

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЕиС  
И.Ю. Мезин

30.01.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА***

Направление подготовки (специальность)  
28.03.03 Наноматериалы

Направленность (профиль/специализация) программы  
Объемные наноматериалы, наноструктуры и изделия из них

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	2
Семестр	4

Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы (приказ Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 968)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
16.01.2023, протокол № 4

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
30.01.2023 г. протокол № 5

Председатель \_\_\_\_\_ И.Ю. Мезин

Согласовано:  
Зав. кафедрой Технологий обработки материалов

\_\_\_\_\_ А.Б. Моллер

Рабочая программа составлена:  
ст. преподаватель кафедры Физики, \_\_\_\_\_ О.Н. Вострокнутова

Рецензент:  
зав. кафедрой ВТиП, д-р техн. наук \_\_\_\_\_ О.С. Логунова

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины «Квантовая механика» являются ознакомление студентов с основными подходами к описанию наносистем, формирование представлений о квантовомеханических закономерностях, лежащих в основе современной науки, овладение специфическим математическим аппаратом и использование полученных знаний и методов для решения профессиональных задач.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Квантовая механика входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Физика

Математика

Информатика и информационные технологии

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Конструирование наноматериалов

Функциональные наноматериалы

Теория и технология наноструктурных покрытий

Основы деформационного наноструктурирования

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Квантовая механика» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования
ОПК-1.1	Использует естественнонаучные законы и принципы при решении практических задач
ОПК-1.2	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных знаний
ОПК-1.3	Применяет методы математического анализа для решения задач теоретического и прикладного характера

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 58,1 акад. часов;
- аудиторная – 54 акад. часов;
- внеаудиторная – 4,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 50,2 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основные положения и математический аппарат квантовой механики								
1.1 Основные положения квантовой механики	4	4		2/0,4И	2	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 1 по теме "Основные положения квантовой механики. Операторы"	ОПК-1.1
1.2 Операторный формализм квантовой механики		4		2/1И	6	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 1 по теме "Основные положения квантовой механики. Операторы"	ОПК-1.1
Итого по разделу		8		4/1,4И	8			
2. Уравнение Шредингера и частные случаи его решения								
2.1 Прямоугольные ямы и барьеры	4	6		4/1,2И	6	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 2 по теме "Уравнение Шредингера"	ОПК-1.1, ОПК-1.2

2.2	Квантовый гармонический осциллятор		2		2/1И	5,2	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 2 по теме "Уравнение Шредингера"	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу			8		6/2,2И	11,2			
3. Приближенные методы решения квантовомеханических									
3.1	Стационарная и нестационарная теория возмущений	4	4		2/1И	8	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 3 по теме "Движение в центрально-симметричном поле. Теория возмущений"	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу			4		2/1И	8			
4. Движение в центрально-симметричном									
4.1	Квантование момента импульса	4	6		2/1И	8	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 3 по теме "Движение в центрально-симметричном поле. Теория возмущений"	ОПК-1.1, ОПК-1.2
4.2	Движение частицы в кулоновском поле		2		2/1И	6	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 3 по теме "Движение в центрально-симметричном поле. Теория возмущений"	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу			8		4/2И	14			
5. Системы тождественных частиц									
5.1	Спин частицы. Бозоны и фермионы	4	3		1/0,2И	3	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 4 по теме "Системы тождественных частиц. Многоэлектронные атомы и молекулы"	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3

5.2 Атом и периодическая система элементов Менделеева		5	1/0,4И	6	Проработка лекций, изучение теоретического материала, решение индивидуальных задач, подготовка к контрольной работе	Контрольная работа № 4 по теме "Системы тождественных частиц. Многоэлектронные атомы и молекулы"	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3
Итого по разделу		8	2/0,6И	9			
Итого за семестр		36	18/7,2И	50,2		экзамен	
Итого по дисциплине		36	18/7,2 И	50,2		экзамен	

## 5 Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины «Квантовая механика» применяются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

Используются следующие виды лекций:

вводная лекция – в начале курса;

лекция-информация – в этой форме излагается основная часть материала;

обзорная лекция – в заключительной части изучения дисциплины для систематизации знаний, понимания места квантовой механики в научной картине мира и установления связей с другими предметами;

проблемная лекция – используется как элемент в составе лекции, когда перед студентами ставится некоторая проблема и предлагается найти подходы и пути к ее решению.

