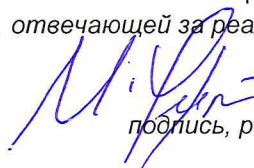


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
теоретической физики
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)
подпись, расшифровка подписи

02.07.2018г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б2.В.ДВ.03.01 – Квантовая теория и квантовые компьютеры
Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

09.03.01 – информатика и вычислительная техника

2. Профиль подготовки/специализация: "Вычислительные машины, комплексы, системы и сети"

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 – теоретической физики

6. Составители программы Корнев Алексей Станиславович

<u>д.ф.-м.н.</u>	<u>Ф.И.О.</u>
<u>ученая степень</u>	<u>Доцент</u>
<u>a-kornev@yandex.ru</u>	<u>ученое звание</u>
<u>e-mail</u>	<u>Физический</u>
<u>теоретической физики</u>	<u>Факультет</u>
<u>кафедра</u>	

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 27.06.2018 г. протокол № 6
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,

отметки о продлении вносятся вручную)

8. Учебный год: 2020–2021

Семестр(ы): 6

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель дисциплины – дать студентам глубокое понимание закономерностей микромира, научить применять вычислительные методы квантовой теории для решения различных прикладных задач. Студент должен овладеть математическим аппаратом нерелятивистской квантовой теории, приобрести навыки его практического применения и на этой основе получать ясное представление о физической природе квантовых явлений, иметь четкое представление о границах применимости квантовых законов и используемых вычислительных методов. Он должен понимать, что квантовая механика есть научная основа современных нанотехнологий.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина «Квантовая теория и квантовые компьютеры» относится к дисциплинам по выбору вариативной части математического и естественнонаучного цикла основной образовательной программы по направлению 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника.

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-1	способность разрабатывать модели компонентов информационных систем, включая модели баз данных и модели интерфейсов "человек – электронно-вычислительная машина"	<p>знать: основные положения и методы квантовой механики;</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах квантовых объектов и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p> <p>владеть (иметь навык(и)): практическими методами исследования квантовых систем и применять их на практике при решении профессиональных задач</p>

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 4/144.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) экзамен.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)				
	Всего	В том числе в интерактивной форме	По семестрам		
			6		
Аудиторные занятия	64		64		
в том числе:					
лекции	32		32		
практические	32		32		
лабораторные					
самостоятельная работа	44		44		
контроль	36		36		
форма промежуточной аттестации	экзамен				
Итого:	144		144		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела	Содержание раздела дисциплины
-----	----------------------	-------------------------------

дисциплины		
1. Лекции		
1.1	Введение. Волновая функция	Основы квантовой теории. Основные трудности классической теории. Краткий очерк истории становления квантовой теории. Квантовые состояния. Волновая функция. Вероятностная интерпретация. Принцип суперпозиции. Волновой пакет.
1.2	Операторы физических величин и их свойства	Средние значения координат и импульсов. Алгебра операторов. Собственные значения и собственные функции операторов. Свойства собственных значений и собственных функций линейных эрмитовых операторов. Ортогональность и нормировка собственных функций оператора с дискретным спектром. Условие совместного измерения различных механических величин. Соотношение неопределенностей.
1.3	Уравнение Шредингера	Постулирование уравнения Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности.
1.4	Изменение состояний со временем	Стационарные состояния. Свойства стационарных состояний. Дифференцирование операторов по времени. Квантовые скобки Пуассона. Интегралы движения. Связь интегралов движения с симметрией задачи. Теоремы Эренфеста.
1.5	Одномерные задачи	1-мерные задачи. Свойства финитного 1-мерного движения. Линейный гармонический осциллятор, спектр энергий, волновые функции стационарных состояний.
1.6	Движение в центральном поле	Общая теория движения в центральном поле. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата углового момента и его проекции на данное направление. Разделение переменных в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Общие свойства решения. Атом водорода. Решение радиального уравнения. Энергетический спектр.
1.7	Нерелятивистская теория спина электрона	Спиновый момент электрона. Матричная форма операторов. Матрицы Паули. Волновые функции спиновых состояний. Спиновая переменная. Спинор. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Уравнение Паули. Двухуровневая система.
1.8	Теория квантовых компьютеров	Кубит. Однокубитовые гейты. Квантовый интерферометр. Квантовый регистр. Многокубитовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла. Квантовый параллелизм.
2. Практические занятия		
2.1	Введение. Волновая функция	Основы квантовой теории. Основные трудности классической теории. Краткий очерк истории становления квантовой теории. Квантовые состояния. Волновая функция. Вероятностная интерпретация. Принцип суперпозиции. Волновой пакет.
2.2	Операторы физических величин и их свойства	Средние значения координат и импульсов. Алгебра операторов. Собственные значения и собственные функции операторов. Свойства собственных значений и собственных функций линейных эрмитовых операторов. Ортогональность и нормировка собственных функций оператора с дискретным спектром. Условие совместного измерения различных механических величин. Соотношение неопределенностей.
2.3	Уравнение Шредингера	Постулирование уравнения Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности.
2.4	Изменение состояний со временем	Стационарные состояния. Свойства стационарных состояний. Дифференцирование операторов по времени. Квантовые скобки Пуассона. Интегралы движения. Связь интегралов движения с симметрией задачи. Теоремы Эренфеста.
2.5	Одномерные задачи	1-мерные задачи. Свойства финитного 1-мерного движения.

