Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования

«Белорусско-Российский университет»

|  |
| --- |
| УТВЕРЖДАЮ |
| Первый проректор Белорусско-Российского университета |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю.В. Машин |
| «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г. |
| Регистрационный № УД-\_\_\_\_\_\_\_\_\_/р |

**КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ**

(наименование дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Направление подготовки** 01.03.04 Прикладная математика

**Направленность (профиль)** Разработка программного обеспечения

**Квалификация** Бакалавр

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Форма обучения** |
| **Очная** |
| Курс | 4 |
| Семестр | 7 |
| Лекции, часы | 30 |
| Лабораторные занятия, часы | 30 |
| Зачёт, семестр | 7 |
| Контактная работа по учебным занятиям, часы | 60 |
| Самостоятельная работа, часы | 48 |
| Всего часов / зачетных единиц | 108/3 |

Кафедра-разработчик программы: «Высшая математика»

Составитель: И.У. Примак, кандидат физ.-мат. наук, доцент

(И.О. Фамилия, ученая степень, ученое звание)

Могилев, 2021

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 01.03.04 Прикладная математика № 11 от 10.01.2018 г., учебным планом рег. № 010304-2 от 26.03.2021 г..

Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Высшая математика»

27.05.2021 г., протокол № 9.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.Г. Замураев

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом

Белорусско-Российского университета

«16» июня 2021 г., протокол № 7.

Зам. председателя

Научно-методического совета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.А. Сухоцкий

Рецензент:

Инна Викторовна Ивашкевич, доцент кафедры общей физики учреждения образования «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова», кандидат физико-математических наук

(И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание рецензента)

Рабочая программа согласована:

Ведущий библиотекарь \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Начальник учебно-методического

отдела \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Кемова

**1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**1.1 Цель учебной дисциплины**

Целью учебной дисциплины является обеспечение студентов базовыми знаниями в области квантовых вычислений и алгоритмов, а также в приобретении навыков использования предлагаемого математического аппарата для решения практических задач.

**1.2 Планируемые результаты изучения дисциплины**

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

**знать**:

-основные законы квантовых вычислений, определения различных квантовых моделей вычислений (машин Тьюринга, автоматов, схем из функциональных элементов);

**уметь**:

-ориентироваться в области квантовых вычислений, и в том, где и каким образом применяются знания из этой области, в рассмотренных алгоритмах квантовых вычислений, демонстрирующих эффективность квантовых вычислителей по сравнению с классическими;

-объяснять с математической точки зрения такие явления квантовой механики, как телепортация, запутанность состояний, квантовая передача кода, квантовый параллелизм, и т.д.

**владеть**:

- основными понятиями квантовых вычислений, приемами и методами построения эффективных квантовых моделей

**1.3 Место учебной дисциплины в системе подготовки студента**

Дисциплина относится к Блоку 1 "Дисциплины (модули)" ( Часть Блока 1, формируемая участниками образовательных отношений). Элективные дисциплины.

Перечень учебных дисциплин, изучаемых ранее, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

-линейная алгебра;

- математический анализ;

-аналитическая геометрия;

-теория вероятностей и случайные процессы;

-математическая статистика;

-теория функций комплексной переменной;

- физика;

-теория функций и функциональный анализ.

Перечень учебных дисциплин, которые будут опираться на данную дисциплину:

- искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети.

