

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Кургалин Сергей Дмитриевич

Кафедра цифровых технологий

28.02.2022



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.24 Квантовая теория

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

10.03.01 Информационная безопасность

2. Профиль подготовки/специализация:

Безопасность компьютерных систем

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавриат

4. Форма обучения:

Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра цифровых технологий

6. Составители программы:

Запрягаев Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор

7. Рекомендована: протокол НМС ФКН №3 от 25.02.2022

8. Учебный год:

2024-2025

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью курса является ознакомление обучающихся с основными понятиями квантовой теории и ее математическим аппаратом.

Задачи учебной дисциплины: формирование умения использовать понятия и аппарат теории для исследования квантовых информационных систем, а также для решения простейших задач квантовой теории информации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к базовой части блока Б1. При изложении курса используются сведения из таких дисциплин, как “Алгебра и геометрия”, “Математический анализ”, “Механика и оптика”.

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
ОПК-4 Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности;	ОПК-4.5 знает основополагающие принципы квантовой физики;	основные законы квантовой теории
ОПК-4 Способен применять необходимые физические законы и модели для решения задач профессиональной деятельности;	ОПК-4.6 умеет решать базовые прикладные физические задачи;	умеет решать базовые прикладные задачи с использованием методов квантовой теории

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час:

3/108

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Семестр 6	Всего
Аудиторные занятия	44	44
Лекционные занятия	30	30
Практические занятия	14	14
Лабораторные занятия		0
Самостоятельная работа	28	28
Курсовая работа		0
Промежуточная аттестация	36	36
Часы на контроль	36	36
Всего	108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Введение. Микромир. Дуализм. Понятие о квантовых информационных системах	Макро и микромир. Волновые свойства материи. Квантовые компьютеры. Квантовые каналы связи. Квантовая криптография.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.2	Основные постулаты квантовой теории	<p>Состояние. Понятие квантового состояния. Оператор. Алгебра операторов. Принцип суперпозиции состояний. Соответствие операторов физическим величинам. Теоремы об эрмитовых операторах. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Статистическая интерпретация волновой функции. Измерение в квантовой теории. Постулат об измерении. Принцип неопределенности для физических величин. Предельный переход от квантовой механики и классической.</p>	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.3	Теория представлений квантовых состояний	Аксиоматическая квантовая механика. Дираковские обозначения квантовых состояний. Бра и кет – состояния. Теория представлений. Теория представлений для операторов. Оператор эволюции. Различные представления квантовой теории.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
1.4	Одномерное уравнение Шредингера	Одномерное движение. Свободная частица. Модельное описание взаимодействий частиц. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
1.5	Многомерное, многочастичное уравнение Шредингера	Атом водорода. Многоэлектронные атомы. Уравнение Шредингера для системы многих частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Молекулы. Ядра.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1.6	Спин частиц. Математический аппарат теории спина	Опыты Штерна--Герлаха. Спин электрона. Спин частиц. Матрицы Паули. Алгебра матриц Паули	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
1.7	Квантовая теория переходов	Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода в единицу времени. Золотое правило Ферми. Теория рассеяния. Борновское приближение в рассеянии	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
1.8	Кубит. Квантовые информационные системы	Кубит. Принципы реализации кубита. Спутанные состояния. Состояния Белла. Принципы работы квантовых компьютеров. Общие принципы квантовой криптографии. Понятие о телепортации. Заключение	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2. Практические занятия			

