

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП

_____ Тишкова С.А.

«06» июня 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой физики

_____ С.А. Тишкова

«06» июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая теория

Составитель(-и)

**Фисенко М.А., доцент, кандидат
педагогических наук, доцент**

Направление подготовки /
специальность

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП

Инженерная физика

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год приема

2022

Курс

3-4

Семестры

6-7

Астрахань– 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

1.1. **Целями освоения** дисциплины «Квантовая теория» являются: овладение основными понятиями квантовой (волновой) теории; формирование представлений о её методах и взаимосвязях с классической механикой.

1.2. **Задачи освоения** дисциплины:

- изучение физических явлений микромира, методов теоретического исследования микросистем
- приобретение знаний, необходимых для изучения физики конденсированного состояния и статистической механики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ» В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Квантовая теория» относится к обязательной части модуля «Теоретическая физика» Б1.Б.13.03. Изучается в 6 и 7 семестрах.

2.2. Для изучения дисциплины необходимы знания, умения и навыки, полученные обучающимися в средней общеобразовательной школе, а также при изучении модулей «Математика», «Общая физика» и курсов «Теоретическая механика» и «Электродинамика» в вузе.

Знания: знать терминологию и основные законы физики.

Умения: умение использовать законы физики и математический аппарат для решения физических задач.

Навыки: иметь вычислительные навыки, навыки построения и математического расчета физических моделей.

Для успешного изучения дисциплины студенты должны владеть культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации; уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь, способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: физика конденсированного состояния вещества; статистическая физика.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

общепрофессиональных (ОПК):

ОПК-1: способен применять базовые знания в области физикоматематических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;

профессиональных (ПК):

ПК-5: способность применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин.

Таблица 1.
Декомпозиция результатов обучения

Код компетенции	Планируемые результаты освоения дисциплины		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)

ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ИОПК-3.1.1: основные понятия, методы и уравнения квантовой (волновой) механики и вытекающие из этих уравнений основные закономерности поведения микрочастиц.	ИОПК-3.2.1: составлять и решать уравнение Шрёдингера для типовых задач квантовой механики, строить функции распределения; ИОПК-3.2.2: рассчитывать средние значения физических величин, находить вероятности обнаружения частиц в некоторой области пространства, ИОПК-3.2.3: находить вероятности различных результатов измерения физической величины в заданном состоянии, ИОПК-3.2.4: применять методы теории возмущений для расчёта поправок к энергии и волновым функциям состояний.	ИОПК-3.3.1: навыками работы с операторами и волновыми функциями, представлениями о двойственной (корпускулярно-волновой) природе частиц, представлениями о современных направлениях развития квантовой теории и её практических приложениях.
ПК-5: способность применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин.	ИПК-5.1.1: знать фундаментальные понятия, законы квантовой теории	ИПК-5.2.1: уметь применять знания и умения, полученные при изучении квантовой теории, при решении задач	ПК-5.3 владеть фундаментальными понятиями и законами квантовой теории

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

Объём дисциплины составляет 5 зачётных единиц (2 з.е. в 6 семестре, 3 з.е. в 7 семестре), в том числе 73 часа, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 30 часов – лекции, 43 часа – практические, семинарские занятия) и 107 часов – на самостоятельную работу обучающихся.

Таблица 2.

Структура и содержание дисциплины «квантовая теория»

№ п/ п	Наименование раздела (темы)	Семестр	Контактная работа (в часах)			Самостоят. работа		Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
			Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
1	Особенности поведения микрообъектов	6	2	2			8	коллоквиум
2	Состояния и наблюдаемые	6	3	3			8	контрольная работа
3	Изменение состояний с течением времени	6	3	3			9	коллоквиум
4	Одномерное движение частицы	6	3	3			10	коллоквиум
5	Движение в сферически симметричном поле. Орбитальный момент	6	3	3			9	контрольная работа
6	Теория представлений. Матричная форма квантовой механики	6	3	3			10	контрольная работа
Итого в 6 семестре			17	17			54	ЗАЧЕТ
7	Спин электрона. Моменты импульса.	7	3	6			9	контрольная работа
8	Приближенные методы решения стационарных задач	7	2	4			9	коллоквиум
9	Релятивистская квантовая механика	7	2	4			9	коллоквиум
10	Системы тождественных частиц. Атомы	7	2	4			9	контрольная работа
11	Молекулы и химическая связь	7	2	4			9	коллоквиум
12	Квантовые переходы. Квантовая теория излучения	7	2	4			8	контрольная работа, коллоквиум
Итого в 7 семестре			13	26			53	ЭКЗАМЕН
ИТОГО			30	43			107	

Примечание: Л – лекция; ПЗ – практическое занятие, семинар; ЛР – лабораторная работа; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа.

