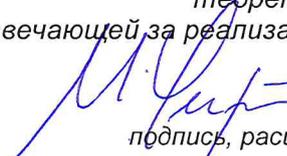


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

02.07.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.Б.11.03 – Квантовая механика

*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.03 – Радиофизика

2. Профиль подготовки/специализация:

"Компьютерные технологии передачи информации", "Компьютерная электроника",  
"Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

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

6. Составители программы: Копытин Игорь Васильевич

*ФИО*

д.ф.-м.н.

профессор

*ученая степень*

*ученое звание*

i-kopytin@yandex.ru

физический

*e-mail*

*факультет*

теоретической физики

*Кафедра*

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 понятие о релятивистской квантовой механике и 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:** Входит в модуль Б1.Б.11 «Теоретическая физика» базовой части Б1.Б. Курс знакомит с современными теоретическими методами описания свойств квантовых систем и теоретическими подходами к исследованию в них различных динамических процессов. Студент должен обладать знаниями по дисциплинам модулей Б1.Б.7 «Общая физика», Б1.Б.8 «Атомная и ядерная физика», Б1.Б.9 «Математика», а также по дисциплинам «Теоретическая механика» (Б1.Б.11.1) и «Электродинамика» (Б1.Б.11.2) из модуля Б1.Б.11 «Теоретическая физика», владеть основными математическими приемами и методами.

**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	
ОПК-1	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности;	<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>
ОПК-2	приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах (в соответствии с учебным планом) — 5 / 180.**

**Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) – экзамен.**

**13. Виды учебной работы:**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		6		...
Аудиторные занятия	96	96		
в том числе: лекции	48	48		
практические	48	48		

лабораторные				
Самостоятельная работа	48	48		
Контроль	36	36		
Форма промежуточной аттестации	экзамен	экзамен		
Итого:	180	180		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение. Экспериментальные основы квантовой механики	Этапы развития квантовой теории и трудности ее освоения. Ключевые эксперименты, не находящие объяснения на основе классической механики и потребовавшие разработки нового подхода. Волна де Бройля и ее физический смысл.
1.2	Математический аппарат квантовой механики	Операторный формализм, собственные функции и собственные значения операторов, их свойства для дискретного и непрерывного спектров оператора
1.3	Основные положения квантовой механики	Волновая функция. Переход к классическому пределу. Принцип суперпозиции. Постулаты квантовой механики. Вероятность результата измерения физической величины. Временное уравнение Шредингера. Сохранение числа частиц в квантовой механике. Плотность тока вероятности. Уравнение Шредингера для стационарных состояний и их свойства. Соотношение неопределенностей. Дифференцирование операторов по времени. Интегралы состояний квантовой системы. Свойства симметрии пространства времени и интегралы состояний системы. Однородность времени, энергия. Однородность пространства, импульс. Изотропия пространства, момент импульса. Четность.
1.4	Простейшие задачи квантовой механики	Частица в потенциальной яме. Прохождение частиц через потенциальный барьер, туннельный эффект. Квантовый осциллятор. Общие свойства движения частицы в центральном поле. Теория атома водорода и водородоподобных ионов.
1.5	Элементы теории представлений	Различные представления волновых функций и операторов. Уравнение на собственные функции и собственные значения эрмитового оператора в матричном виде. Уравнение Шредингера в матричном виде. Представления: Шредингера, Гейзенберга, взаимодействия.
1.6	Приближенные методы квантовой механики	Теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Квазиклассическое приближение. Вариационные методы.
1.7	Частица в электромагнитном поле	Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле. Спин электрона. Оператор спина, спиновые функции. Уравнение Паули. Теория нормального эффекта Зеемана. Сложение угловых моментов в квантовой механике. Аномальный эффект Зеемана.
1.8	Теория систем многих частиц	Системы тождественных частиц. Принцип тождественности. Волновые функции систем тождественных частиц, принцип Паули. Теория атома гелия и гелиоподобных ионов. Сложные атомы. Методы самосогласованного поля Хартри и Хартри-Фока. Периодическая система элементов Менделеева.
1.9	Релятивистская квантовая механика	Релятивистское уравнение Шредингера. Уравнение Дирака, свойства его решения для свободной частицы и частицы в кулоновском поле.
1.10	Теория квантовых переходов	Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы. Вероятность квантового перехода, «Золотое правило

