

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
цифровых технологий



Кургалин С. Д.

28.02.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
Б1.О.07 Квантовые информационные системы

- 1. Код и наименование направления подготовки:**  
02.04.01 Математика и компьютерные науки
- 2. Профиль подготовки:**  
Компьютерное моделирование и искусственный интеллект
- 3. Квалификация выпускника:**  
магистр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
кафедра цифровых технологий
- 6. Составители программы:**  
Запрягаев Сергей Александрович, д.ф.-м.н., проф.
- 7. Рекомендована:**  
НМС ФКН (протокол № 3 от 25.02.2022)
- 8. Учебный год:** 2022-2023                      **Семестр:** 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.

## 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)	
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	ОПК-2.1	Владеет навыками создания и исследования новых математических	Умеет проанализировать постановку задачи в области квантовых информационных систем, проанализировать пути достижения цели работы

математические модели в естественных науках, совершенствовать и разрабатывать концепции, теории и методы		моделей в естественных науках	
	ОПК-2.2	Умеет использовать их в профессиональной деятельности	Умеет формулировать прикладную задачу в терминах модели кубита, квантовых схем
	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 — 2/108.**

**Форма промежуточной аттестации: экзамен**

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		2 семестр
Аудиторные занятия	32	32
в том числе:	лекции	16
	практические	16
	лабораторные	0
Самостоятельная работа	40	40
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации (экзамен)	36	36
Итого:	108	108

#### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
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	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
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	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a> <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>

		натном 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.	<a href="http://hp?id=22779">hp?id=22779</a>
1.3	Модели квантовых вычислений	Квантовый регистр. Способы представления: бинарный, десятичный, матричный. Многокубитовые квантовые гейты. Оператор Уолша-Адамара. Произвольный случай преобразования многокубитовых регистров. Неклонированность 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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
1.4	Квантовые алгоритмы	Алгоритмы типа Дойча-Джозса. IBM квантовый компьютер. Квантовые алгоритмы. Алгоритм Саймона. Квантовое Фурье преобразование. Оценка фазы. Алгоритм Шора. Алгоритм Гровера.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
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	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
1.6	Запутанные состояния	Квантовый регистр. Способы представления: бинарный, десятичный, матричный. Многокубитовые квантовые гейты. Оператор Уолша-Адамара. Произвольный случай преобразования многокубитовых регистров. Неклонированность кубита. Запутанные состояния. Декогеренция. Преобразование многокубитовых регистров.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
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.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>

<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Квантовый компьютер	Квантовый компьютер IBM	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.2	Платформы для квантовых вычислений	IBM Quantum Experience. Quantum Composer	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.3	Языки квантового программирования	Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.4	Практические реализации	Алгоритмы факторизации чисел	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.5	Методы шифрования	RSA шифрование. Цифровая подпись. Компromентация шифрования. Абсолютно защищенные каналы связи.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.6	Практическая работа	Выполнение заданий на IBM Q	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>
2.7	Языки квантового программирования	Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=22779</a>

### 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	2	4
2	Формализм квантовой теории	2	0	2	4
3	Модели квантовых вычислений	2	0	2	4
4	Квантовые алгоритмы	2	0	2	4
5	Коррекция ошибок и физическая реализация элементов квантовых информационных	2	0	2	4
6	Запутанные состояния	2	0	4	6
7	Реализация квантовых алгоритмов на квантовых информационных системах	4	0	6	10
8	Квантовый компьютер	0	2	2	4
9	Платформы для квантовых вычислений	0	2	2	4
10	Языки квантового программирования	0	2	2	4

11	Практические реализации	0	2	2	4
12	Методы шифрования	0	2	2	4
13	Практическая работа	0	2	4	6
14	Языки квантового программирования	0	4	6	10
	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 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 занятий, на которых полученные теоретические знания применяются для решения конкретных практических задач. Обучающимся для успешного освоения дисциплины рекомендуется вести конспект лекций и практических занятий.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также конспектов лекций, конспектов практических 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. Обязательным элементом самостоятельной работы является выполнение домашнего задания.

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

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

В рамках дисциплины предусмотрено проведение трёх текущих аттестаций за семестр. Результаты текущей успеваемости учитываются при выставлении оценки по промежуточной аттестации в соответствии с положением П ВГУ 2.1.04.16–2019 «Положение о текущей и промежуточной аттестации знаний, умений и навыков обучающихся на факультете компьютерных наук Воронежского государственного университета с использованием балльно-рейтинговой системы».