Таблица 3.

Матрица соотнесения тем/разделов учебной дисциплины
и формируемых в них компетенций

Темы, разделы дисциплины	Кол- во часов	Компетенции				
		ОПК-1	ПК-5	3	4	общее количес

						ТВО компете ний
6 семестр						
<i>Особенности поведения микрообъектов</i>	12	+	+			2
<i>Состояния и наблюдаемые</i>	14	+	+			2
<i>Изменение состояний с течением времени</i>	15	+	+			2
<i>Одномерное движение частицы</i>	16	+	+			2
<i>Движение в сферически симметричном поле. Орбитальный момент</i>	15	+	+			2
<i>Теория представлений. Матричная форма квантовой механики</i>	16	+	+			2
7 семестр						
<i>Спин электрона. Моменты импульса.</i>	18	+	+			2
<i>Приближенные методы решения стационарных задач</i>	15	+	+			2
<i>Релятивистская квантовая механика</i>	15	+	+			2
<i>Системы тождественных частиц. Атомы</i>	15	+	+			2
<i>Молекулы и химическая связь</i>	15	+	+			2
<i>Квантовые переходы. Квантовая теория излучения</i>	15	+	+			2
Итого	180					2

Краткое содержание каждого раздела

6 семестр

Раздел 1. Особенности поведения микрообъектов

1. Принцип квантования. Основные опытные факты.
2. Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип неопределенностей. Вероятностный характер поведения микрочастиц.

Раздел 2. Состояния и наблюдаемые

3. Описание чистых состояний. Вектор состояния и волновая функция. Принцип суперпозиции.
4. Описание наблюдаемых эрмитовыми операторами. Собственные функции и собственные значения операторов.
5. Средние значения наблюдаемых. Вероятности возможных значений наблюдаемых.
6. Операторы важнейших физических величин. Коммутаторы.
7. Условия совместной измеримости наблюдаемых. Полный набор наблюдаемых.
8. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Раздел 3. Изменение состояний с течением времени

9. Принцип причинности в квантовой механике. Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности.
10. Изменение во времени средних значений наблюдаемых. Шредингеровская и гейзенберговская картины изменения состояний. Уравнения движения в форме Гейзенберга. Скобки Пуассона.
11. Теоремы Эренфеста. Предельный переход к классической механике.

12. Унитарные преобразования. Преобразования симметрии.
13. Законы сохранения и их связь со свойствами симметрии пространства-времени.
14. Преобразование инверсии. Пространственная четность.
15. Стационарное уравнение Шредингера. Свойства стационарных состояний.

Раздел 4. Одномерное движение частицы

16. Свободное движение частицы. Задача о частице в прямоугольной потенциальной яме.
17. Прохождение частицы через потенциальный барьер, туннельный эффект. Квазиклассическое приближение.
18. Линейный гармонический осциллятор.
19. Операторы рождения и уничтожения кванта для гармонического осциллятора. Когерентные состояния осциллятора.

Раздел 5. Движение в сферически симметричном поле. Орбитальный момент

20. Собственные функции и собственные значения операторов орбитального момента.
21. Общие свойства движения частицы в сферически симметричном поле. Радиальное уравнение Шредингера.
22. Движение в сферически симметричной прямоугольной потенциальной яме. Сферический гармонический осциллятор.
23. Движение в кулоновском поле. Энергетический спектр атома водорода.
24. Волновые функции водородоподобного атома, квантовые числа. Вырождение уровней. Ридберговские состояния атомов.

Раздел 6. Теория представлений. Матричная форма квантовой механики

25. Различные представления вектора состояния. Импульсное представление. Энергетическое представление.
26. Матричная формулировка квантовой механики. Представление операторов матрицами. Обозначения Дирака.
27. Описание смешанных состояний. Статистический оператор или матрица плотности. Среднее значение наблюдаемой в смешанном состоянии.
28. Уравнение фон Неймана для описания эволюции статистического оператора (матрицы плотности).

