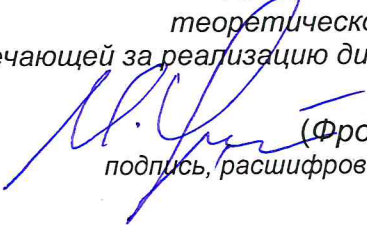


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

  
(Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.О.28 – 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: Радиофизика и электроника

3. Квалификация 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.

*ученая степень*

профессор

*ученое звание*

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 17.06.2022 г. протокол № 6

*(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

*отметки о продлении вносятся вручную)*

8. Учебный год: 2024-2025

Семестр(ы)/Триместр(ы): 6

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* глубокое понимание закономерностей микромира и способов их описания, владение методами расчета свойств квантовых систем, умение применять полученные знания для решения различного рода практических задач.

*Задачи учебной дисциплины:* ознакомить с основами квантовой механики, научить применять ее вычислительные методы для решения прикладных задач, дать ясное представление о физической природе квантовых явлений, о границах применимости квантовых законов и используемых методов, показать, что квантовая механика есть научная основа современных нанотехнологий.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** дисциплина относится к базовой части Б1. 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 «Общая физика», «Атомная и ядерная физика» и «Теоретическая физика», в частности, из последнего модуля по дисциплинам «Теоретическая механика» и «Электродинамика». Кроме этого, студент должен владеть основными математическими приемами и методами из дисциплин модуля «Математика».

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способность применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.2	Оценивает границы применимости и использует математические модели, необходимые для решения типовых профессиональных задач	Знать: основные положения и практические методы квантовой механики, границы их применения.  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.
		ОПК-1.3	Владеет знаниями фундаментальных разделов физики и применяет их в профессиональной деятельности	Владеть: практическими методами исследования квантовых систем и применять их на практике при решении профессиональных задач.

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

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

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра 6	№ семестра	...
Аудиторные занятия		100	100		
в том числе:	лекции	50	50		
	практические	50	50		
	лабораторные				
Самостоятельная работа		44	44		
в том числе: курсовая работа (проект)					
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)		Экзамен - 36	Экзамен - 36		
Итого:		180	180		

#### 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	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	Прохождение частиц через потенциальный барьер, туннельный эффект. Квантовый осциллятор. Общие свойства движения частицы в центральном поле. Теория атома водорода и водородоподобных ионов.	-
1.5	Приближенные методы квантовой механики	Теория возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Прямой вариационный метод. Квазиклассическое приближение.	-
1.6	Частица в электромагнитном поле	Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле. Спин электрона. Оператор спина, спиновые функции. Уравнение Паули. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Сложение угловых моментов в квантовой механике.	-
1.7	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 Д.И. Менделеева.	-
1.8	Теория квантовых переходов	Квантовые переходы. Нестационарная теория возмущений. Вероятность квантового перехода, «Золотое правило Ферми». Элементарная теория взаимодействия квантовой системы с электромагнитным полем. Вынужденное и спонтанное излучения. Правила отбора для испускания и поглощения света.	-
1.9	Релятивистская квантовая механика	Релятивистское уравнение Шредингера. Уравнение Дирака и его свойства.	-
1.10	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>			
2.1	Операторный формализм	Алгебра операторов. Коммутаторы. Физические операторы и их коммутационные свойства.	-
2.2	Собственные функции и собственные значения операторов	Свойства собственных функций. Собственные функции и собственные значения физических операторов.	-
2.3	Измеримость физических величин	Вероятность результата измерения физической величины: дискретный спектр, непрерывный спектр. Среднее значение физической величины. Соотношение неопределенностей для физических величин.	-
2.4	Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний	Частицы в потенциальных ямах. Движение частиц в поле потенциальных барьеров. Туннельный эффект. Плоский ротатор. Квантовый осциллятор.	-
2.5	Трехмерное уравнение Шредингера для стационарных состояний	Уравнение Шредингера для простейших атомов и молекул. Свободное движение частицы. Теория атома водорода для связанных состояний и их свойства. Пространственный ротатор.	-
2.6	Интегралы состояния квантовой системы	Дифференцирование операторов по времени и интегралы состояния квантовой системы. Свойства симметрии пространства времени и интегралы состояния.	-
2.7	Эффект Зеемана	Решение уравнений Паули для нормального и аномального эффектов Зеемана. Сложение угловых моментов.	-
2.8	Приближенные методы квантовой механики	Теория возмущений. Прямой вариационный метод. Квазиклассическое представление. Условия	-