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей и в соответствии с индивидуальной программой реабилитации. Для лиц с нарушением слуха при необходимости допускается

присутствие на лекциях и практических занятиях ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки на зачете может быть увеличено. Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). На лекциях и практических занятиях при необходимости допускается присутствие ассистента. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам. При необходимости время подготовки на экзамене может быть увеличено. Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата при необходимости допускается присутствие ассистента на лекциях и практических занятиях. Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура экзамена может быть реализована дистанционно.

## 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. Т. 2: Квантовая механика : учебник. Т. 2 / Савельев И. В. — 5-е изд., стер. — 2018 .— 432 с. — <URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/104957">https://e.lanbook.com/book/104957</a> >
2	
3	
4	
5	

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	Нильсен, М. Квантовые вычисления и квантовая информация / М. Нильсен, И. Чанг ; пер. с англ. под ред. М.Н. Вялого и П.М. Островского с предисловием К.А. Валиева .— М. : Мир, 2006 .— 822 с.
3	Стин, Э. Квантовые вычисления / Э. Стин. — Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. — 112 с.
4	Кайе, Ф. Введение в квантовые вычисления / Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска ; пер. с англ. Т.С. Никитиной ; под науч. ред. А.В. Анохина .— М. ; Ижевск ; Институт компьютерных исследований : Регулярная и хаотическая динамика, 2009 .— 346 с.
5	Савельев, И. В. Курс физики. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц : учебное пособие. Т. 3 / Савельев И. В. — 7-е изд., стер. — 2019. — 308 с. — <URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/117716">https://e.lanbook.com/book/117716</a> >

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

№ п/п	Ресурс
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

№ 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	Нильсен, М. Квантовые вычисления и квантовая информация / М. Нильсен, И. Чанг ; пер. с англ. под ред. М.Н. Вялого и П.М. Островского с предисловием К.А. Валиева .— М. : Мир, 2006 .— 822 с.
3	Савельев, И. В. Основы теоретической физики. Т. 2: Квантовая механика : учебник. Т. 2 / Савельев И. В. — 5-е изд., стер. — 2018 .— 432 с. — <URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/104957">https://e.lanbook.com/book/104957</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](http://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 (столы ученические, стулья, доска).

Аудитория для лабораторных занятий: компьютеры с выходом в сеть «Интернет» и доступом к электронным библиотечным системам, специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

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, дистрибутив Anaconda/Python, MATLAB "Total Academic Headcount – 25", Foxit PDF Reader

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

Учебная аудитория: специализированная мебель, компьютер преподавателя Pentium-G3420-3,2ГГц, монитор с ЖК 17", мультимедийный проектор, экран. Система для видеоконференций Logitech ConferenceCam Group и ноутбук 15.6" FHD Lenovo V155-15API

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

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 301п

Компьютерный класс: специализированная мебель, персональные компьютеры на базе i3-2120-3,3ГГц, 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

394018, г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, ауд. 316п

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	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Постулаты квантовой теории	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
2	Формализм квантовой теории	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
3	Модели квантовых вычислений	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
4	Квантовые алгоритмы	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
5	Коррекция ошибок и физическая реализация элементов квантовых информационных систем	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
6	Запутанные состояния	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
7	Реализация квантовых алгоритмов на квантовых информационных системах	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
8	Квантовый компьютер	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
9	Платформы для квантовых вычислений	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
10	Языки квантового программирования	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-	Письменный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
			2.2, ОПК-2.3	
11	Практические реализации	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
12	Методы шифрования	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
13	Практическая работа	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
14	Языки квантового программирования	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3	Письменный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				

## 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...

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Перечень вопросов

- Классические логические гейты.
- Обратимые логические гейты.
- Коррекция ошибок в классических каналах связи.
- Классические системы шифрования
- Кубит. Одно и многокубитовые гейты.
- Квантовый регистр.
- Преобразование многокубитовых регистров.
- Невозможность клонирования кубита.
- Запутанные состояния.
- Декогеренция.
- Вычисление функций и квантовый параллелизм.
- Алгоритм Дойча.
- Алгоритм Дойча-Йожи.
- Алгоритм Саймона.
- Алгоритм оценки фазы.

Возврат фазы в регистр данных.  
 Алгоритм Шора.  
 Алгоритм Гровера.  
 Квантовое преобразование Фурье.  
 Квантовая цепь алгоритма преобразования Фурье.  
 Квантовая телепортация.  
 Сверхплотное кодирование.  
 Коррекция ошибок в квантовых каналах связи.  
 Протоколы квантового распределения ключа.  
 Атаки на протоколы квантового распределения ключа.  
 Ионная ловушка. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники.  
 Квантовый компьютер IBM  
 IBM Quantum Experience. Quantum Composer  
 Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit  
 Алгоритмы факторизации чисел  
 RSA шифрование. Цифровая подпись.  
 Компроментация шифрования.  
 Абсолютно защищенные каналы связи.