7 семестр

Раздел 7. Спин электрона. Моменты импульса.

29. Спин электрона. Операторы спина. Волновая функция электрона с учетом спина.
30. Орбитальный и спиновый магнитные моменты. Полный момент импульса электрона. Полный набор наблюдаемых электрона в атоме.
31. Векторное сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордана.

Раздел 8. Приближенные методы решения стационарных задач

32. Теория возмущений для стационарного уравнения Шредингера в отсутствие вырождения.
33. Теория возмущений при наличии вырождения. Теория возмущений для матрицы плотности.
34. Вариационный принцип. Масштабные преобразования и теорема вириала.
35. Метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна.

Раздел 9. Релятивистская квантовая механика

36. Уравнение Клейна-Гордона для частицы с нулевым спином.
37. Релятивистское уравнение Дирака.
38. Атом водорода с учетом релятивистских поправок. Тонкое расщепление уровней.

Раздел 10. Системы тождественных частиц. Атомы

39. Принцип тождественности частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
40. Атом гелия. Мультиплетность состояний.
41. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Периодическая система элементов.
42. Расщепление атомных уровней в магнитном поле (эффект Зеемана).
43. Расщепление атомных уровней в однородном электрическом поле (эффект Штарка).

Раздел 11. Молекулы и химическая связь

44. Адиабатическое приближение.
45. Молекула водорода. Химическая связь.
46. Силы Ван-дер-Ваальса.

Раздел 12. Квантовые переходы. Квантовая теория излучения

47. Переходы между стационарными состояниями под влиянием возмущения. Нестационарная теория возмущений. Вероятности переходов в единицу времени.
48. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным излучением. Электродипольные излучательные переходы. Вероятность поглощения света.
49. Вероятности спонтанных излучательных переходов. Коэффициенты Эйнштейна.
50. Мультипольное излучение. Правила отбора. Время жизни возбужденных состояний и ширина энергетических уровней.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине.

Студенты получают на электронный адрес группы:

1. Конспекты лекций в электронном виде;
2. Задачи для решения по данному курсу;
3. Вспомогательные материалы: таблицы физических величин; некоторые необходимые математические формулы.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Таблица 4.

Содержание самостоятельной работы обучающихся

Номер раздела (темы)	Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Формы работы
1.	<i>Особенности поведения микрообъектов</i>	8	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
2.	<i>Состояния и наблюдаемые</i>	8	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
3.	<i>Изменение состояний с течением времени</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
4.	<i>Одномерное движение частицы</i>	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
5.	<i>Движение в сферически симметричном поле. Орбитальный момент</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
6.	<i>Теория представлений. Матричная форма квантовой механики</i>	10	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
7.	<i>Спин электрона. Моменты импульса.</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
8.	<i>Приближенные методы решения</i>	9	Выполнение домашнего

	<i>стационарных задач</i>		задания, подготовка к контрольной работе
9.	<i>Релятивистская квантовая механика</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
10.	<i>Системы тождественных частиц. Атомы</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
11.	<i>Молекулы и химическая связь</i>	9	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе
12.	<i>Квантовые переходы. Квантовая теория излучения</i>	8	Выполнение домашнего задания, подготовка к контрольной работе

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно.

По данной дисциплине письменных работ не предусмотрено.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии:

Таблица 5. Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел дисциплины	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
<i>Особенности поведения микрообъектов</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Состояния и наблюдаемые</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Изменение состояний с течением времени</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Одномерное движение частицы</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Движение в сферически симметричном поле. Орбитальный момент</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Теория представлений. Матричная форма квантовой механики</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Спин электрона. Моменты импульса.</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Приближенные методы решения стационарных задач</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Релятивистская квантовая</i>	Лекция-диалог	Фронтальный	Не

<i>механика</i>		опрос, решение задач	предусмотрено
<i>Системы тождественных частиц. Атомы</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Молекулы и химическая связь</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено
<i>Квантовые переходы. Квантовая теория излучения</i>	Лекция-диалог	Фронтальный опрос, решение задач	Не предусмотрено

6.2. Информационные технологии:

-использование электронной почты в учебном процессе (рассылка заданий, предоставление выполненных работ, ответы на вопросы).