Кроме того, знания, полученные при изучении дисциплины на лекционных и практических занятиях, будут использоваться при прохождении проектно-технологической практики, а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

**1.4 Требования к освоению учебной дисциплины**

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

|  |  |
| --- | --- |
| Коды формируемых компетенций | Наименования формируемых компетенций |
| ПК-1 | Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем |

**2 Структура и содержание дисциплины**

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщенных результатов обучения происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

**2.1 Содержание учебной дисциплины**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер тем | Наименование тем | Содержание | Коды формируемых компетен-ций |
| 1 | Введение. | История возникновения квантовых вычислений. Современное состояние в данной области. Возможные физические основы построения квантового компьютера. Сферы применения квантовых вычислений. | ПК-1 |
| 2 | Основные  понятия квантовых  вычислений. | Понятие квантового бита. Основные свойства. Квантовый регистр. Пространство состояний регистра квантовых битов в сравнении с пространством состояний регистра классических битов. Различие декартового и тензорного произведения. Квантовый параллелизм. | ПК-1 |
| 3 | Основные постулаты квантовой механики | Основные постулаты квантовой механики. Основные математические понятия, используемые в теории квантовых вычислений. Квантовая система. Состояние квантовой системы. Эволюция квантовой системы. Квантовое измерение. Теорема неклонирования. | ПК-1 |
| 4 | Определение запутанных квантовых состояний, примеры. EPR- парадокс. | Два различных определения запутанных квантовых состояний, примеры. EPR- парадокс. Использование эффекта entaglement в квантовых вычислениях. | ПК-1 |
| 5 | Квантовая криптография | Квантовая криптография. Описание протокола, основанного на использовании квантового канала для передачи секретного ключа в криптографии. | ПК-1 |
| 6 | Квантовые гейты. | Квантовые гейты. Их сравнение с классическими гейтами. Определение основных одно- и двухкубитных гейтов. Универсальные квантовые гейты. | ПК-1 |
| 7 | Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы. | Массивы квантовых гейтов. Определение квантовой схемы. Отличия квантовых и классических схем. Квантовый параллелизм. | ПК-1 |
| 8 | Плотное квантовое кодирование. Телепортация. | Алгоритмы, существенным образом использующие запутанные состояния. Плотное квантовое кодирование. Телепортация. | ПК-1 |
| 9 | Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани. | Первые квантовые алгоритмы, демонстрирующие превосходство квантовых вычислений перед классическими. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани. | ПК-1 |
| 10 | Алгоритм Саймона | Алгоритм Саймона нахождения периода периодической функции по модулю 2. Сравнение с классическим алгоритмом. | ПК-1 |
| 11 | Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных. | Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных. Сравнительная сложность решения задачи поиска квантовым и классическим алгоритмом. Анализ алгоритма. | ПК-1 |
| 12 | Квантовое преобразование Фурье | Квантовое преобразование Фурье. Сравнение квантового и классического преобразования Фурье. Сложность квантового преобразования Фурье. | ПК-1 |
| 13 | Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора. | Задача факторизации числа. Применение задачи факторизации числа. Классический алгоритм. Сложность задачи факторизации в классическом случае. Квантовый алгоритм Шора. Анализ квантового алгоритма факторизации. | ПК-1 |
| 14 | Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок. | Особенности квантовых вычислений. Понятие устойчивости квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок. | ПК-1 |
| 15 | Квантовые и классические классы сложности. | Квантовые и классические классы сложности. Их соотношение. Гипотезы. | ПК-1 |

