

Минобрнауки России  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

**УТВЕРЖДАЮ**



Заведующий кафедрой  
Кургалин Сергей Дмитриевич  
Кафедра цифровых технологий

25.06.2021

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.17 Квантовые компьютеры

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

02.03.01 Математика и компьютерные науки

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Распределенные системы и искусственный интеллект; Квантовая теория информации

**3. Квалификация (степень) выпускника:**

Бакалавриат

**4. Форма обучения:**

Очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

Кафедра цифровых технологий

**6. Составители программы:**

Запрыгаев Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор

**7. Рекомендована:**

протокол НМС ФКН № 5 от 10.03.2021

**8. Учебный год:**

2023-2024

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:**

целью дисциплины является изложение основных физических и математических понятий, принципов и методов, а также достигнутых к настоящему времени результатов, относящиеся к области квантовых вычислений и квантовой информации. Программа курса не предполагает, что слушатели знакомы с понятиями, принципами и законами нерелятивистской квантовой механики. Необходимые вопросы из разделов квантовой физики, теории операторов, теории унитарных преобразований включены в программу данного курса.

Курс ставит своей целью познакомить студентов с новейшим научным направлением, которое сформировалось на стыке квантовой механики и теории информации. Предметом изучения являются основные физические и математические понятия, принципы и методы, а также достигнутые к настоящему времени результаты. Идеи квантовой теории информации показали, что законы квантовой физики открывают совершенно новые возможности в целом ряде актуальных задач обработки информации и в квантовых вычислениях. Получение знаний о наиболее важных идеях и результатах в сфере

квантовых вычислений и квантовой информации – компонент системы высшего IT образования, призванный привлечь внимание студентов к новой области IT науки.

В курсе приводятся необходимые сведения из классической теории информации, включая такие вопросы как энтропия, количество информации, обратимые логические операции, понятие вычислительной сложности. Обсуждаются физические принципы, лежащие в основе квантовой информатики. Вводится понятие кубита. Приводятся примеры физических систем, реализующих кубиты. Формулируются основные квантовые логические операции (гейты), необходимые для манипулирования квантовой информацией вообще и проведения квантовых вычислений, в частности. Подробно обсуждаются однокубитовые и двухкубитовые гейты. Дается представление о квантовых схемах, осуществляющих произвольные унитарные преобразования гильбертова пространства состояний n-кубитового регистра. Рассмотрены квантовые алгоритмы: задача Дойча, алгоритм Гровера, квантовое преобразование Фурье, алгоритм Шора, квантовая телепортация и элементы квантовой криптографии.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

дисциплина относится к вариативной части блока Б1. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основ математического анализа, теории вероятностей, а также наличие базовых навыков программирования.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) и индикаторами их достижения:

| Код и название компетенции  | Код и название индикатора компетенции   | Знания, умения, навыки  |
|---|---|---|
| ПК-1 Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий.  | ПК-1.1 Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий   | Знает основные положения квантовой теории информации.   |
| ПК-3 Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники. | ПК-3.1 Знает основные методы проектирования и производства программного продукта, принципы построения, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программных продуктов и программных комплексов, их сопровождения, администрирования и развития (эволюции) | Знает методы и протоколы квантовой криптографии, основные методы физической реализации элементной базы квантовых компьютеров. |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>ПК-3 Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники.</p> | <p>ПК-3.2 Умеет использовать методы проектирования и производства программного продукта, принципы построения, структуры и приемы работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программного продукта</p> | <p>Умеет описывать состояния кубита с помощью дираковского формализма, отображать состояния кубита на сфере Блоха.</p> |
| <p>ПК-3 Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, промышленности и бизнесе, с учетом возможностей современных информационных технологий и программирования и компьютерной техники.</p> | <p>ПК-3.3 Имеет практический опыт применения указанных выше методов и технологий</p>   | <p>Владеет навыками анализа основных квантовых алгоритмов.</p>   |
| <p>ПК-1 Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий.</p>  | <p>ПК-1.2 Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научноисследовательской деятельности в математике и информатике</p>  | <p>Умеет использовать понятия квантовых гейтов для проектирования квантовых информационных систем.</p>                 |
| <p>ПК-1 Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий.</p>  | <p>ПК-1.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в математике и информатике</p>   | <p>Владеет правилами составления квантовых логических цепей и навыками их изображения.</p>                             |

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час:

4/144

## Форма промежуточной аттестации:

Экзамен

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

| Вид учебной работы       | Семестр 5 | Всего |
|--------------------------|-----------|-------|
| Аудиторные занятия       | 68        | 68    |
| Лекционные занятия       | 34        | 34    |
| Практические занятия     | 34        | 34    |
| Лабораторные занятия     | 0         | 0     |
| Самостоятельная работа   | 40        | 40    |
| Курсовая работа          | 0         | 0     |
| Промежуточная аттестация | 0         | 0     |
| Часы на контроль         | 36        | 36    |
| Всего                    | 144       | 144   |