- использование электронного образовательного ресурса на платформе LMS Moodle.

- студенты получают на электронный адрес группы: конспекты лекций; задачи для самостоятельного решения; таблицы физических постоянных и математических формул.

6.3. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем». <https://library.asu.edu.ru>

2. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>

3. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО "ИВИС". <http://dlib.eastview.com>. Имя пользователя: AstrGU. Пароль: AstrGU

4. Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) - сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг, сборников, журналов, содержащихся в фондах их библиотек. <http://mars.arbicon.ru>

5. Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов www.polpred.com.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Паспорт фонда оценочных средств.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Квантовая теория» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения данной дисциплины – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6.

Соответствие изучаемых разделов, результатов обучения и оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции (компетенций)	Наименование оценочного средства
1	Разделы 1 – 3	ОПК-1, ПК-5	Контр.раб. № 1, коллоквиум
2	Разделы 4 – 6	ОПК-1, ПК-5	Контр.раб. № 2, коллоквиум.
3	Разделы 7 – 12	ОПК-1, ПК-5	Контр.раб. № 3.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

Таблица 7.

Критерии оценивания результатов обучения

5 «отлично»	-демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять; - последовательное, правильное выполнение всех задач; -умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
4 «хорошо»	-демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять; - последовательное, правильное выполнение всех задач; -возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя.
3 «удовлетворительно»	-неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя; -выполнение заданий при подсказке преподавателя; - затруднения в формулировке выводов.
2 «неудовлетворительно»	-отсутствие теоретического обоснования выполнения заданий. - неумение решать задачи.

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине.

Вопросы к коллоквиуму

1. Принцип квантования. Опыты, подтверждающие принцип квантования.

2. Корпускулярно-волновой дуализм. Опыты, подтверждающие корпускулярные свойства электромагнитных волн, и опыты, подтверждающие гипотезу де Бройля.
3. Принцип неопределенностей.
4. Постулат об описании состояний волновыми функциями. Свойства волновых функций. Статистическая трактовка.
5. Принцип суперпозиции. Линейность уравнений квантовой механики.
6. Наблюдаемые. Описание наблюдаемых эрмитовыми операторами.
7. Операторы. Основные определения. Примеры операторов.
8. Теорема о собственных значениях эрмитова оператора.
9. Теорема об ортогональности собственных функций эрмитовых операторов.
10. Условие полноты системы собственных функций эрмитова оператора. Разложение произвольной функции по полной ортонормированной системе.
11. Вероятность случайного события. Сложение и умножение вероятностей.
12. Распределение случайной величины. Математическое ожидание и дисперсия. Среднее квадратическое отклонение.
13. Постулат о среднем значении наблюдаемой. Вероятности возможных значений.
14. Операторы важнейших физических величин. Коммутаторы.
15. Соотношение неопределенностей для двух не коммутирующих эрмитовых операторов.
16. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса.
17. Соотношение неопределенностей для энергии и времени.
18. Теорема о совместной измеримости наблюдаемых. Полный набор наблюдаемых.
19. Принцип причинности и его реализация в квантовой механике. Уравнение Шредингера.
20. Плотность потока вероятности частиц.
21. Изменение во времени средних значений наблюдаемых. Интегралы движения.
22. Теоремы Эренфеста. Предельный переход от квантовой механики к классической.
23. Унитарные операторы конечных сдвигов и их свойства.
24. Закон сохранения энергии и связь с однородностью времени.
25. Связь закона сохранения импульса с однородностью пространства.
26. Связь закона сохранения момента импульса с изотропностью пространства.
27. Оператор инверсии пространства, его собственные значения и собственные функции. Пространственная четность.
28. Стационарное уравнение Шредингера. Свойства стационарных состояний.