		квантования Бора-Зоммерфельда.	
2.9	Квантовые переходы	Вероятность квантового перехода. Электромагнитное излучение атома и правила отбора.	-

### 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	Введение. Экспериментальные основы квантовой механики	3			2	5
2	Математический аппарат квантовой механики	3	12		6	21
3	Основные положения квантовой механики	12	12		11	35
4	Простейшие задачи квантовой механики	6	10		4	20
5	Приближенные методы квантовой механики	4	6		5	15
6	Частица в электромагнитном поле	5	4		2	11
7	Теория систем многих частиц	6			5	11
8	Теория квантовых переходов	5	4		5	14
9	Релятивистская квантовая механика	2			2	4
10	Квантовая теория столкновений. Заключение	4	2		2	8
	Итого:	50	50		44	144

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

Необходимо после каждой лекции по ее теме разбирать и осваивать лекционный материал, для его лучшего понимания читать рекомендованную основную и дополнительную литературу, готовиться к практическому 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	Копытин И.В. Квантовая механика: учебное пособие для вузов / И.В.Копытин. – Москва: Издательство Юрайт, 2022.- 245 с.

3	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>
4	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
5	Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев. — СПб: Лань, 2004. — 664 с.
6	Соколов А.А. Квантовая механика / А.А. Соколов, И.М. Тернов, В.Ч. Жуковский. - М.: Наука, 1979. - 528 с.
7	Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 797 с.
8	Копытин И.В. Квантовая теория. Курс лекций / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манаков, М.В.Фролов – 2-е изд., стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 263 с.
9	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.
10	Галицкий В.М. Задачи по квантовой механике / В.М.Галицкий, В.М.Карнаков, В.И.Коган. - М.: Наука, 1992. - 880 с.
11	Копытин И.В. Квантовая механика в примерах и задачах. Учебное пособие / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манаков // Воронеж. – Издательский дом ВГУ, 2020. – 212 с.

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

№ п/п	Ресурс
12	<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>
13	<a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m20-121.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m20-121.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), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Копытин И.В. Квантовая механика: учебное пособие для вузов / И.В.Копытин. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 245 с.
2	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.
3	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.
4	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. -

	<i>Издательско-полиграфический центр ВГУ. - 2008. – 87 с.</i>
5	<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>
6	<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>
7	<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>
8	<i>Копытин И.В. Квантовая механика в примерах и задачах. Учебное пособие / И.В.Копытин, А.С.Корнев, Н.Л.Манакон // Воронеж. – Издательский дом ВГУ, 2020. – 212 с.</i>

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, дисплейный класс.

**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.	Разделы 1.1-1.5	ОПК-1	ОПК-1.2	Текущая аттестация №1 (тестовые задания)
2.	Разделы 1.6-1.10		ОПК-1.3	Текущая аттестация №2 (тестовые задания)
3.	Разделы 2.1-2.9		Практические задания	
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Перечень вопросов к экзамену

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

**20.1. Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: текущие аттестации №1 и №2 (тестовые задания), практические задания.