#### 13.1. Содержание дисциплины

| п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины  | Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК  |
|-----|---------------------------------|--|---|
| 1   | Введение. Сложность алгоритма   | Алгоритм. Классы сложности.  | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 2   | Теория чисел                    | Арифметика в классе вычетов.<br>Теорема Ферма.<br>Функции Эйлера.<br>Китайская теорема об остатках. Дискретный логарифм. | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |

|   |                              |  |   |
|---|------------------------------|--|---|
| 3 | Постулаты квантовой механики | <p>Постулат состояния.<br/>         Принцип суперпозиции.<br/>         Постулат соответствия оператор – физическая величина. Постулат об изменении. Эволюция квантовых состояний.<br/>         Представление квантовых состояний и операторов.</p> | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 4 | Кубит                        | <p>Сфера Блоха.<br/>         Трансформационные свойства.</p>   | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 5 | Спин электрона               | <p>Матрицы Паули.<br/>         Свойства матриц Паули. Спиновый резонанс для свободного электрона.<br/>         Спин-флип.</p>  | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 6 | Матрица плотности            | <p>Матрица плотности.<br/>         Эволюция оператора плотности. Вектор поляризации.<br/>         Спиновая матрица плотности.<br/>         Разложение Шмидта.</p>  | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 7 | Общие принципы вычислений    | <p>Основные понятия алгебры логики.<br/>         Классические универсальные машины и логические гейты. Обратимые логические гейты.</p>   | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |

|    |                        |  |   |
|----|------------------------|--|---|
| 8  | Квантовые вычисления   | Логические однокубитовые гейты. Контролируемые квантовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояние Белла. Квантовый параллелизм. | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 9  | Квантовые алгоритмы    | Алгоритм Дойча. Алгоритм ДойчаДжосса. Квантовое Фурьепреобразование. Алгоритм оценки фазы. Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера.                | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 10 | Квантовая криптография | Протоколы квантовой криптографии.  | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |
| 11 | Квантовая телепортация | Спутанные состояния. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Состояние Белла. Схема квантовой телепортации.                                 | <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976</a> |

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование темы (раздела)   | Лекционные занятия | Практические занятия | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа | Всего |
|-------|-------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------|
| 1     | Введение. Сложность алгоритма | 2                  | 2                    |                      | 2                      | 6     |
| 2     | Теория чисел                  | 2                  | 2                    |                      | 2                      | 6     |

|    |                              |    |    |   |    |     |
|----|------------------------------|----|----|---|----|-----|
| 3  | Постулаты квантовой механики | 2  | 2  |   | 2  | 6   |
| 4  | Кубит                        | 2  | 2  |   | 2  | 6   |
| 5  | Спин электрона               | 2  | 2  |   | 2  | 6   |
| 6  | Матрица плотности            | 4  | 4  |   | 2  | 10  |
| 7  | Общие принципы вычислений    | 4  | 4  |   | 4  | 12  |
| 8  | Квантовые вычисления         | 6  | 6  |   | 6  | 18  |
| 9  | Квантовые алгоритмы          | 4  | 4  |   | 6  | 14  |
| 10 | Квантовая криптография       | 4  | 4  |   | 6  | 14  |
| 11 | Квантовая телепортация       | 2  | 2  |   | 6  | 10  |
|    |                              | 34 | 34 | 0 | 40 | 108 |

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины складывается из аудиторной работы (учебной деятельности, выполняемой под руководством преподавателя) и внеаудиторной работы (учебной деятельности, реализуемой обучающимся самостоятельно).

Аудиторная работа состоит из работы на лекциях и выполнения практических (или лабораторных) заданий в объёме, предусмотренном учебным планом. Лекция представляет собой последовательное и систематическое изложение учебного материала, направленное на знакомство обучающихся с основными понятиями и теоретическими положениями изучаемой дисциплины. Лекционные занятия формируют базу для практических (или лабораторных) занятий, на которых полученные теоретические знания применяются для решения конкретных практических задач. Обучающимся для успешного освоения дисциплины рекомендуется вести конспект лекций и практических (лабораторных) занятий.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также конспектов лекций, презентационным материалом (при наличии) и конспектов практических (лабораторных) занятий. В качестве плана для самостоятельной работы может быть использован раздел 13.1 настоящей рабочей программы, в котором зафиксированы разделы дисциплины и их содержание. В разделе 13.2 рабочей программы определяется количество часов, отводимое на самостоятельную работу по каждому разделу дисциплины. Большее количество часов на самостоятельную работу отводится на наиболее трудные разделы дисциплины. Для самостоятельного изучения отдельных разделов дисциплины используется перечень литературы и других ресурсов, перечисленных в пунктах 15 и 16 настоящей рабочей программы.