Примеры вариантов контрольной работы № 1

Вариант 1

1. Какова длина волны де Бройля для электрона с энергией $E = 1,022$ МэВ? Энергия покоя электрона $E_0 = 0,511$ МэВ.
2. Выполнить действия, записать результат в алгебраической форме

$$\left(\frac{26 - 7i}{5 + 2i} + e^{-i\frac{\pi}{2}} \right)^2.$$

3. Учитывая соотношение $\left[x, \frac{d}{dx} \right] = -1$, найдите коммутатор $\left[\left(x - 2i \frac{d}{dx} \right), \left(x + i \frac{d}{dx} \right) \right] =$

Вариант 2

1. Найдите энергию электрона с длиной волны $\lambda = 7,01 \cdot 10^{-13}$ м, если его энергия покоя равна $E_0 = 0,511$ МэВ.
2. Выполнить действия, записать результат в алгебраической форме

$$\left(\frac{5-i}{3+2i} + e^{i\pi}\right)^2.$$

3. Учитывая соотношение $\left[x, \frac{d}{dx}\right] = -1$, найдите коммутатор $\left[\left(2x + i \frac{d}{dx}\right), \left(x - i \frac{d}{dx}\right)\right] =$

Вариант 3

1. Найдите длину волны де Бройля для пучка протонов с кинетической энергией, равной энергии покоя: $E_K = E_0 = 938,3$ МэВ.
2. Выполнить действия, записать результат в алгебраической форме

$$\left(2i - \sqrt{2} \cdot e^{i\frac{\pi}{4}}\right) + 3e^{-i\pi}.$$

3. Учитывая соотношение $\left[x, \frac{d}{dx}\right] = -1$, найдите коммутатор $\left[\left(ix - i \frac{d}{dx}\right), \left(2ix + \frac{d}{dx}\right)\right] =$

Примеры вариантов контрольной работы № 2

Вариант 1

1. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < L$) находится частица в состоянии $\Psi(x) = A \cdot x(L - x)$. Найдите нормировочный коэффициент A и средний квадрат импульса частицы $\langle p_x^2 \rangle$, если ее масса равна m .
2. Гармонический осциллятор массой m находится в стационарном состоянии, описываемом функцией $\Psi(x) = A \cdot \exp[-(ax)^2/2]$. Считая постоянную a известной, найдите нормировочный коэффициент A и круговую частоту ω .
3. Найдите наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в водородоподобном ионе гелия He^+ , который находится в основном состоянии $1s$.

Вариант 2

1. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < L$) находится частица в состоянии $\Psi(x) = A \cdot x(L - x)$. Найдите нормировочный коэффициент A и вероятность пребывания частицы в интервале координат $L/4 < x < L/2$.
2. Осциллятор находится в стационарном состоянии $\Psi(x) = A \cdot x \cdot \exp[-(ax)^2/2]$. Считая постоянную a известной, найдите координаты точек, в которых вероятность пребывания частицы имеет максимум.
3. Найдите наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в водородоподобном ионе гелия He^+ , который находится в состоянии $2p$.

Вариант 3

1. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < L$) находится частица в состоянии $\Psi(x) = A \cdot x(L - x)$. Найдите нормировочный коэффициент A и среднее значение ее энергии, если масса частицы равна m .
2. Гармонический осциллятор находится в стационарном состоянии, описываемом функцией $\Psi(x) = A \cdot \exp[-(ax)^2/2]$. Считая постоянную a известной, найдите нормировочный коэффициент A и среднее значение квадрата координаты $\langle x^2 \rangle$.
3. Найдите среднее расстояние электрона от ядра в водородоподобном ионе гелия He^+ , который находится в основном состоянии $1s$.

Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
-------	-------------	----------------------	------------------	------------------------------

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физикоматематических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности				
1.	Задания закрытого типа	Плотности веществ в конденсированном состоянии имеют величину порядка 1) 10^5 кг/м ³ ; 2) 10^2 г/м ³ ; 3) 10 г/см ³ ; 4) 1 г/см ³ .	4	1
2.		Энергия связи ядра атома кислорода $^{16}_8\text{O}$ равна 1) 8,625 МэВ; 2) 812,5 МэВ; 3) 12,58 МэВ; 4) 128,5 МэВ.	4	5
3.		Критическая плотность материи во Вселенной выражается формулой 1) $\frac{h^2}{8m} \left(\frac{3n}{\pi} \right)^{2/3}$ 2) $\frac{2GM}{c^2}$ 3) $\frac{3H^2}{8\pi G}$ 4) $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c}$	3	1
4.		Энергия ионизации атома водорода равна 1) 3 Дж 2) 13.56 эВ 3) 13.56 МэВ 4) 30 Дж	2	1
5.		Энергия покоя электрона равна 1) 938.27 МэВ 2) 13.56 эВ 3) 0.51 МэВ 4) 939.56 МэВ	3	1
6.	Задание открытого типа	Каким взаимодействием обусловлен процесс $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$?	Слабым	1
7.		Температура реликтового излучения $T = 2,74$ К. Вычислите среднюю энергию фотона этого излучения. Ответ дайте в электронвольтах	$6,4 \cdot 10^{-4}$ эВ	7