**2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № недели | Лекции  (наименование тем) | Часы | Лабораторные занятия | Часы | Самостоятельная работа, часы | Форма контроля знаний | Баллы (max) |
|  | | | | | |  | |
| 1 | 1.Введение. | 2 | Лаб. р. 1 Введение. | 2 |  | ЗЛР | 5 |
| 2 | 2.Основные понятия квантовых вычислений. | 2 | Лаб. р. 2 Основные понятия квантовых вычислений. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 3 | 3.Основные постулаты квантовой механики | 2 | Лаб. р. 3 Основные постулаты квантовой механики | 2 |  | ЗЛР | 5 |
| 4 | 4.Определение запутанных квантовых состояний, примеры. EPR- парадокс. | 2 | Лаб. р. 4 Определение запутанных квантовых состояний. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 5 | 5.Квантовая криптография | 2 | Лаб. р. 5 Квантовая криптография. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 6 | 6.Квантовые гейты. | 2 | Лаб. р. 6 Квантовые гейты. | 2 | 2 |  |  |
| 7 | 7.Массивы квантовых гейтов. Квантовые схемы. | 2 | ЛаЛаб. р. 6 Квантовые гейты. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 8 | 8.Плотное квантовое кодирование. Телепортация. | 2 | Лаб. р. 7 Плотное квантовое кодирование. | 2 | 2 | ПКУ | 30 |
|  | | | | | | |  |
| 9 | 9. Простейшие квантовые алгоритмы: алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Джозса, алгоритм Бернштейна-Вазирани. | 2 | Лаб. р. 8 Простейшие квантовые алгоритмы. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 10 | 10. Алгоритм Саймона | 2 | Лаб. р. 9 Алгоритм Саймона. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 11 | 11. Алгоритм Гровера поиска в неупорядоченной базе данных. | 2 | Лаб. р. 10 Алгоритм Гровера. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 12 | 12. Квантовое преобразование Фурье | 2 | Лаб. р. 11 Квантовое преобразование Фурье. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 13 | 13. Задача факторизации числа. Классический алгоритм. Квантовый алгоритм Шора. | 2 | Лаб. р. 12 Задача факторизации числа. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 14 | 14.Устойчивость квантовых вычислений. Квантовое исправление ошибок. | 2 | Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений. | 2 | 2 | ЗЛР | 5 |
| 15 | 15.Квантовые и классические классы сложности. | 2 | Лаб. р. 13 Устойчивость квантовых вычислений. | 2 | 24 | ПКУ ПА  (зачет) | 30  40 |
|  | Итого | 30 |  | 30 | 48 |  | 100 |

Принятые обозначения:

*Текущий контроль* –

ЗЛР – защита лабораторной работы;

ПКУ – промежуточный контроль успеваемости.

*ПА - Промежуточная аттестация.*

Итоговая оценка определяется как сумма текущего контроля и промежуточной аттестации и соответствует баллам:

Зачет

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Оценка | Зачтено | Не зачтено |
| Баллы | 51-100 | 0-50 |

**3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При изучении дисциплины используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов. Применение форм и методов проведения занятий при изучении различных тем курса представлено в таблице.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Форма проведения занятия***\** | **Вид аудиторных занятий** | | **Всего часов** |
| **Лекции** | **Лабораторные занятия** |
| 1 | Традиционные | 1-15 | 1-13 | 60 |
|  | **ИТОГО** | 30 | 30 | 60 |

**4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА**

Используемые оценочные средства по учебной дисциплине представлены в таблице и хранятся на кафедре.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Вид оценочных средств** | **Количество комплектов** |
| 1 | Вопросы к зачёту | 1 |
| 2 | Билеты к зачёту | 1 |
| 3 | Вопросы к лабораторным работам | 1 |

**5 Методика и критерии оценки компетенций студентов**

**5.1 Уровни сформированности компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Уровни сформированности компетенции** | **Содержательное описание уровня***\** | **Результаты обучения** |
| *Компетенция* ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем | | | |
| *Код и наименование индикатора достижения компетенции*  ПК-1.15 Способен применять знание теории квантовых вычислений при проведении научно-исследовательских разработок (квантовые вычисления) | | | |
| 1 | Пороговый уровень | Знать и понимать основные определения и теоремы курса; знать и понимать актуальные проблемы квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в рамках учебной программы; уметь изложить основные теоретические проблемы; уметь найти необходимую информацию; уметь репродуцировать имеющуюся информацию; быть готовым к воспроизведению полученных знаний. | Умение применять знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в типичных задачах. |
| 2 | Продвинутый уровень | Уметь анализировать и синтезировать полученную информацию; знать и понимать междисциплинарные основы квантового моделирования; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь использовать изученную терминологию в устной беседе. | Умение использовать знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в задачах, которые не являются типичными, но знакомы студентам или выходят за рамки известного лишь в небольшой степени. |
| 3 | Высокий уровень | Знать и понимать актуальные проблемы квантовых вычислений, выходящие за рамки учебной программы; уметь применять различные методы и технологии для решения задач; уметь представлять, объяснять, анализировать и интерпретировать полученные результаты; уметь вести научную дискуссию; уметь устанавливать междисциплинарные связи; уметь систематизировать полученную информацию. | Умение использовать знание квантовых вычислений и квантовых алгоритмов в задачах, которые требуют определенной интуиции, размышлений и творчества. |