		Ферми». Элементарная теория взаимодействия квантовой системы с электромагнитным полем. Квантование электромагнитного поля. Вынужденное и спонтанное излучения. Правила отбора для испускания и поглощения света. Мультипольное излучение.
1.11	Квантовая теория столкновений. Заключение	Борновское приближение в теории упругого рассеяния. Упругое рассеяние заряженных частиц, формула Резерфорда. Границы применимости законов квантовой механики и ее дальнейшее развитие.
<b>2. Практические занятия</b>		
3.1	Физические операторы и их коммутаторы	Алгебра операторов. Коммутаторы.
3.2	Собственные функции и собственные значения операторов	Свойства собственных функций. Собственные функции и собственные значения физических операторов
3.3	Измеримость физических величин	Соотношение неопределенностей для физических величин
3.4	Интегралы состояния	Дифференцирование операторов по времени и интегралы состояния квантовой системы. Свойства симметрии пространства времени и интегралы состояния
3.5	Одномерное уравнение Шредингера	Волновые функции и их свойства. Уравнение Шредингера для стационарных состояний и их свойства. Частица в потенциальной яме. Движение частиц в поле потенциального барьера. Туннельный эффект. Квантовый осциллятор
3.6	Трехмерное уравнение Шредингера	Пространственный ротатор. Движение частицы в центральном поле. Атом водорода
3.7	Теория представлений	Различные представления функций и операторов
3.8	Приближенные методы квантовой механики	Теория возмущений. Прямой вариационный метод. Квазиклассическое представление. Условия квантования Бора-Зоммерфельда
3.9	Эффект Зеемана	Простой эффект Зеемана. Сложение угловых моментов в квантовой механике. Сложный эффект Зеемана
3.10	Квантовые переходы	Вероятность квантового перехода. Электромагнитное излучение атома и правила отбора
3.11	Квантовая теория столкновений	Борновское приближение. Формула Резерфорда

### 3. Лабораторные занятия

#### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины					
		Лекции	Практические	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Введение. Экспериментальные основы квантовой механики	3		2		5
2	Математический аппарат квантовой механики	3	10	6	2	21
3	Основные положения квантовой механики	10	10	10	10	40
4	Простейшие задачи квантовой механики	4	10	4	3	21
5	Элементы теории представлений	2	2	2	2	8
6	Приближенные методы квантовой механики	4	6	6	2	18

7	Частица в электромагнитном поле	5	4	2	2	13
8	Теория систем многих частиц	6		6	6	18
9	Релятивистская квантовая механика	4		3	2	9
10	Теория квантовых переходов	5	4	5	5	19
11	Квантовая теория столкновений. Заключение	2	2	2	2	8
	Итого:	48	48	48	36	180

#### 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.)

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к лабораторному занятию, разбирая соответствующий теоретический материал, систематически выполнять домашние задания, не пропускать текущие тестирования по пройденному теоретическому и практическому материалу.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернета, 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	Давыдов А.С. Квантовая механика. – Учебное пособие. – 3 изд., стереотипное. – СПб.: БХВ – Петербург, 2014. – 704 с.
2	Паршаков А.Н. Введение в квантовую физику. Учебники для вузов. Специальная литература. М.: Лань, 2010 – 352 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=297">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=297</a>
3	Шпольский Э.В. Атомная физика СПб, М., Краснодар: Лань, 2010 – 448 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=443">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=443</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев.- М.: Наука, 1976.- 664 с.
5	Соколов А.А. Квантовая механика / А.А. Соколов, И.М. Тернов, В.Ч. Жуковский.- М.: Наука, 1979.- 528 с.
6	Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 797 с.
7	Сборник задач по теоретической физике: Учебное пособие для вузов (Изд. 2-е) / Л.Г.Гречко, В.И.Сугаков, О.Ф.Томасевич, А.М.Федорченко. - М.: Высшая школа, 1974.- 321 с.
8	Галицкий В.М. Задачи по квантовой механике / В.М.Галицкий, В.М.Карнаков, В.И.Коган.- М.: Наука, 1992.- 880 с.
9	Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манакон, М.В.Фролов – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2018. –

	263 с.
--	--------

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

№ п/п	Ресурс
10	<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m11-53.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m11-53.pdf</a>