		Линейный гармонический осциллятор, спектр энергий, волновые функции стационарных состояний.
2.6	Движение в центральном поле	Общая теория движения в центральном поле. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата углового момента и его проекции на данное направление. Разделение переменных в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Общие свойства решения. Атом водорода. Решение радиального уравнения. Энергетический спектр.
2.7	Нерелятивистская теория спина электрона	Спиновый момент электрона. Матричная форма операторов. Матрицы Паули. Волновые функции спиновых состояний. Спиновая переменная. Спинор. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Уравнение Паули. Двухуровневая система.
2.8	Теория квантовых компьютеров	Кубит. Однокубитовые гейты. Квантовый интерферометр. Квантовый регистр. Многокубитовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла. Квантовый параллелизм.
3. Лабораторные работы		

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Волновая функция	2	2		2	
2	Операторы физических величин и их свойства	4	6		12	
3	Уравнение Шредингера	2	2		4	
4	Изменение состояний со временем	2	4		4	
5	Одномерные задачи	4	6		6	
6	Движение в центральном поле	4	4		6	
7	Нерелятивистская теория спина электрона	6	6		6	
8	Теория квантовых компьютеров	8	2		4	
	Итого:	32	32		44	

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Запрягаев, С.А. Введение в квантовые инфоформационные системы / С.А.Запрягаев – Воронеж. гос. ун-т, 2015 – 219 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов. — СПб: БХВ–Петербург, 2011. — 703 с.
3	Галицкий, В.М. Задачи по квантовой механике : учебное пособие для студ. физ.

	специальностей вузов : в 2 ч. / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган .— М. : Едиториал УРСС, 2001.
4	Балашов, В.В. Курс квантовой механики : Учебное пособие для студ. физ.фак. Ч. 1 / В.В. Балашов, В.К. Долинов .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1974 .— 379 с.
5	Балашов, В.В. Курс квантовой механики : Учебное пособие для студ. физ.фак. Ч. 2 / В.В. Балашов, В.К. Долинов .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978 .— 196 с.
6	Соколов А.А. Квантовая механика / А.А. Соколов, И.М. Тернов, В.Ч. Жуковский .— М. : Наука : Физматлит, 1979 .— 528 с.
7	Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. III: Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Физматлит, 2001. — 803 с.
8	Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев. — СПб: Лань, 2004. — 664 с.

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

№ п/п	Ресурс
9	http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m08-189.pdf
10	http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m14-154.pdf
11	http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m09-11.pdf

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Флюгге, З. Задачи по квантовой механике : в 2 ч. / З. Флюгге ; пер. с англ. Б.А. Лысова; под ред. А.А. Соколова .— Череповец : Меркурий-Пресс, 2000.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Система компьютерной алгебры Maxima

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, электронные средства презентации.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)

ПК-1 способность разрабатывать модели компонентов информационных систем, включая модели баз данных и модели интерфейсов "человек – электронно-вычислительная машина"	Знать: основные положения и методы квантовой механики	Разделы 1–8	Пакет КИМ № 1
	Уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о свойствах квантовых объектов и методах их исследования, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач	Разделы 1–4 Разделы 5–8	Контрольная работа № 1 Контрольная работа № 2
	Владеть: практическими методами исследования квантовых систем и применять их на практике при решении профессиональных задач	1–15	
Промежуточная аттестация			Пакет КИМ № 1

* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Овладение основными понятиями и постулатами квантовой теории. Понимание отличия квантового описания движения от классического: как в физических концепциях, так и в математическом описании. Умение решать типовые задачи и применять их результаты для описания свойств реальных квантовых систем и объяснения важнейших эффектов.

