



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
04.03.2021 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

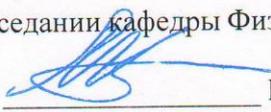
Форма обучения
очная

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

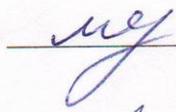
Магнитогорск
2021 год

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
18.02.2021, протокол № 5

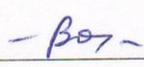
Зав. кафедрой  М.Б. Аркулис

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС
04.03.2021 г. протокол № 7

Председатель  И.Ю. Мезин

Согласовано:
Зав. кафедрой Технологий обработки материалов

 А.Б. Моллер

Рабочая программа составлена:
ст. преподаватель кафедры Физики,  О.Н. ВострокнUTOва

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

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Б. Аркулис

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ М.Б. Аркулис

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

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:

Химия

Физика

Математика

Информатика и информационные технологии

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

Физикохимия наноструктур и наноматериалов

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;

- подготовка к экзамену – 35,7 акад. часа

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. Движение в центрально-симметричном									
3.1	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
3.2	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			
4. Приближенные методы решения квантовомеханических									
4.1	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			
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 Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional (для классов)	Д-757-17 от 27.06.2017	27.07.2018
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»	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

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	Какие из нижеперечисленных величин можно измерить одновременно? 1) Проекция импульса и момента импульса на ось Z 2) Проекция момента импульса на оси X и Y 3) Проекция импульса на ось X и момента импульса на ось Z 4) Координату y и проекцию момента импульса на ось X

3	Вычислить коммутатор $[\hat{L}_y, \hat{y}\hat{p}_x]$.
4	<p>Квантовая частица локализована в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины l. 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.

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?

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.

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
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования		
ОПК-1.1	Использует естественнонаучные законы и принципы при решении практических задач	Перечень теоретических вопросов к экзамену: 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. Момент импульса квантовой частицы. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса. Правила сложения моментов. 9. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных. Общие свойства движения частицы. 10. Движение в кулоновском поле. Энергетический спектр и собственные функции электрона в атоме водорода. 11. Спин электрона. Оператор спина и спиновые функции. Частица со спином в магнитном поле. 12. Принцип тождественности одинаковых частиц. Бозоны и фермионы. Обменное взаимодействие.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>13. Стационарная теория возмущений. Отсутствие и наличие вырождения.</p> <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>Примеры практических заданий:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. 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. 3. Линейный гармонический осциллятор находится в основном состоянии. Чему равна вероятность обнаружения частицы вне классически доступной области? 4. Квантовый гармонический осциллятор с частотой колебаний ω находится в первом возбужденном состоянии. Найти среднее значение потенциальной и кинетической энергии осциллятора в этом состоянии. 5. Вычислить волновую функцию электрона в атоме водорода в состоянии $1S$. Нарисовать график распределения радиальной плотности вероятности $\omega_{10}(r)$ и определить наиболее вероятное расстояние электрона от центра атома. 6. Вычислить волновую функцию электрона в атоме водорода в состоянии $1S$. Вычислить среднеквадратичный и средний размеры атома водорода в основном состоянии. 7. Вычислить средний размер атома водорода в $2s$- и $2p$-состояниях.
ОПК-1.3	Применяет методы математического анализа для решения задач теоретического и	<p>Примеры практических заданий:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Для частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины l, найти в

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
	прикладного характера	<p>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 l 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 $n = 2$, помещенное в электрическое поле, направленное по оси Z (эффект Штарка для атома водорода).</p> <p>4. Вычислить коммутатор $[\hat{r}, \hat{H}]$.</p> <p>5. Оценить величину тонкого расщепления $2P$-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 Ψ_{100} и Ψ_{200}, 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 Ψ_{210} и $\Psi_{21\pm 1}$, доказать их ортонормированность.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		$\Psi_{210}(\vec{r}) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}r_0^{3/2}} \cdot \frac{r}{r_0} e^{-\frac{r}{2r_0}} \cos \theta$ $\Psi_{21\pm 1}(\vec{r}) = \mp \frac{1}{8\sqrt{\pi}r_0^{3/2}} \cdot \frac{r}{r_0} e^{-\frac{r}{2r_0}} \sin \theta e^{\pm i\varphi}$

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.