Все виды лекций проводятся с использованием мультимедийного оборудования.

Лекционный материал закрепляется в ходе практических занятий, на которых разбираются конкретные примеры и решаются задачи.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) Основная литература:

1. Мозолевская, Т.В. Основы квантовой механики и физики атома [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т.В. Мозолевская, Ю.В. Филиппенко ; под ред. проф. В.А. Якимова. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 108 с. – Режим доступа: <https://new.znanium.com/read?id=346851> – ISBN 978-5-16-107648-4

### б) Дополнительная литература:

1. Краснопевцев, Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.А. Краснопевцев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 355 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/read?id=52371> – ISBN 978-5-7782-1464-4.

2. Иродов, И.Е. Квантовая физика. Основные законы [Текст]: учебное пособие / И.Е. Иродов – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 272 с. – ISBN 5-93208-055-8.

### в) Методические указания:

Давыдов, А. П. Курс лекций по квантовой механике. Математический аппарат квантовой механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Давыдов ; МГТУ. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2014 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2015. - Загл. с титул. экрана. - URL:

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1444.pdf&show=dcatalogues/1/1123>

### г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

#### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
-----------------	------------	------------------------



MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа. Оснащение: Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: Интерактивная доска, проектор. Доска, мультимедийный проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: Персональные компьютеры с пакетом MS Office, с выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: Стеллажи для хранения учебно-методической документации, стеллажи и сейфы для хранения учебного оборудования, инструменты для ремонта оборудования.

## Приложение 1

### Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Квантовая механика» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся. Аудиторная самостоятельная работа студентов выполняется на практических занятиях по заданию преподавателя и под его контролем. Она предполагает сдачу коллоквиумов и написание контрольных работ.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся заключается в проработке лекционного материала, разбору задач, подготовке к коллоквиумам и контрольным работам, подготовке к экзамену.

#### *Примерные варианты аудиторных контрольных работ:*

##### *Контрольная работа № 1 «Основные положения квантовой механики. Операторы»*

1	Что означает свойство ортонормированности собственных функций?
2	Как найти собственные функции и собственные значения оператора?
3	Вычислить коммутатор $\left[ e^{iky}, \frac{d}{dx} \right]$ , где $k$ – постоянная величина. Принять во внимание, что $x$ и $y$ независимые переменные.
4	Вычислить коммутатор $[\hat{F}, x]$ , где оператор $\hat{F}$ является оператором сдвига и определяется условием $\hat{F}\Psi(x) = \Psi(x - 2b)$ , $b$ – постоянная, а $\Psi(x)$ – любая волновая функция.
5	Чему равен коммутатор $[\hat{p}, \hat{z}]$ ?

##### *Контрольная работа № 2 «Уравнение Шредингера»*

1	Определите, сколько энергетических уровней существует в одномерной прямоугольной потенциальной яме со стенкой конечной высоты для нейтрона. Ширина ямы $l = 10^{-10}$ м, высота стенки $U_0 = 1$ эВ. Масса нейтрона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.
2	На слабопрозрачный прямоугольный потенциальный барьер высотой $U_0 = 5$ эВ и шириной $l = 2,15 \cdot 10^{-10}$ м налетают два электрона с энергиями $E_1 = 1$ эВ и $E_2 = 4$ эВ. Определить, во сколько раз вероятность прохождения через такой барьер для второго электрона больше, чем для первого.

##### *Контрольная работа № 3 «Движение в центрально-симметричном поле. Теория возмущений»*

1	Чему равны собственные значения оператора проекции момента импульса на ось $Z$ ?
---	--

2	<p>Какие из нижеперечисленных величин можно измерить одновременно?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Проекция импульса и момента импульса на ось Z</li> <li>2) Проекция момента импульса на оси X и Y</li> <li>3) Проекция импульса на ось X и момента импульса на ось Z</li> <li>4) Координату y и проекцию момента импульса на ось X</li> </ol>
3	Вычислить коммутатор $[\hat{L}_y, \hat{y}\hat{p}_x]$ .
4	<p>Квантовая частица локализована в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины <math>l</math>. На нее наложено возмущение вида</p> $V(x) = \begin{cases} V_0, & 0 \leq x \leq l/3 \\ 0, & l/3 \leq x \leq 2l/3 \\ V_0, & 2l/3 \leq x \leq l \end{cases}.$ <p>Определите с учетом первого порядка теории возмущений, для какого уровня сдвиг энергии будет больше, для основного или для первого возбужденного.</p>