Успешность освоения дисциплины определяется систематичностью и глубиной аудиторной и внеаудиторной работы обучающегося.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

| №<br>п/п | Источник  |
|----------|---|
| 1        | <p><b>Моргунов, Р. Б.</b> Физические основы квантовых вычислений : учебное пособие / Р.Б. Моргунов, О.В. Коплак, О.С. Дмитриев ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» .— Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2017 .— 98 с. : ил. — Библиогр.: с. 95. — <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> .— ISBN 978-5-8265-1690-4 .— &lt;URL:<a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=498897">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=498897</a>&gt;.</p> |



б) дополнительная литература:

| № п/п | Источник   |
|-------|--|
| 1     | <b>Шень, А. Х.</b> Классические и квантовые вычисления : курс / А.Х. Шень, М.Н. Вялый .— Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий, 2007 .— 236 с. — <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> .— <URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=234673">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=234673</a> >.   |
| 2     | <b>Душкин, Р. В.</b> Квантовые вычисления и функциональное программирование [Электронный ресурс] / Душкин Р. В. — Москва : ДМК Пресс, 2015 .— 232 с. — Книга из коллекции ДМК Пресс - Информатика .— ISBN 978-5-97060-275-1 .— <URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/97340">https://e.lanbook.com/book/97340</a> >.  |
| 3     | <b>Гузик, В.Ф.</b> Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов : монография / Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Ляпунцова Е.В., Потапов В.С. — Москва : ЮФУ, 2019 .— 287 с. — Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов [Электронный ресурс] : монография / В.Ф. Гузик, С.М. Гушанский, Е.В. Ляпунцова, В.С. Потапов. - Ростов н/Д : ЮФУ, 2019. — ISBN 5-9275-3232-2 .— <URL: <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927532322.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927532322.html</a> >. |

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

| № п/п | Источник   |
|-------|--|
| 1     | ЗНБ ВГУ: <a href="https://lib.vsu.ru/">https://lib.vsu.ru/</a>   |
| 2     | Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| 3     | Электронно-библиотечная система "Лань": <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>                            |
| 4     | Электронно-библиотечная система "Консультант студента": <a href="http://www.studmedlib.ru">http://www.studmedlib.ru</a>        |
| 5     | Электронный университет ВГУ: <a href="https://edu.vsu.ru/">https://edu.vsu.ru/</a>   |

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

| №<br>п/п | Источник  |
|----------|---|
| 1        | <b>Гузик, В.Ф.</b> Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов : монография / Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Ляпунцова Е.В., Потапов В.С. — Москва : ЮФУ, 2019 .— 287 с. — Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов [Электронный ресурс] : монография / В.Ф. Гузик, С.М. Гушанский, Е.В. Ляпунцова, В.С. Потапов. - Ростов н/Д : ЮФУ, 2019. — ISBN 5-9275-3232-2 .—<br><URL: <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927532322.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927532322.html</a> >. |

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 477

Учебная аудитория: специализированная мебель, ноутбук HP Pavilion Dv9000-er, мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 479

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя i5-8400-2,8ГГц, монитор с ЖК 19», мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 505п

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя i5-3220-3.3ГГц, монитор с ЖК 17", мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 292

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя PentiumG3420-3,2ГГц, монитор с ЖК 17", мультимедийный проектор, экран. Система для видеоконференций Logitech ConferenceCam

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 297

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя i3-3240-3,4ГГц, монитор с ЖК 17", мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 380

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя i3-3240-3,4ГГц, монитор с ЖК 17", мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 305п

Учебная аудитория: специализированная мебель, ноутбук HP Pavilion Dv9000-er, мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 307п

Учебная аудитория: специализированная мебель, ноутбук HP Pavilion Dv9000-er, мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

Компьютерный класс: специализированная мебель, персональные компьютеры на базе i32120-3,3ГГц, мониторы ЖК 17" (15 шт.), мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

Компьютерный класс: специализированная мебель, персональные компьютеры на базе i3-9100-3,6ГГц, мониторы ЖК 19" (30 шт.), мультимедийный проектор, экран

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

| № п/п | Разделы дисциплины (модули) | Код компетенции | Код индикатора | Оценочные средства для текущей аттестации |
|-------|-----------------------------|-----------------|----------------|---|
| 1     | Разделы 1-11                | ПК-1            | ПК-1.1         | Письменный опрос                          |
| 2     | Разделы 1-11                | ПК-3            | ПК-3.1         | Письменный опрос                          |
| 3     | Разделы 1-11                | ПК-3            | ПК-3.2         | Письменный опрос                          |
| 4     | Разделы 1-11                | ПК-3            | ПК-3.3         | Письменный опрос                          |
| 5     | Разделы 1-11                | ПК-1            | ПК-1.2         | Письменный опрос                          |
| 6     | Разделы 1-11                | ПК-1            | ПК-1.3         | Письменный опрос                          |

Промежуточная аттестация

Форма контроля - Экзамен

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Перечень вопросов к экзамену

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Перечень вопросов для проведения письменного опроса

#### Раздел 1. Введение. Сложность алгоритма

1. Алгоритм.
2. Классы сложности.