### Коммутаторы - 3

Соотнесите оператор физической величины с его определением			МАТ
<b>Балл по умолчанию:</b>			1
<b>Перемешать:</b>			Да
<b>Показать количество правильных ответов после окончания:</b>			Да
<b>Штраф за каждую неправильную попытку:</b>			0
<b>ID-номер:</b>			
#	Вопрос	Ответ	
1.	$x$	оператор координаты	
2.	$(-\imath\hbar\frac{\partial}{\partial x})$	проекция импульса	
3.	$(-\frac{\hbar^2}{2m})(\frac{d^2}{dx^2}+\frac{d^2}{dy^2}+\frac{d^2}{dz^2})$	оператор кинетической энергии	
4.	$(-\imath\hbar\frac{\partial}{\partial\phi})$	проекция момента импульса	
5.	$(\nabla^2_{\theta,\phi})$	квадрат момента импульса	

Соотнесите оператор физической величины с его определением		МАТ
Балл по умолчанию:		1
Перемешать:		Да
Показать количество правильных ответов после окончания:		Да
Штраф за каждую неправильную попытку:		0
ID-номер:		
#	Вопрос	Ответ
	Общий отзыв к вопросу:	
	Для любого правильного ответа:	Ваш ответ верный.
	Для любого неправильного ответа:	Ваш ответ неправильный.
	Для любого частично правильного ответа:	Ваш ответ частично правильный.
	Подсказка 1:	
	Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):	Нет
	Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):	Нет
	Теги:	
<p><i>Вы должны указать по меньшей мере два вопроса и три ответа. Вы можете включить дополнительные неправильные ответы, создав ответ на пустой вопрос. Записи, где и вопрос и ответ пустые, будут игнорироваться</i></p>		

### Оператор Гамильтона

Соотнесите вид оператора Гамильтона с соответствующей квантовой системой		МАТ
Балл по умолчанию:		1
Перемешать:		Да
Показать количество правильных ответов после окончания:		Да
Штраф за каждую неправильную попытку:		0
ID-номер:		
#	Вопрос	Ответ
1.	$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\right), (x \in \mathbb{R})$	свободная частица
2.	$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\right),$ если $(0 < x < a)$ ; и 0, если $(x < 0, x > a)$	частица в яме с бесконечно высокими стенками
3.	$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + \frac{e^2}{r}\right)$	атом водорода
4.	$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}\right)$	линейный гармонический осциллятор

Соотнесите вид оператора Гамильтона с соответствующей квантовой системой			МАТ
Балл по умолчанию:			1
Перемешать:			Да
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Вопрос	Ответ	
	Общий отзыв к вопросу:		
	Для любого правильного ответа:	Ваш ответ верный.	
	Для любого неправильного ответа:	Ваш ответ неправильный.	
	Для любого частично правильного ответа:	Ваш ответ частично правильный.	
	Подсказка 1:		
	Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):	Нет	
	Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):	Нет	
	Теги:		
<p><i>Вы должны указать по меньшей мере два вопроса и три ответа. Вы можете включить дополнительные неправильные ответы, создав ответ на пустой вопрос. Записи, где и вопрос и ответ пустые, будут игнорироваться</i></p>			

### Атом водорода

Электрон в атоме водорода находится в состоянии с определённой энергией. В этом состоянии так же определённым является значение...			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка

Электрон в атоме водорода находится в состоянии с определённой энергией. В этом состоянии так же определённым является значение...			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка
A.	момента импульса		0
B.	квадрата момента импульса		33.3
C.	импульса		0
D.	координаты		0
E.	проекции момента импульса $(L_z)$		33.3
F.	проекции спина		33.3
G.	скорости		0
Общий отзыв к вопросу:			
Для любого правильного ответа:		Ваш ответ верный.	
Для любого неправильного ответа:		Ваш ответ неправильный.	
Для любого частично правильного ответа:		Ваш ответ частично правильный.	
Подсказка 1:			
Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):		Нет	
Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):		Нет	
Теги:			
Позволяет выбирать один или несколько правильных ответов из заданного списка. (MC/MA)			

#### Атом водорода - 4

Энергетический спектр связанных состояний электрона в атоме водорода			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка

Энергетический спектр связанных состояний электрона в атоме водорода			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка
A.	вырожден		25
B.	невырожден		0
C.	дискретный		25
D.	непрерывный		0
E.	эквидистантный		0
F.	находится в области отрицательных значений		25
G.	находится в области положительных значений		0
H.	сгущается с ростом главного квантового числа		25
Общий отзыв к вопросу:			
Для любого правильного ответа:		Ваш ответ верный.	
Для любого неправильного ответа:		Ваш ответ неправильный.	
Для любого частично правильного ответа:		Ваш ответ частично правильный.	
Подсказка 1:			
Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):		Нет	
Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):		Нет	
Теги:			
Позволяет выбирать один или несколько правильных ответов из заданного списка. (MC/MA)			