**Контрольная работа № 4 «Системы тождественных частиц. Многоэлектронные атомы и молекулы»**

1	Как составить общую волновую функцию для системы бозонов и фермионов?
2	Чему равна энергия возбужденных состояний атома гелия в нулевом и первом приближении теории возмущений?
3	Что такое параводород и ортоводород? В каком случае возможно образование молекулы водорода?

**Перечень теоретических вопросов для проработки лекционного материала и подготовке к коллоквиумам:**

***Основные положения и математический аппарат квантовой механики***

1. В чем заключается принцип суперпозиции в квантовой механике?
2. В чем состоит физический смысл условия нормировки волновой функции?
3. Что означает свойство ортонормированности собственных функций?
4. Как найти собственные функции и собственные значения оператора?
5. Как определить среднее значение физической величины в состоянии с заданной волновой функцией?
6. Из чего вытекает и в чем заключается свойство эрмитовости (самосопряженности) операторов физических величин?
7. Как разложить волновую функцию по собственным функциям физических величин?
8. В каком случае две физические величины не могут одновременно иметь определенные значения?
9. Какие функции являются собственными для операторов импульса и координаты частицы?

### ***Уравнение Шредингера и частные случаи его решения***

1. Квантовая частица в прямоугольной одномерной яме с бесконечно высокими стенками. Собственные волновые функции и собственные значения энергии.
2. Квантовая частица в прямоугольной одномерной яме со стенкой конечной высоты. Уравнение Шредингера в каждой области. Граничные условия. Графическое решение уравнений. Условие появления и количество энергетических уровней.
3. Потенциальный барьер в форме одномерной прямоугольной ступеньки. Коэффициенты отражения и прохождения. Сравнение случаев с энергией выше и ниже высоты барьера. Глубина проникновения частицы под барьер.
4. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер. Коэффициент прозрачности барьера. Анализ случая слабопрозрачного барьера. Туннельный эффект.
5. Квантовый гармонический осциллятор. Квантование энергии и волновые функции одномерного осциллятора. Осцилляционная теорема. Гармонический осциллятор в однородном электрическом поле. Двумерный и трехмерный осциллятор.

### ***Приближенные методы решения квантовомеханических задач***

1. Когда применяется теория возмущений?
2. Каков количественный критерий ее применимости?
3. Чем определяется поправка к энергии в случае невырожденного спектра?
4. Как выглядит поправка первого порядка к волновым функциям состояния?
5. Что такое секулярное уравнение?
6. Рассмотрите случай двукратно вырожденного уровня.

### ***Движение в центрально-симметричном поле***

1. Какие функции являются собственными для оператора проекции момента импульса на ось  $Z$ ?
2. Чему равны собственные значения оператора проекции момента импульса на ось  $Z$ ?
3. Какие функции являются собственными для оператора квадрата момента импульса?
4. Что представляет собой общая волновая функция электрона в атоме водорода?
5. Как квантуется энергия электрона в атоме водорода?
6. Чему равна кратность вырождения энергетических уровней в атоме водорода?
7. В чем заключается физический смысл боровского радиуса атома водорода?

### ***Системы тождественных частиц***

1. Какие опыты доказывают существование спина электрона?
2. Как выглядят нормированные волновые функции для двух электронов с суммарным спином  $s = 0$  и  $s = 1$ .
3. Что такое полный момент импульса электрона? Какие значения принимают квантовые числа, связанные с квантованием полного момента?
4. Как выглядят волновые функции состояния электрона, характеризующегося полным моментом импульса и его проекцией на ось  $Z$ ?
5. Чем обусловлена тонкая структура атомных спектров?
6. К каким изменениям в структуре энергетических уровней атомов приводит учет спин-орбитального взаимодействия?