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
8.		Вычислите энергию ионизации атома водорода. Ответ дайте в джоулях	$21.76 \cdot 10^{-19}$ Дж	8-10
9.		Дайте определение реального кристалла	Реальный кристалл – это кристалл, в котором имеется ряд дефектов	3-5
10.		Продолжите фразу: дальний порядок в расположении периодически повторяющихся структур, образованных атомами, характерен для ...	кристаллов	1
ПК-5: способность применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин				
1.	Задания закрытого типа	Масса электрона равна 1) $1.672 \cdot 10^{-4}$ кг 2) $9.109 \cdot 10^{-31}$ кг 3) $1.672 \cdot 10^{-27}$ кг	2	1
2.		Масса нейтрона равна 1) $1.672 \cdot 10^{-4}$ кг 2) $9.109 \cdot 10^{-31}$ кг 3) $1.674 \cdot 10^{-27}$ кг	3	1
3.		Постоянная Планка с чертой равна 1) $9.109 \cdot 10^{-31}$ Дж·с 2) $8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м 3) $1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с	3	1
4.		Энергия кванта определяется формулой 1) $\varepsilon = \hbar\omega$ 2) $\vec{p} = \hbar\vec{k}$ 3) $\varepsilon = h\omega$	1	1
5/		Энергия покоя нуклона это величина порядка 1) 0.51 Мэв 2) 938 МэВ 3) 13.56 Мэв	2	1
6.	Задания открытого типа	Вычислите энергию покоя протона с точностью до сотых.	938.27 МэВ	10
7.		Запишите формулу для вычисления энергии покоя электрона	$E_0 = m_{0e} \cdot c^2$	5-7
8.		Как называется безразмерная константа электро-магнитного взаимодействия	Постоянная тонкой структуры	5

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
9.		Запишите формулу для нахождения численного значения постоянной тонкой структуры	$\alpha = e^2/(4\pi\epsilon_0\hbar c)$	5
10.		Координату и соответствующую проекцию импульса частицы невозможно одновременно определить с большей точностью, чем это допускается соотношением неопределенностей. Запишите это соотношение	$\Delta x \Delta p_x \gtrsim \hbar$	5

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Устные ответы на теоретический вопрос коллоквиума, контрольные работы, активность на занятиях оцениваются по сто бальной шкале.

При реализации дисциплины в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

8.1. Основная литература:

1. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики.– М.: Изд-во МГУ, 1982.
2. Давыдов А.С. Квантовая механика.– М.: Физматгиз, 1976.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики.– М.: Наука, 1976.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория (серия «Теоретическая физика», т. 3).– М.: Наука, 1974.
5. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика (с задачами).– М.: Наука, 1976.
6. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. Квантовая механика.– М.: Просвещение, 1991.
7. Сборник задач по теоретической физике. Авт.: Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич, А.М. Федорченко. – М.: Высшая школа, 1972.
8. Серова Ф.Г., Янкина А.А. Сборник задач по теоретической физике: Квантовая механика, статистическая физика.– М.: Просвещение, 1979.
9. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике.– М.: Высшая школа, 1991.
10. Джалмухамбетов А.У. Конспекты лекций по квантовой механике (электр.). – 2022.
11. Джалмухамбетов А.У. Задачи по квантовой механике (электр.). – 2022.

8.2. Дополнительная литература

12. Мессиа А. Квантовая механика.– М.: Наука, 1978.– Тт. I, II.
13. Ферми Э. Квантовая механика (конспект лекций).– М.: Мир, 1968.
14. Дирак П. Принципы квантовой механики.– М.: Наука, 1979.
15. Гольдман И.И., Кривченков В.Д. Сборник задач по квантовой механике.– М.: ГИТТЛ, 1957.

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины

16. https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая_механика.
17. https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение_Шрёдингера.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

Для проведения занятий по данной дисциплине необходима аудитория, в которой имеется мультимедийная установка с компьютером, лекционная доска, мел или маркер.

Рабочая программа дисциплины при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).