Для оценивания результатов обучения на экзамене (зачете с оценкой) используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено. Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы, полное понимание и свободное владение материалом</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками, незначительные пробелы в знании материала</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Неудовлетворительные ответы на один из основных вопросов КИМа и некоторые дополнительные вопросы, неполное знание или понимание материала</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на вопросы КИМа и большинство дополнительных вопросов</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Квантовые состояния. Волновые функции. Принцип суперпозиции состояний.
2. Среднеквадратичное отклонение (дисперсия) физической величины.
3. Собственные значения и собственные функции линейных эрмитовых операторов.
4. Условия совместной измеримости нескольких физических величин.
5. Соотношение неопределенностей.
6. Уравнение Шредингера (временное, стационарное). Стационарные состояния. Их свойства.
7. Уравнение непрерывности. Плотность потока вероятности.
8. Дифференцирование операторов по времени. Интегралы состояния.
9. Квантовая теория линейного гармонического осциллятора.
10. Момент количества движения (орбитальный момент).
11. Разделение переменных в уравнении Шредингера в центральном поле. Спектроскопические символы.
12. Теория атома водорода.
13. Нерелятивистская теория спина. Оператор спина. Спиновые функции.
14. Уравнение Паули.
15. Двухуровневая система.
16. Кубит. Однокубитовые гейты. Квантовый интерферометр.
17. Квантовый регистр. Многокубитовые гейты.
18. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла. Квантовый параллелизм.

19.3.2 Перечень практических заданий

19.3.4 Тестовые задания

Пакет КИМ № 1

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Квантовые состояния. Волновые функции. Принцип суперпозиции состояний.
2. Момент количества движения (орбитальный момент).

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Квантовая теория линейного гармонического осциллятора.
2. Двухуровневая система.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Среднеквадратичное отклонение (дисперсия) физической величины.
2. Кубит. Однокубитовые гейты. Квантовый интерферометр.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Соотношение неопределенностей.
2. Квантовый регистр. Многокубитовые гейты.

19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

Контрольная работа № 1

1. Какие из перечисленных функций соответствуют одинаковым состояниям? (2)

$$\alpha e^{-\alpha x^2 + \beta}, \quad e^{\alpha x} e^{-\alpha(x+1)^2}, \quad e^{\ln \beta + \alpha(x^2-1)}$$

2. Раскрыть скобки (4):

$$(\hat{L}_z - \hat{p}_z)^2, \quad (\hat{p}_x^2 - x)^2$$

3. Показать, что функция $\varphi = A e^{-x^2/2}$ является собственной функцией

оператора $\hat{R} = -\frac{d^2}{dx^2} + x^2$ и найти собственное значение, которому она удовлетворяет. (3)

4. Записать соотношение неопределенностей для следующих физических величин: (p_x, L_z) . (2)

5. Вычислить среднее значение p_x в произвольном стационарном состоянии частицы массой m в яме шириной a с двумя бесконечно высокими стенками. Привести явный вид волновой функции. (5)

6. Есть ли общие собственные функции у операторов (\hat{y}, \hat{L}_z) ? (2)

7. Какие значения момента L_z и с какой вероятностью будут наблюдаться на эксперименте, если состояние системы описывается волновой функцией

$$\Psi(\varphi) = a(\cos^2 2\varphi + \sin \varphi) ? \text{ Найти } \langle L_z \rangle \text{ и } \langle (\Delta L_z)^2 \rangle. (8)$$

8. Запишите гамильтониан атома водорода. (2)

9. Может ли состояние, описываемое волновой функцией

$$\psi(\xi, t) = \varphi(\xi) e^{2i(E+i\Gamma)t}, \text{ быть стационарным? (2)}$$

Контрольная работа № 2

- 1(12). Частица, имеющая массу m , движется в поле

$$V(x) = \begin{cases} +\infty, & x \leq 0, \\ \frac{1}{2} m \omega^2 x^2, & x > 0. \end{cases}$$

Найти энергии стационарных состояний и соответствующие им волновые функции.

- 2(12). Частицы, каждая из которых имеет массу m и энергию E , движутся в поле $V(x) = \Omega \delta(x)$.

Найти коэффициент отражения как функцию энергии E .

- 3(6). Найти $\langle \cos \theta \rangle$ и $\langle \cos^2 \theta \rangle$ в 2р-состоянии атома водорода.

19.3.5 Темы курсовых работ

19.3.6 Темы рефератов

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

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 форме(ах): **устного опроса (индивидуальный опрос); письменных работ (контрольные); тестирования**. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень умения решать практические задачи. При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.