7. В чем заключается принцип тождественности одинаковых частиц? Чему равны собственные значения оператора перестановки двух тождественных частиц?
8. В каком случае система двух тождественных частиц описывается симметричной, а в каком антисимметричной волновой функцией?
9. Как составить общую волновую функцию для системы бозонов и фермионов?
10. Система каких частиц описывается симметричной волновой функцией? Как выглядит эта функция для двух частиц и для  $N$  частиц?
11. Система каких частиц описывается антисимметричной волновой функцией? Как выглядит эта функция для двух частиц и для  $N$  частиц?
12. Что такое обменное взаимодействие?
13. Запишите оператор Гамильтона для атома гелия. В каких случаях координатная часть волновой функции атома гелия будет симметричной, а в каких антисимметричной?
14. Как выглядит в нулевом приближении волновая функция для основного состояния атома гелия и для его возбужденных состояний?
15. Чему равна энергия основного состояния атома гелия в нулевом и первом приближении теории возмущений?
16. Чему равна энергия возбужденных состояний атома гелия в нулевом и первом приближении теории возмущений?
17. Что такое ортогелий? Что можно сказать про основное и возбужденные состояния ортогелия?
18. Что такое парагелий? Что можно сказать про основное и возбужденные состояния парагелия?
19. В чем заключается вариационный метод вычисления энергии основного состояния атома?
20. Чему равна энергия основного состояния атома гелия, вычисленная вариационным методом? Сравните ее с вычислениями по теории возмущений.
21. Запишите оператор Гамильтона для многоэлектронного атома. Поясните, что означает каждое слагаемое.
22. Что такое самосогласованный потенциал?
23. В чем заключается и когда используется метод Хартри-Фока?
24. В чем заключается и когда используется метод функционала плотности?
25. Как изменяется кратность вырождения энергетического уровня в самосогласованном поле многоэлектронного атома по сравнению с атомом водорода?
26. В чем заключаются механизмы ионной и ковалентной связей при образовании молекул?
27. Запишите оператор Гамильтона для молекулы водорода. Поясните, что означает каждое слагаемое.
28. Как выглядят невозмущенные волновые функции для молекулы водорода с учетом их симметрии или антисимметрии?
29. Что такое параводород и ортоводород? В каком случае возможно образование молекулы водорода?

