

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
цифровых технологий



/ Кургалин С.Д.

22.04.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.07 КВАНТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

02.04.01 Математика и компьютерные науки

2. Профиль подготовки/специализация:

компьютерное моделирование и искусственный интеллект;

компьютерные науки и информационные технологии для цифровой экономики

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: цифровых технологий

6. Составители программы:

Запрягаев Сергей Александрович, д.ф.-м.н., профессор

7. Рекомендована: НМС ФКН (протокол № 5 от 05.03.2024)

8. Учебный год: 2024-2025 **Семестры:** 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование знаний и компетенций в области фундаментальных принципов квантовой модели вычислений;
- формирование теоретической базы для использования современных квантовых информационных систем;
- развитие навыков использования квантовых информационных систем в различных областях деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

- подготовка профессионалов в сфере квантовых вычислений и квантовой криптографии;
- освоение обучающимися современных языков программирования квантовых компьютеров и формирование навыков практической работы с квантовыми информационными системами.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части учебного плана (блок Б1).

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы прикладной и компьютерной математики	ОПК-1.1	Обладает фундаментальными знаниями и практическим опытом в формулировке и решении актуальных и значимых проблем прикладной и компьютерной математики	Знает основные понятия квантовых вычислений и владеет навыками работы в различных средах программирования
		ОПК-1.2	Умеет использовать их в профессиональной деятельности	Умеет формулировать прикладную задачу в формализме квантовых алгоритмов и квантовых схем
		ОПК-1.3	Имеет навыки решения актуальных и значимых проблем прикладной и компьютерной математики	Владеет базовыми навыками работы в различных средах программирования
ОПК-2	Способен создавать и исследовать новые математические модели в естественных науках, совершенствовать и	ОПК-2.1	Владеет навыками создания и исследования новых математических моделей в естественных науках	Умеет проанализировать постановку задачи в области квантовых информационных систем, проанализировать пути достижения цели работы
		ОПК-2.2	Умеет использовать их в профессиональной деятельности	Умеет формулировать прикладную задачу в терминах модели кубита, квантовых схем

	разрабатывать концепции, теории и методы	ОПК-2.3	Имеет практический опыт создания и исследования подобных математических моделей и разработки теорий и методов для их описания	Владеет навыками работы с модулем Qiskit
--	--	---------	---	--

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3/108.

Форма промежуточной аттестации 2 семестр – экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		2 сем.
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:	лекции	16
	практические	16
	лабораторные	
Самостоятельная работа	40	40
Зачёт с оценкой		
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Постулаты квантовой теории	Введение. Аксиоматическая квантовая теория. Постулаты квантовой теории. Принцип суперпозиции квантовых состояний. Оператор – физическая величина, Постулат об измерении. Среднее значение физической величины. Теория представления квантовых состояний и операторов. Трансформационные свойства квантовых состояний. Уравнение эволюции в координатном представлении. Оператор момента импульса. Оператор углового момента	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
1.2	Формализм квантовой теории	Уравнение Шредингера. Атом водорода. Спектроскопические обозначения при описании состояний атома водорода. Теория квантовых переходов. Вероятность перехода. Золотое правило Ферми. Квантовая теория в координатном представлении. Проблемы квантовой теории Шредингера. Спин. Уравнение Паули. Прецессия спина в однородном магнитном поле. Спиновый резонанс. Многоэлектронные атомы. Молекулы. Кубит. Матрица плотности. Квантовая модель вычислений. Регистр. Одно и многокубитовые операторы.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976

1.3	Модели квантовых вычислений	Квантовый регистр. Способы представления: бинарный, десятичный, матричный. Многокубитовые квантовые гейты. Оператор Уолша-Адамара. Произвольный случай преобразования многокубитовых регистров. Неклонируемость кубита. Состояния Белла. Запутанные состояния. Квантовый параллелизм. Преобразование многокубитовых регистров. Программа преобразования регистра. Декогеренция. Вычисление функций и квантовый параллелизм. Вычислительная сложность. Квантовые алгоритмы. Квантовый IBM компьютер.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
1.4	Квантовые алгоритмы	Алгоритмы типа Дойча-Джозса. IBM квантовый компьютер. Квантовые алгоритмы. Алгоритм Саймона. Квантовое Фурье преобразование. Оценка фазы. Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
1.5	Коррекция ошибок и физическая реализация элементов квантовых информационных систем	Коррекция ошибок в квантовых каналах связи. Многоэлектронные атомы. Атомные термы. спектры многоэлектронных атомов. Молекулы. Ядра атомов. Физическая реализация кубит. Ионная ловушка. Ядерный магнитный резонанс. Кубиты на сверхпроводниках	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
1.6	Запутанные состояния	Квантовый регистр. Способы представления: бинарный, десятичный, матричный. Многокубитовые квантовые гейты. Оператор Уолша-Адамара. Произвольный случай преобразования многокубитовых регистров. Неклонируемость кубита. Запутанные состояния. Декогеренция. Преобразование многокубитовых регистров.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
1.7	Реализация квантовых алгоритмов на квантовых информационных системах	Декогеренция. Вычисление функций и квантовый параллелизм. Квантовые алгоритмы. Алгоритм Дойча. Квантовый компьютер IBM. Платформа IBM Quantum Experience. Quantum Composer. Отладочный комплект Qiskit. Языки программирования квантовых компьютеров. Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit. RSA шифрование. Взлом RSA шифрования. Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2. Практические занятия			
2.1	Квантовый компьютер	Квантовый компьютер IBM	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2.2	Платформы для квантовых вычислений	IBM Quantum Experience. Quantum Composer	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2.3	Языки квантового	Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit	https://edu.vsu.ru