## Волновая функция - 2

Свойства волновой функции			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка



Свойства волновой функции			МА
Балл по умолчанию:			1
Случайный порядок ответов:			Да
Нумеровать варианты ответов?			0
Показать количество правильных ответов после окончания:			Да
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка
A.	однозначность		33.3
B.	конечность		33.3
C.	многозначность		0
D.	эрмитовость		0
E.	сопряжённость		0
F.	непрерывность		33.3
Общий отзыв к вопросу:			
Для любого правильного ответа:		Ваш ответ верный.	
Для любого неправильного ответа:		Ваш ответ неправильный.	
Для любого частично правильного ответа:		Ваш ответ частично правильный.	
Подсказка 1:			
Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):		Нет	
Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):		Нет	
Теги:			
Позволяет выбирать один или несколько правильных ответов из заданного списка. (MC/MA)			

## Нормировка - 2

Пусть система находится в состоянии, описываемом волновой функцией $\langle \Psi   = \langle C   0 \rangle + 0,5   1 \rangle + 0,5   2 \rangle + 0,5   3 \rangle$ . Определите C.			NUM
Балл по умолчанию:			1
Штраф за каждую неправильную попытку:			0
ID-номер:			
#	Ответы	Отзыв	Оценка
A.	0.5		100
Общий отзыв к вопросу:			
Подсказка 1:			
Показать количество правильных ответов (Подсказка 1):		Нет	
Удалить некорректные ответы (Подсказка 1):		Нет	
Теги:			
Импортирование этого типа вопроса не поддерживается.			

## Основное состояние

Дайте определение понятию "основное состояние квантовой системы"		ES
Балл по умолчанию:		1
Формат ответа:		Обычный текст
Требовать текст:		Да
Размер поля:		15
Разрешить вложения:		0
Требуемое число вложений:		0
Разрешенные типы файлов:		
ID-номер:		
	<b>Шаблон ответа</b>	<b>Информация для оценивающих</b>
	<b>Общий отзыв к вопросу:</b>	
	<b>Теги:</b>	
<i>Допускает в ответе загрузить файл и/или ввести текст. Ответ должен быть оценен преподавателем вручную.</i>		

Критерии оценивания	Баллы
Имеется верная последовательность всех этапов решения, обоснованно получен верный ответ.	3
Получен неверный ответ из-за вычислительной ошибки, при этом имеется верная последовательность всех этапов решения.	2
Получен верный ответ, однако имеются пропуски одного или двух этапов решения ИЛИ Решение не завершено, однако верно выполнен хотя бы один из этапов решения.	1
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше.	0

### 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к экзамену

#### Перечень вопросов

- Классические логические гейты.
- Обратимые логические гейты.
- Коррекция ошибок в классических каналах связи.
- Классические системы шифрования
- Кубит. Одно и многокубитовые гейты.

Квантовый регистр.  
 Преобразование многокубитовых регистров.  
 Невозможность клонирования кубита.  
 Запутанные состояния.  
 Декогеренция.  
 Вычисление функций и квантовый параллелизм.  
 Алгоритм Дойча.  
 Алгоритм Дойча-Йожи.  
 Алгоритм Саймона.  
 Алгоритм оценки фазы.  
 Возврат фазы в регистр данных.  
 Алгоритм Шора.  
 Алгоритм Гровера.  
 Квантовое преобразование Фурье.  
 Квантовая цепь алгоритма преобразования Фурье.  
 Квантовая телепортация.  
 Сверхплотное кодирование.  
 Коррекция ошибок в квантовых каналах связи.  
 Протоколы квантового распределения ключа.  
 Атаки на протоколы квантового распределения ключа.  
 Ионная ловушка. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники.  
 Квантовый компьютер IBM  
 IBM Quantum Experience. Quantum Composer  
 Язык Open QASM. Отладочный комплект Qiskit  
 Алгоритмы факторизации чисел  
 RSA шифрование. Цифровая подпись.  
 Компроментация шифрования.  
 Абсолютно защищенные каналы связи.

#### Перечень вопросов к экзамену

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

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Обучающийся демонстрирует высокий уровень владения материалом, ориентируется в предметной области, верно отвечает на все дополнительные вопросы.	Повышенный уровень	Отлично
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.	Базовый уровень	Хорошо
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.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не	–	Неудовлетворительно

соответствует любым четырём из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные знания (либо их отсутствие) основных понятий, определений и теорем, используемых в курсе.		
---	--	--