**5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов**

|  |  |
| --- | --- |
| Результаты обучения | Оценочные средства |
| *Компетенция ПК-1* Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем | |
| Пороговый уровень | Вопросы к зачёту  Билеты к зачёту  Вопросы к лабораторным работам |
| Продвинутый уровень | Вопросы к зачёту  Билеты к зачёту  Вопросы к лабораторным работам |
| Высокий уровень | Вопросы к зачёту  Билеты к зачёту  Вопросы к лабораторным работам |

**5.3 Критерии оценки лабораторных работ**

Защита лабораторной работы позволяет студенту получить максимум 5 баллов. Оценка лабораторной работы преподавателем определяется на основе ответов на вопросы и решения задач студентом. При этом студент получает:

1 балл в случае правильных ответов на 20% вопросов и задач;

2 балла в случае правильных ответов на 40% вопросов и задач;

3 балла в случае правильных ответов на 60% вопросов и задач;

4 балла в случае правильных ответов на 80% вопросов и задач;

5 баллов в случае правильных ответов на 100% вопросов и задач.

**5.6 Критерии оценки зачета**

На зачёте за ответ на 2 теоретических вопроса и решение 2 задач (на 1 теоретический вопрос и решение 3 задач) возможно максимально набрать 40 баллов.. В рамках этого, критерий оценки ответа на теоретический вопрос или решения задачи:

**0–1** балл – полное отсутствие знаний по теоретическому вопросу; отсутствие навыков решения задачи;

**2–3** балла – фрагментарное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы или фрагментарное умение решать задачу, незнание используемой в вопросе терминологии, грубые ошибки в рассуждениях или в решении задачи;

**4–5** баллов – неполное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы, используемой в вопросе терминологии, или неполное умение решать задачи, допущено более одной ошибки;

**6–8** баллов – знание теоретического вопроса в объеме учебной программы при наличии незначительных ошибок в используемых формулах, формулировках и определениях, которые сам студент исправляет в процессе ответа; уверенное самостоятельное решение задачи при наличии незначительных арифметических ошибок;

**9–10** баллов – уверенное знание теоретического вопроса в объеме учебной программы и уверенное знание используемой в вопросе терминологии; уверенное самостоятельное решение задачи и уверенное знание используемой в задаче терминологии.

Итоговая оценка зачета представляет собой сумму баллов текущего контроля и промежуточной аттестации и выставляется преподавателем в соответствии с приведенной в подразделе 2.2 шкалой

**6 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Самостоятельная работа студентов (СРС) направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала, развитие практических умений. СРС включает следующие виды самостоятельной работы студентов:

конспектирование;

решение задач и упражнений по образцу;

работа с лекционными материалами, включая основную и дополнительную литературу, которые представлены в пунктах 7.1 и 7.2;

работа с материалами курса, вынесенными на самостоятельное изучение;

работа со справочной литературой;

подготовка к лабораторным работам;

подготовка к зачету.

Для СРС рекомендуется использовать источники, приведенные в п. 7.

Перечень методических указаний приведен в п. 7.4.1 и они хранятся в кабинете математики (к. 405). Кроме того, их электронные варианты представлены в университетской сети Интернет по адресу: есо.bru.by.