## Приложение 2

### Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
<b>ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования</b>		
ОПК-1.1	Использует естественнонаучные законы и принципы при решении практических задач	<b>Перечень теоретических вопросов к экзамену:</b>  1. Предпосылки создания квантовой механики. Корпускулярно-волновой дуализм. Физический смысл волн де Бройля. Волновая функция и ее свойства. 2. Принцип неопределенности. Координатное и импульсное представления. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. 3. Среднее значение физической величины. Операторы важнейших физических величин. Действия с операторами. 4. Собственные функции и собственные значения операторов. Коммутатор операторов. Обобщенное соотношение неопределенностей. 5. Уравнение Шредингера. Квантовая частица в прямоугольной одномерной потенциальной яме со стенкой конечной высоты. 6. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер. Туннельный эффект. 7. Квантовый гармонический осциллятор. Квантование энергии и волновые функции линейного гармонического осциллятора. 8. Стационарная теория возмущений. Отсутствие и наличие вырождения 9. Момент импульса квантовой частицы. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса. Правила сложения моментов. 10. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных. Общие свойства движения частицы. 11. Движение в кулоновском поле. Энергетический спектр и собственные функции электрона в атоме водорода. 12. Спин электрона. Оператор спина и спиновые функции. Частица со спином в магнитном поле. 13. Принцип тождественности одинаковых частиц. Бозоны и фермионы. Обменное взаимодействие.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>14. Тонкая структура атомных спектров. Полный момент импульса электрона. Спин-орбитальное взаимодействие.</p> <p>15. Теория атома гелия. Сравнение расчетов по теории возмущения и вариационным методом. Парагелий и ортогелий.</p> <p>16. Самосогласованный потенциал и метод Хартри-Фока. Метод функционала плотности.</p> <p>17. Периодическая система элементов Менделеева. Электронные конфигурации. Правила Хунда.</p> <p>18. Образование молекул. Природа химических сил. Молекула водорода.</p>
ОПК-1.2	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных знаний	<p style="text-align: center;"><b>Примеры практических заданий:</b></p> <p>1. Частица налетает на потенциальный барьер в форме одномерной прямоугольной ступеньки. Энергия частицы в три раза превышает высоту барьера. Определить вероятность, с которой частица отразится от барьера.</p> <p>2. Частица налетает на потенциальный барьер в форме одномерной прямоугольной ступеньки. Энергия частицы в два раза превышает высоту барьера. Определить вероятность, с которой частица пройдет над барьером.</p> <p>3. Линейный гармонический осциллятор находится в основном состоянии. Чему равна вероятность обнаружения частицы вне классически доступной области?</p> <p>4. Квантовый гармонический осциллятор с частотой колебаний <math>\omega</math> находится в первом возбужденном состоянии. Найти среднее значение потенциальной и кинетической энергии осциллятора в этом состоянии.</p> <p>5. Вычислить волновую функцию электрона в атоме водорода в состоянии <math>1S</math>. Нарисовать график распределения радиальной плотности вероятности <math>\omega_{10}(r)</math> и определить наиболее вероятное расстояние электрона от центра атома.</p> <p>6. Вычислить волновую функцию электрона в атоме водорода в состоянии <math>1S</math>. Вычислить среднеквадратичный и средний размеры атома водорода в основном состоянии.</p> <p>7. Вычислить средний размер атома водорода в <math>2s</math>- и <math>2p</math>-состояниях.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ОПК-1.3	Применяет методы математического анализа для решения задач теоретического и прикладного характера	<p style="text-align: center;"><b>Примеры практических заданий:</b></p> <p>1. Для частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины <math>l</math>, найти в первом порядке теории возмущений смещение энергетических уровней под действием возмущения вида</p> $V(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq l/3 \\ V_0, & l/3 \leq x \leq 2l/3. \\ 0, & 2l/3 \leq x \leq l \end{cases}$ <p>2. На частицу в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины <math>l</math> наложено возмущение вида</p> $V(x) = V_0 \cos \frac{2\pi x}{l}.$ <p>Рассчитать изменение энергетических уровней частицы в первом порядке теории возмущений.</p> <p>3. Найти расщепление энергии для уровня атома водорода с главным квантовым числом <math>n = 2</math>, помещенное в электрическое поле, направленное по оси <math>Z</math> (эффект Штарка для атома водорода).</p> <p>4. Вычислить коммутатор <math>[\hat{r}, \hat{H}]</math>.</p> <p>5. Оценить величину тонкого расщепления <math>2P</math>-уровня атома водорода.</p> <p>6. Используя явный вид волновых функций для двух низших энергетических состояний одномерного квантового гармонического осциллятора, доказать их ортонормированность.</p> $\Psi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{x_0\sqrt{\pi}}} e^{-\frac{x^2}{2x_0^2}}$ $\Psi_1(x) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{x_0\sqrt{\pi}}} \frac{x}{x_0} e^{-\frac{x^2}{2x_0^2}}$ <p>7. Используя явный вид волновых функций для атома водорода <math>\Psi_{100}</math> и <math>\Psi_{200}</math>, доказать их ортонормированность.</p> $\Psi_{100}(\vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{\pi} r_0^{3/2}} e^{-\frac{r}{r_0}}$ $\Psi_{200}(\vec{r}) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi} r_0^{3/2}} e^{-\frac{r}{2r_0}} \left(1 - \frac{r}{2r_0}\right)$ <p>8. Используя явный вид волновых функций для атома водорода <math>\Psi_{210}</math> и <math>\Psi_{21\pm 1}</math>, доказать их ортонормированность.</p> $\Psi_{210}(\vec{r}) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi} r_0^{3/2}} \cdot \frac{r}{r_0} e^{-\frac{r}{2r_0}} \cos \theta$ $\Psi_{21\pm 1}(\vec{r}) = \mp \frac{1}{8\sqrt{\pi} r_0^{3/2}} \cdot \frac{r}{r_0} e^{-\frac{r}{2r_0}} \sin \theta e^{\pm i\varphi}$



#### **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Согласно учебному плану видом промежуточной аттестации по дисциплине «Квантовая механика» является экзамен. Экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание (задачу).

Теоретические вопросы позволяют оценить уровень усвоения обучающимися знаний, а практические задания выявляют степень сформированности умений и владений.

#### ***Показатели и критерии оценивания экзамена:***

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при выполнении практических заданий, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.