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
2.1	Введение. Микромир. Дуализм. Понятие о квантовых информационных системах	Макро и микромир. Волновые свойства материи. Квантовые компьютеры. Квантовые каналы связи. Квантовая криптография.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2.2	Основные постулаты квантовой теории	Состояние. Понятие квантового состояния. Оператор. Алгебра операторов. Принцип суперпозиции состояний. Соответствие операторов физическим величинам. Теоремы об эрмитовых операторах. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Статистическая интерпретация волновой функции. Измерение в квантовой теории. Постулат об измерении. Принцип неопределенности для физических величин. Предельный переход от квантовой механики и классической.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
2.3	Теория представлений квантовых состояний	Аксиоматическая квантовая механика. Дираковские обозначения квантовых состояний. Бра и кет – состояния. Теория представлений. Теория представлений для операторов. Оператор эволюции. Различные представления квантовой теории.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2.4	Одномерное уравнение Шредингера	Одномерное движение. Свободная частица. Модельное описание взаимодействий частиц. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2.5	Многомерное, много частичное уравнение Шредингера	Атом водорода. Многоэлектронные атомы. Уравнение Шредингера для системы многих частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Молекулы. Ядра.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
2.6	Спин частиц. Математический аппарат теории спина	Опыты Штерна--Герлаха. Спин электрона. Спин частиц. Матрицы Паули. Алгебра матриц Паули	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2.7	Квантовая теория переходов	Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода в единицу времени. Золотое правило Ферми. Теория рассеяния. Борновское приближение в рассеянии	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978
2.8	Кубит. Квантовые информационные системы	Кубит. Принципы реализации кубита. Спутанные состояния. Состояния Белла. Принципы работы квантовых компьютеров. Общие принципы квантовой криптографии. Понятие о телепортации. Заключение	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3978

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Микромир. Дуализм. Понятие о квантовых информационных системах	4	2		4	10
2	Основные постулаты квантовой теории	4	2		4	10
3	Теория представлений квантовых состояний	4	2		4	10
4	Одномерное уравнение Шредингера	4	2		4	10
5	Многомерное, много частичное уравнение Шредингера	4	2		4	10
6	Спин частиц. Математический аппарат теории спина	4	2		4	10
7	Квантовая теория переходов	4	2		2	8
8	Кубит. Квантовые информационные системы	2	0		2	4
		30	14	0	28	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие средства:

- рекомендуемую основную и дополнительную литературу;
- методические указания и пособия;

- контрольные задания для закрепления теоретического материала;
- электронные версии учебников и методических указаний для выполнения практических работ.

Форма организации самостоятельной работы: подготовка к аудиторным занятиям; выполнение домашних заданий; выполнение контрольных работ.

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

Аудиторная работа состоит из выполнения практических и лабораторных заданий в объёме, предусмотренном учебным планом.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также 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

№ п/п	Источник
1	<i>Савельев, И. В. Основы теоретической физики. Т. 2: Квантовая механика : учебник. Т. 2 / Савельев И. В. — 5-е изд., стер. — 2018 .— 432 с. — <URL:https://e.lanbook.com/book/104957>.</i>
2	<i>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:https://e.lanbook.com/book/117716>.</i>
3	<i>Запрягаев, С. А. Введение в квантовые информационные системы : учебное пособие / С. А. Запрягаев. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015 .— 218 с.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Ефремов, Ю. С. Квантовая механика : учебное пособие / Ю. С. Ефремов .— Москва, Берлин : Директ-Медиа, 2015.— 457 с. —<URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273446> .</i>

№ п/п	Источник
2	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского. - М. : Наука, 2002. - Т. 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория. — 803 с.
3	Мултановский, В. В. Квантовая механика : учеб. пособие для студентов пед. и техн. вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям в обл. физики и естественнонаучного образования / В. В. Мултановский, А. С. Василевский . — 2-е изд., перераб. — М. : Дрофа, 2007 . — 399 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
3	Электронный университет ВГУ https://edu.vsu.ru
4	ЭБС «Лань» https://e.lanbook.com/
5	«Университетская библиотека online» https://biblioclub.ru/
6	«Консультант студента» http://www.studmedlib.ru/
7	«РУКОНТ» (ИТС Контекстум) https://lib.rucont.ru/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ 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: https://e.lanbook.com/book/104957 >.
2	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: https://e.lanbook.com/book/117716 >.
3	Запрягаев, С. А. Введение в квантовые информационные системы : учебное пособие / С. А. Запрягаев. — 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 проведении занятий в дистанционном режиме обучения используются технические и информационные ресурсы Образовательного портала "Электронный университет ВГУ (<https://edu.vsu.ru>), базирующегося на системе дистанционного обучения Moodle, развернутой в университете, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором; специализированная мебель: доска меловая или маркерная 1 шт., столы, стулья в необходимом количестве. ОС Windows v.7, 8, 10, набор утилит (архиваторы, файл-менеджеры), LibreOffice v.5-7, 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 1-8. Введение. Микромир. Дуализм. Понятие о квантовых информационных системах. Основные постулаты квантовой теории Теория представлений квантовых состояний. Одномерное уравнение Шредингера Многомерное, много частичное уравнение Шредингера. Спин частиц. Математический аппарат теории спина Квантовая теория переходов. Кубит. Квантовые информационные системы	ОПК-4	ОПК-4.5	Письменный опрос
2	Разделы 1-8. Введение. Микромир. Дуализм. Понятие о квантовых информационных системах. Основные постулаты квантовой теории Теория представлений квантовых состояний. Одномерное уравнение Шредингера Многомерное, много частичное уравнение Шредингера. Спин частиц. Математический аппарат теории спина Квантовая теория переходов. Кубит. Квантовые информационные системы	ОПК-4	ОПК-4.6	Письменный опрос