#### Раздел 2. Теория чисел

1. Арифметика в классе вычетов.
2. Теорема Ферма. Функции Эйлера.

3. Китайская теорема об остатках.
4. Дискретный логарифм.

### **Раздел 3. Постулаты квантовой механики**

1. Постулат состояния.
2. Принцип суперпозиции.
3. Постулат соответствия оператор – физическая величина.
4. Постулат об изменении.
5. Эволюция квантовых состояний.
6. Представление квантовых состояний и операторов.

### **Раздел 4. Кубит**

1. Сфера Блоха.
2. Трансформационные свойства.

### **Раздел 5. Спин электрона**

1. Матрицы Паули.
2. Свойства матриц Паули.
3. Спиновый резонанс для свободного электрона.
4. Спин-флип.

### **Раздел 6. Матрица плотности**

1. Матрица плотности.
2. Эволюция оператора плотности.
3. Вектор поляризации.
4. Спиновая матрица плотности.
5. Разложение Шмидта.

### **Раздел 7. Общие принципы вычислений**

1. Основные понятия алгебры логики.
2. Классические универсальные машины и логические гейты.
3. Обратимые логические гейты.

### **Раздел 8. Квантовые вычисления**

1. Логические однокубитовые гейты.
2. Контролируемые квантовые гейты.
3. Невозможность клонирования кубита.
4. Состояние Белла.
5. Квантовый параллелизм.

## **Раздел 9. Квантовые алгоритмы**

1. Алгоритм Дойча.
2. Алгоритм Дойча-Джосса.
3. Квантовое Фурье-преобразование.
4. Алгоритм оценки фазы.
5. Алгоритм Шора.
6. Алгоритм Гровера.

## **Раздел 10. Квантовая криптография**

1. Протоколы квантовой криптографии

## **Раздел 11. Квантовая телепортация**

1. Спутанные состояния.
2. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.
3. Состояние Белла.
4. Схема квантовой телепортации.

## **20.2 Промежуточная аттестация**

### **Перечень вопросов к экзамену**

1. Алгоритм.
2. Классы сложности.
3. Арифметика в классе вычетов.
4. Теорема Ферма. Функции Эйлера.
5. Китайская теорема об остатках.
6. Дискретный логарифм.
7. Постулат состояния.
8. Принцип суперпозиции.
9. Постулат соответствия оператор – физическая величина.
10. Постулат об изменении.
11. Эволюция квантовых состояний.
12. Представление квантовых состояний и операторов.
13. Сфера Блоха.
14. Трансформационные свойства.
15. Матрицы Паули.
16. Свойства матриц Паули.
17. Спиновый резонанс для свободного электрона.
18. Спин-флип.
19. Матрица плотности.
20. Эволюция оператора плотности.
21. Вектор поляризации.
22. Спиновая матрица плотности.
23. Разложение Шмидта.
24. Основные понятия алгебры логики.
25. Классические универсальные машины и логические гейты.
26. Обратимые логические гейты.
27. Логические однокубитовые гейты.
28. Контролируемые квантовые гейты.

29. Невозможность клонирования кубита.
30. Состояние Белла.
31. Квантовый параллелизм.
32. Алгоритм Дойча.
33. Алгоритм Дойча-Джосса.
34. Квантовое Фурье-преобразование.
35. Алгоритм оценки фазы.
36. Алгоритм Шора.
37. Алгоритм Гровера.
38. Протоколы квантовой криптографии
39. Спутанные состояния.
40. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.
41. Состояние Белла.
42. Схема квантовой телепортации.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

| Критерии оценивания компетенций   | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок               |
|---|--------------------------------------|----------------------------|
| <p>Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся демонстрирует высокий уровень владения материалом, ориентируется в предметной области, верно отвечает на все дополнительные вопросы.</p>   | <p>Повышенный уровень</p>            | <p>Отлично</p>             |
| <p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному или двум из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Допускаются ошибки при воспроизведении части теоретических положений.</p>   | <p>Базовый уровень</p>               | <p>Хорошо</p>              |
| <p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трём из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Сформированные знания основных понятий, определений и теорем, изучаемых в курсе, не всегда полное их понимание с затруднениями при воспроизведении.</p> | <p>Пороговый уровень</p>             | <p>Удовлетворительно</p>   |
| <p>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым четырём из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные знания (либо их отсутствие) основных понятий, определений и теорем, используемых в курсе.</p>   | <p>–</p>                             | <p>Неудовлетворительно</p> |