По адресу cdo.bru.by (учебные материалы), находится разработанный на кафедре электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК), который включает:

- курс лекций;

- методические рекомендации для лабораторных работ;

-вопросы к лабораторным работам;

- вопросы к зачету,

- образцы билетов к зачету;

- список литературы.

**7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**7.1 Основная литература**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Библиографическое описание | Гриф | Количество экземпляров |
| 1 | Перри, Р. Элементарное введение в квантовые вычисления : учебное пособие / Р. Перри. - 2-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2018. - 208 с. - ISBN 978-5-91559-249-9. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1022486 | \_ | Znanium.com |
| 2 | Сысоев, С. С. Введение в квантовые вычисления : квантовые алгоритмы : учебное пособие / С. С. Сысоев. - СПб : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2019. - 144 с. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1080947 | \_ | Znanium.com |

**7.2 Дополнительная литература**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Библиографическое описание | Гриф | Количество экземпляров |
| 1 | Квантовая информатика и квантовые биты на основе сверхпроводниковых джозефсоновских структур: Учебник / Е.В. Ильичев, Я.С. Гринберг. - Новосибирск: НГТУ, 2013. - 172 с. http://znanium.com/catalog/product/490017 | \_ | Znanium.com |
| 2 | Душкин, Р.В. Квантовые вычисления и функциональное программирование / Р.В. Душкин. - Москва : ДМК Пресс, 2015. - 232 с. URL: http://znanium.com/catalog/product/1028109 | \_ | Znanium.com |

**7.3 Перечень ресурсов сети Интернет по изучаемой дисциплине**

Eco.bru.by, cdo.bru.by, exponenta.ru, википедия, intuit.ru, openedu.ru, :qc-sim.appspot.com

**7.4 Перечень наглядных и других пособий, методических рекомендаций по проведению учебных занятий, а также методических материалов к используемым в образовательном процессе техническим средствам**

**7.4.1 Методические рекомендации**

1. Примак И.У. Квантовые вычисления. Методические рекомендации (электронный вариант) к лабораторным работам для студентов 01.03.04 ‹‹Прикладная математика››. Могилев, Белорусско-Российский университет.

**7.4.3 Перечень программного обеспечения, используемого в образовательном процессе**

Open Office (в свободном доступе)

**8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение дисциплины содержится в паспорте лаборатории ‹‹405›› рег. номер ПУЛ-4.535-405/1-20

**КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ**

(наименование дисциплины)

**АННОТАЦИЯ**

**К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Направление подготовки** 01.03.04 Прикладная математика

**Направленность (профиль)** Разработка программного обеспечения

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Форма обучения** |
| **Очная** |
| Курс | 4 |
| Семестр | 7 |
| Лекции, часы | 30 |
| Лабораторные занятия, часы | 30 |
| Зачёт, семестр | 7 |
| Контактная работа по учебным занятиям, часы | 60 |
| Самостоятельная работа, часы | 48 |
| Всего часов / зачетных единиц | 108/3 |

1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является обеспечение студентов базовыми знаниями в области квантовых вычислений и алгоритмов, а также в приобретении навыков использования предлагаемого математического аппарата для решения практических задач.

2. Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

**знать**:

-основные законы квантовых вычислений, определения различных квантовых моделей вычислений (машин Тьюринга, автоматов, схем из функциональных элементов);

**уметь**:

-ориентироваться в области квантовых вычислений, и в том, где и каким образом применяются знания из этой области, в рассмотренных алгоритмах квантовых вычислений, демонстрирующих эффективность квантовых вычислителей по сравнению с классическими;

-объяснять с математической точки зрения такие явления квантовой механики, как телепортация, запутанность состояний, квантовая передача кода, квантовый параллелизм, и т.д.

**владеть**:

- основными понятиями квантовых вычислений, приемами и методами построения эффективных квантовых моделей

3. Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские разработки при исследовании самостоятельных тем.

4. Образовательные технологии: традиционные.