**Тестовые задания к текущей аттестации №1.**

1. Записать временное уравнение Шрёдингера, пояснив обозначения.
2. Что такое «стационарное состояние»? Записать вид волновой функции стационарного состояния, пояснив, откуда что находится?
3. Записать уравнение Шрёдингера для стационарных состояний: а) водородоподобного атома; б) атома гелия; в) атома лития (ядро и 3 электрона, движением ядра пренебречь); г) молекулы водорода.
4. 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 неопределённости для заданных Вам пар физических операторов

### Тестовые задания к текущей аттестации №2.

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 приближения в квантовой теории столкновений. Чем определяется дифференциальное сечение столкновения в этом приближении?

### Практические задания

1. Вычислить коммутаторы следующих пар операторов:  
 $a) \hat{p}_y, y; b) z, \hat{L}_z; c) x, \hat{L}_y; d) \hat{p}_y, \hat{L}_z; e) \hat{L}_x, \hat{L}_y; f) \hat{L}_z, \hat{L}^2$ .
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.
3. 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.
4. Решить уравнение Шредингера для свободно движущейся частицы.
5. Найти энергии и волновые функции: а) плоского ротатора; б) пространственного ротатора. Момент инерции ротатора  $I$ .
6. 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.
7. Записать волновую функцию частицы в центральном поле в  $\vec{L}^2$ -представлении.
8. Записать сферическую функцию в  $L_z$ -представлении.
9. Записать волновую функцию основного состояния электрона в водородоподобном ионе в импульсном представлении и найти вероятность заданного значения импульса у электрона.
10. Найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора массы  $M$ , частоты  $\omega$  и заряда  $e$ , помещенного в однородное постоянное электрическое поле напряженности  $\varepsilon$ . Действие поля рассматривать 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).
11. Найти энергию и волновую функцию основного состояния линейного гармонического осциллятора, используя прямой вариационный метод. Сравнить с точным решением.
12. Найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора, используя квазиклассическое приближение.



13. Используя квазиклассическое приближение, найти энергии стационарных состояний линейного гармонического осциллятора с зарядом  $e$ , помещенного в однородное постоянное электрическое поле напряженности  $\mathcal{E}$ .

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практические задания, тестовые задания и вопросы экзаменационных билетов.

### Вопросы экзаменационных билетов

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.

### Описание технологии проведения экзамена

Экзамен проводится в письменной форме и включает 3 этапа: 1) решение задач; 2) ответ на контрольные вопросы (тесты); 3) ответ на экзаменационный билет.

Этап 1) - решение задач. На этом этапе экзамена участвуют только студенты, пропускавшие практические занятия (их список оглашается после окончания практических занятий). Каждый студент из этого списка получает 3 задачи. Решение двух задач дает возможность участвовать на втором и третьем этапах экзамена.

Этап 2) - ответ на контрольные вопросы (тесты) (их список приведен выше в тестовых заданиях к текущим аттестациям 1 и 2). Все студенты получают одновременно свои варианты контрольных вопросов из приведенного выше списка, и на ответы отводится фиксированное время - 30 мин.

Этап 3) - ответ на экзаменационный билет. Экзаменационный билет содержит один вопрос по лекциям (список экзаменационных вопросов представлен выше). Время, отводимое на ответ, - один час. Ответ должен быть максимально подробным. Окончательную экзаменационную оценку будут определять ответы на контрольные вопросы (тесты) и на билет. Оценка оглашается через 2 часа после окончания экзамена. Каждый студент может ознакомиться с ошибками в своих ответах и ответах других студентов (по желанию).

### **Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания**

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 проявлений 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 все контрольные вопросы (тесты) и вопрос экзаменационного билета.

Хорошо – подробные и безошибочные ответы на контрольные вопросы (тесты) (не менее 75%) и вопрос экзаменационного билета (допускаются мелкие ошибки).

Удовлетворительно – ответы не на все контрольные вопросы (тесты) (ответов должно быть не менее 50%) и не полный ответ на вопрос экзаменационного билета.

Неудовлетворительно – плохое знание материала, неудовлетворительные ответы или их отсутствие на контрольные вопросы (тесты) (их в сумме больше 50%) и отсутствие ответа (или очень неполный ответ) на вопрос экзаменационного билета.