\* 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	<i>Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 1. 3-е издание / И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2009. – 107 с.</i>
2	<i>Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 2. 3-е издание, исправленное и дополненное / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манаков, М.В.Фролов // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2013. – 76 с.</i>
3	<i>Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций для вузов. Часть 3. 3-е издание / И.В. Копытин, А.С. Корнев, Н.Л. Манаков, М.В. Фролов // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2008. – 87 с.</i>
4	<i>Копытин И.В. Задачи по квантовой механике. Часть 1. Учебное пособие для вузов / И.В. Копытин, А.С. Корнев // Воронеж. - Издательский дом ВГУ. - 2008. – 67 с.</i>
5	<i>Копытин И.В. Задачи по квантовой механике. Часть 2. Учебное пособие для вузов. 3-е издание / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Т.А.Чуракова // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2008. – 82 с.</i>
6	<i>Копытин И.В. Задачи по квантовой механике. Учебное пособие для вузов. Часть 3. 3-е издание / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Т.А.Чуракова // Воронеж. - Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2008. – 74 с.</i>

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

### 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, дисплейный класс, 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)

ОПК-1 способность овладению базовыми знаниями области математики естественных наук, использованию профессиональной деятельности способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	к	Знать: основные положения и методы квантовой механики	Разделы 1.1-1.5	Текущая аттестация №1 (тестовые задания)
	в	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 1.6-1.11	Текущая аттестация №2 (тестовые задания)
	и их	Владеть: практическими методами исследования квантовых систем и применять их на практике при решении профессиональных задач	Разделы 3.1-3.11	Практические задания
<b>Промежуточная аттестация</b>				КИМ

\* 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

Необходимо знать основные положения квантовой механики, уметь записать с учетом физических свойств квантовой системы уравнение Шредингера – временное и для стационарных состояний, владеть приближенными методами их решения, знать особенности квантового поведения систем тождественных частиц и их проявления в свойствах простейших атомов и в периодической таблице элементов, уметь рассчитывать характеристики квантового рассеяния частиц и вероятности квантовых переходов, иметь представление о способах квантового описания релятивистского движения частиц.

Критерии оценок:

Отлично – подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы.

Хорошо – подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками.

Удовлетворительно – неудовлетворительные ответы на один из основных и некоторые дополнительные вопросы.

Неудовлетворительно – плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на большинство поставленных вопросов.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности	Шкала оценок
---------------------------------	--------------------------	--------------

	компетенций	
<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 (КИМ):**

1. Свойства собственных значений и собственных функций линейных эрмитовых операторов.
2. Постулаты квантовой механики. Вероятность результата измерения физической величины.
3. Временное уравнение Шредингера. Сохранение числа частиц в квантовой механике. Плотность тока вероятности.
4. Уравнение Шредингера для стационарных состояний и их свойства.
5. Соотношение неопределенностей.
6. Дифференцирование операторов по времени. Интегралы состояния системы.
7. Свойства пространства времени и интегралы состояний. Однородность времени, энергия.
8. Свойства пространства времени и интегралы состояний. Однородность пространства, импульс.
9. Свойства пространства времени и интегралы состояний. Изотропия пространства, момент импульса.
10. Симметрия пространства относительно операции инверсии. Четность.
11. Частица в потенциальной яме.
12. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
13. Квантовый осциллятор.
14. Движение частицы в центральном поле: общие свойства.
15. Теория атома водорода и водородоподобных ионов.
16. Элементы теории представлений. Уравнение Шредингера в произвольном представлении.
17. Теория возмущений в отсутствие вырождения.
18. Теория возмущений при наличии вырождения.
19. Прямой вариационный метод (метод Ритца).
20. Квазиклассическое приближение. Условие Бора-Зоммерфельда.
21. Спин электрона, оператор спина, спиновые функции.
22. Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле. Уравнение Паули.
23. Теория эффекта Зеемана: случаи сильного и слабого магнитных полей.
24. Система тождественных частиц. Принцип тождественности.
25. Волновые функции систем тождественных частиц. Принцип Паули.
26. Теория атома гелия и гелиоподобных ионов.
27. Сложные атомы. Методы самосогласованного поля Хартри и Хартри-Фока.
28. Периодическая система элементов Менделеева.
29. Квантовая теория рассеяния. Борновское приближение.
30. Рассеяние заряженных частиц. Формула Резерфорда.
31. Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы в системе.
32. Вероятность квантового перехода для периодического по времени возмущения. «Золотое правило Ферми».
33. Излучение и поглощение света атомами. Вероятность излучения и правила отбора.

34. Релятивистское уравнение Шредингера.  
35. Уравнение Дирака.

