	3		2	2	0	
5.	Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.	3		2	2	0	
6.	Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.	3		3	3	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			13	13	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

**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 вентилях.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Работа с литературой и решение задач

**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

**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

**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

**Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

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

**практическое занятие (3 часа(ов)):**

Работа с литературой и решение задач

**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		Работа с литературой и решение задач	6	Обсуждение решений
2.	Тема 2. Квантовые логические элементы.	3		Работа с литературой и решение задач	6	Обсуждение решений

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
3.	Тема 3. Квантовые операции и измерения.	3		Работа с литературой и решение задач	6	Обсуждение решений
4.	Тема 4. Квантовые вычисления.	3		Работа с литературой и решение задач	8	Обсуждение решений
5.	Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.	3		Работа с литературой и решение задач	6	Обсуждение решений
6.	Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.	3		Работа с литературой и решение задач	14	Обсуждение решений. Сообщения по теме.
	Итого				46	

### 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.

Обсуждение решений , примерные вопросы:

Разбор задач из главы 1 методического пособия

#### Тема 2. Квантовые логические элементы.

Обсуждение решений , примерные вопросы:

Разбор задач из главы 2 методического пособия

#### Тема 3. Квантовые операции и измерения.

Обсуждение решений , примерные вопросы:

Разбор задач из главы 3 методического пособия

#### Тема 4. Квантовые вычисления.

Обсуждение решений , примерные вопросы:

Разбор задач из главы 4 методического пособия

#### Тема 5. Квантовое исправление ошибок. Декогерентность.

Обсуждение решений , примерные вопросы:

Разбор задач из главы 4 методического пособия

#### Тема 6. Реализации квантовых компьютеров.

Обсуждение решений. Сообщения по теме. , примерные вопросы:

Разбор задач, связанных с особенностями реализации квантовых вычислений в различных физических системах. Обсуждение сообщений, подготовленных студентами по данной теме.

#### 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:

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

Введение в квантовые компьютеры, Берман, Геннадий П.;Дулен, Г. Д.;Майньери, Р.;Цифринович, Владимир И., 2004г.

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

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

Квантовые компьютеры, микро- и наноэлектроника (физика, технология, диагностика и моделирование), Белоножко, Д. Ф., 2008г.

Твердотельные квантовые компьютеры на ядерных спинах, Кокин, Александр Александрович, 2004г.

### 7.2. Дополнительная литература:

Квантовый вызов, Гринштейн, Джордж;Зайонц, Артур Г.;Аристов, В. В., 2012г.

Квантовые системы, каналы, информация, Холево, Александр Семенович, 2010г.

Теория открытых квантовых систем, Бройер, Хайнц-Питер;Петруччионе, Франческо, 2010г.



### **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](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](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 Теоретическая и математическая физика .



Автор(ы):

Калачев А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.