Промежуточная аттестация

Форма контроля - Экзамен

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры

оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Письменный опрос

20.2 Промежуточная аттестация

Перечень вопросов к экзамену:

1. Макро и микромир. Волновые свойства материи.
2. Квантовые компьютеры.
3. Квантовые каналы связи.
4. Квантовая криптография.
5. Состояние. Понятие квантового состояния.
6. Оператор. Алгебра операторов.
7. Принцип суперпозиции состояний.
8. Соответствие операторов физическим величинам.
9. Теоремы об эрмитовых операторах.
10. Волновая функция.
11. Уравнение Шредингера.
12. Статистическая интерпретация волновой функции. Измерение в квантовой теории. Постулат об измерении.
13. Принцип неопределенности для физических величин.
14. Предельный переход от квантовой механики и классической.
15. Аксиоматическая квантовая механика.
16. Дираковские обозначения квантовых состояний.
17. Бра и кет – состояния. Теория представлений.
18. Теория представлений для операторов.
19. Оператор эволюции. Различные представления квантовой теории.
20. Одномерное движение. Свободная частица.
21. Модельное описание взаимодействий частиц.
22. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.
23. Атом водорода. Многоэлектронные атомы.
24. Уравнение Шредингера для системы многих частиц.
25. Симметричные и антисимметричные состояния.
26. Молекулы. Ядра.
27. Опыты Штерна Герлаха. Спин электрона.
28. Спин частиц. Матрицы Паули.
29. Алгебра матриц Паули
30. Нестационарная теория возмущений.
31. Вероятность перехода в единицу времени.
32. Золотое правило Ферми.
33. Теория рассеяния.

34. Борновское приближение в рассеянии
35. Кубит. Принципы реализации кубита.
36. Спутанные состояния. Состояния Белла.
37. Принципы работы квантовых компьютеров.
38. Общие принципы квантовой криптографии.
39. Понятие о телепортации.

Пример контрольно-измерительного материала

УТВЕРЖДАЮ

заведующий кафедрой цифровых технологий

_____ С.Д. Кургалин

__._.2021

Направление подготовки / специальность 10.03.01 Информационная безопасность

Дисциплина Б1.О.24 Квантовая теория

Форма обучения Очное

Вид контроля Зачет

Вид аттестации Промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Уравнение Шредингера для системы многих частиц.
2. Теоремы об эрмитовых операторах.

Преподаватель _____ С.А. Запрыгаев

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание основных понятий квантовой теории и ее методов, которые используются для построения моделей и конструирования алгоритмов решения практических задач;
- 2) знание постановки классических задач;
- 3) знание методов формулировки и доказательства математических утверждений;
- 4) умение применять методы квантовой теории для решения задач профессиональной деятельности;
- 5) умение применять аппарат квантовой теории для доказательства утверждений и теорем;
- 6) владение навыками квалифицированного выбора и адаптации существующих методов для решения практических задач решения различных задач;
- 7) владение навыками использования методов решения классических задач квантовой теории для решения различных естественнонаучных задач.

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: письменного опроса и контрольных работ. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования, а также в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе контроля знаний на факультете компьютерных наук ВГУ.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.