### 19.3.2 Перечень практических заданий

- Вычислить коммутаторы следующих пар операторов:  
 $a) \hat{p}_y, y; b) z, \hat{L}_z; c) x, \hat{L}_y; d) \hat{p}_y, \hat{L}_z; e) \hat{L}_x, \hat{L}_y; f) \hat{L}_z, \hat{L}^2$ .
- Найти собственные функции и собственные значения следующих операторов:  
 $a) \hat{p}_x, \hat{p}_y, \hat{p}_z; b) \hat{p}; c) \hat{L}_z$ . Нормировать собственные функции.
- Система находится в состоянии, которое описывается волновой функцией  $\Psi(\varphi) = Ae^{3i\varphi} \cos 2\varphi$ . Определить, какие значения  $L_z$  и с какой вероятностью будут появляться при измерении.
- Решить уравнение Шредингера для свободно движущейся частицы.
- Найти энергии и волновые функции: а) плоского ротатора; б) пространственного ротатора. Момент инерции ротатора  $I$ .
- Частица, двигаясь в положительном направлении оси  $x$ , падает на потенциальный порог:  $U(x)=0$ , если  $x<0$ , и  $U(x)=U_0$ , если  $x>0$ . Рассмотрев случаи  $E>U_0$  и  $E<U_0$ , найти коэффициенты прохождения  $D$  и отражения  $R$  частиц.
- Записать волновую функцию частицы в центральном поле в  $\vec{L}^2$ -представлении.
- Записать сферическую функцию в  $L_z$ -представлении.
- Записать волновую функцию основного состояния электрона в водородоподобном ионе в импульсном представлении и найти вероятность заданного значения импульса у электрона.
- Найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора массы  $M$ , частоты  $\omega$  и заряда  $e$ , помещенного в однородное постоянное электрическое поле напряженности  $\mathcal{E}$ . Действие поля рассмотреть как возмущение. Задачу решать по теории возмущений. (Примечание: для линейного гармонического осциллятора матричный элемент  $x_{mn} = \sqrt{\hbar / 2m\omega}(\sqrt{n+1}\delta_{m,n+1} + \sqrt{n}\delta_{m,n-1})$ , где  $\delta_{m,n}$  – символ Кронекера).
- Найти энергию и волновую функцию основного состояния линейного гармонического осциллятора, используя прямой вариационный метод. Сравнить с точным решением.
- Найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора, используя квазиклассическое приближение.
- Используя квазиклассическое приближение, найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора с зарядом  $e$ , помещенного в однородное постоянное электрическое поле напряженности  $\mathcal{E}$ .

### 19.3.3 Текущие аттестации №1 – №2 (тестовые задания)

#### Текущая аттестация №1 (тестовые задания)

- Записать временное уравнение Шредингера, пояснив обозначения.
- Что такое «стационарное состояние»? Записать вид волновой функции стационарного состояния, пояснив, откуда что находится?
- Записать уравнение Шредингера для стационарных состояний: а) водородоподобного атома; б) атома гелия; в) атома лития (ядро и 3 электрона, движением ядра пренебречь); г) молекулы водорода.
- Записать уравнение: а) для частицы в электромагнитном поле; б) Паули.

5. Перечислить свойства собственных функций оператора: а) с дискретным спектром; с непрерывным спектром.
6. Пространство: а) однородно; б) изотропно. Какие физические величины сохраняются, каков для них спектр собственных значений и вид собственных функций?
7. Частица движется в поле сферической симметрии. Какие физические величины у нее сохраняются, каковы для них спектры собственных значений?
8. Записать вид энергетического спектра квантового осциллятора: а) одномерного; б) двумерного.
9. Записать соотношение неопределённостей для заданных Вам пар физических операторов.

### **Текущая аттестация №2 (тестовые задания)**

1. Записать вид оператора спина электрона и спиновых функций.
2. Записать уравнение: а) для частицы в электромагнитном поле; б) Паули.
3. Идея решения задачи по теории возмущений. Для случая отсутствия вырождения записать в низших порядках поправки: а) к энергии; б) к волновой функции.
4. Идея решения задачи по теории возмущений. Как решается задача при наличии вырождения?
5. Идея квазиклассического метода. Записать условие для нахождения энергетического спектра системы (условие Бора-Зоммерфельда)?
6. Идея прямого вариационного метода.
7. Идея временной теории возмущений. Как рассчитать вероятность квантового перехода (записать «Золотое правило Ферми», пояснив обозначения)?
8. Записать уравнение Дирака: а) для свободной частицы; б) для частицы в поле  $V(r)$ ; в) для атома водорода; г) для водородоподобного атома. Пояснить все обозначения.
9. Идея борновского приближении в квантовой теории столкновений. Чем определяется дифференциальное сечение столкновения в этом приближении?

#### **19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ**

#### **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.