	программирования		u/course/view.php?id=3976
2.4	Практические реализации	Алгоритмы факторизации чисел	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2.5	Методы шифрования	RSA шифрование. Цифровая подпись. Компроментация шифрования. Абсолютно защищенные каналы связи.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2.6	Практическая работа	Выполнение заданий на IBM Q	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976
2.7	Языки квантового программирования	Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3976

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Постулаты квантовой теории	2	0		4	6
2	Формализм квантовой теории	2	0		4	6
3	Модели квантовых вычислений	2	2		4	8
4	Квантовые алгоритмы	2	4		8	14
5	Коррекция ошибок и физическая реализация элементов квантовых информационных систем	2	4		6	12
6	Запутанные состояния	2	2		4	8
7	Реализация квантовых алгоритмов на квантовых информационных системах	4	4		10	18
	Итого:	16	16		40	72

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 объеме, 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. Больше 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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Савельев, И. В. Основы теоретической физики. В 2 томах. Том 2. Квантовая механика / И. В. Савельев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 432 с. — ISBN 978-5-507-47138-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/330521
2	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/412214

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Запрягаев, С. А. Введение в квантовые информационные системы : учебное пособие / С. А. Запрягаев ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. — 218 с.
2	Масленников, В. В. Введение в квантовые вычисления : учебное пособие / В. В. Масленников. — Москва : РТУ МИРЭА, 2024. — ISBN 978-5-7339-2254-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/432662

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1	ЗНБ ВГУ: https://lib.vsu.ru/
2	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": http://biblioclub.ru/
3	Электронно-библиотечная система "Лань": https://e.lanbook.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Запрягаев, С. А. Введение в квантовые информационные системы : учебное пособие / С. А. Запрягаев ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. — 218 с.

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:

Аудитория для лекционных занятий: мультимедиа-проектор, экран для проектора, компьютер с выходом в сеть «Интернет». Специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

Аудитория для практических занятий: специализированная мебель, доска.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1-7	ПК-1 ПК-3	ПК-1.1, ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-3.1, ПК-3.2 ПК-3.3	Письменный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Перечень вопросов к экзамену

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

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: письменный опрос.

Перечень вопросов для письменного опроса

1. Классические логические гейты.
2. Обратимые логические гейты.
3. Коррекция ошибок в классических каналах связи.
4. Классические системы шифрования
5. Кубит. Одно и многокубитовые гейты.
6. Квантовый регистр.
7. Преобразование многокубитовых регистров.
8. Невозможность клонирования кубита.
9. Запутанные состояния.
10. Декогеренция.
11. Вычисление функций и квантовый параллелизм.

12. Алгоритм Дойча.
13. Алгоритм Дойча-Йожи.
14. Алгоритм Саймона.
15. Алгоритм оценки фазы.
16. Возврат фазы в регистр данных.
17. Алгоритм Шора.
18. Алгоритм Гровера.
19. Квантовое преобразование Фурье.
20. Квантовая цепь алгоритма преобразования Фурье.
21. Квантовая телепортация.
22. Сверхплотное кодирование.
23. Коррекция ошибок в квантовых каналах связи.
24. Протоколы квантового распределения ключа.
25. Атаки на протоколы квантового распределения ключа.
26. Ионная ловушка. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники.
27. Квантовый компьютер IBM
28. IBM Quantum Experience. Quantum Composer
29. Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit
30. Алгоритмы факторизации чисел
31. RSA шифрование. Цифровая подпись.
32. Компроментация шифрования.
33. Абсолютно защищенные каналы связи.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: перечень вопросов к зачёту.

Перечень вопросов к экзамену

1. Классические логические гейты.
2. Обратимые логические гейты.
3. Коррекция ошибок в классических каналах связи.
4. Классические системы шифрования
5. Кубит. Одно и многокубитовые гейты.
6. Квантовый регистр.
7. Преобразование многокубитовых регистров.
8. Невозможность клонирования кубита.
9. Запутанные состояния.
10. Декогеренция.
11. Вычисление функций и квантовый параллелизм.
12. Алгоритм Дойча.
13. Алгоритм Дойча-Йожи.
14. Алгоритм Саймона.
15. Алгоритм оценки фазы.
16. Возврат фазы в регистр данных.
17. Алгоритм Шора.

18. Алгоритм Гровера.
19. Квантовое преобразование Фурье.
20. Квантовая цепь алгоритма преобразования Фурье.
21. Квантовая телепортация.
22. Сверхплотное кодирование.
23. Коррекция ошибок в квантовых каналах связи.
24. Протоколы квантового распределения ключа.
25. Атаки на протоколы квантового распределения ключа.
26. Ионная ловушка. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники.
27. Квантовый компьютер IBM
28. IBM Quantum Experience. Quantum Composer
29. Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit
30. Алгоритмы факторизации чисел
31. RSA шифрование. Цифровая подпись.
32. Компроментация шифрования.
33. Абсолютно защищенные каналы связи.

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

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Дан полный, развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Изложение материала не содержит ошибок, отличается последовательностью, грамотностью, логической стройностью.	Повышенный уровень	Отлично
Дан развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Материал изложен в целом последовательно и грамотно, отсутствуют грубые ошибки, однако имеются отдельные неточности в определениях, вычислениях, доказательствах, изложениях положений теории.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ на поставленный вопрос (вопросы) содержит изложение только базового теоретического материала, имеются ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Нарушена логическая последовательность в изложении материала.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на поставленный вопрос (вопросы) отсутствует, либо содержит грубые ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Обучающийся не владеет основными понятиями дисциплины. Отсутствует логическая последовательность в изложении материала.	–	Неудовлетворительно