

|  |  |        |
|--|--|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Гаскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор | МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное<br>учреждение высшего образования<br>«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») |        |
| Дата подписания: 07.04.2026 15:19:36<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a878808322525                 | Рабочая программа дисциплины "Квантовая теория" по направлению подготовки (специальности) 03.03.02<br>"Физика" направленности (профилю) Физика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»                  | стр. 1 |

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)\***

Квантовая теория

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

Физика

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2026

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2026 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Квантовая теория» состоит в обучении основам квантовой теории.

Основные задачи дисциплины:

- изучение основ квантовой теории, основных понятий, законов и моделей квантовой теории;

- изучение математического аппарата квантовой теории;

- получение навыков решения задач, связанных с квантовыми системами.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в области физико-математических и (или) естественных наук;

ОПК-1.2. Демонстрирует умение решать задачи, формулируемые в рамках физико-математических и (или) естественных наук;

ОПК-1.3. Имеет навыки использования основных понятий, законов физико-математических и (или) естественных наук для решения задач профессиональной деятельности.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.О.25

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Теоретическая механика

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

Дифференциальные уравнения

Электродинамика

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Физика фундаментальных взаимодействий

Физическая кинетика

Физика конденсированного состояния

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;**

#### Знать:

Для достижения ОПК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и модели квантовой теории

#### Уметь:

Для достижения ОПК-1.2: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Квантовая теория", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями квантовой теории

#### Владеть:

Для достижения ОПК-1.3: физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики "Квантовая теория"; навыком решения конкретных физических задач

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### 3.1 Знать:

3.1.1 теоретические основы, основные понятия, законы и модели квантовой теории

3.1.2

#### 3.2 Уметь:



3.2.1 понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Квантовая теория", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями квантовой теории

**3.3 Владеть:**

3.3.1 физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики "Квантовая теория"

**4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|   |   |
|---|---|
| <b>Общая трудоемкость</b>   | <b>7 ЗЕТ</b>                                    |
| Часов по учебному плану : 252<br>в том числе :<br>аудиторные занятия : 138<br>самостоятельная работа : 35,4<br>часов на контроль : 72<br>контактная работа: 144,6<br>ИКР: 6,6 | Виды контроля в семестрах:<br><br>экзамены 6, 7 |

**5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/  | Семестр / Курс | Часов | Литература   |
|-------------|--|----------------|-------|--|
|             | <b>Раздел 1. Введение</b>  |                |       |  |
| 1.1         | Область применения квантовой теории. Переход от квантовой к классической механике. Объекты, которые изучает квантовая теория. Их характеристики. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Дифракция электронов. Гипотеза де Бройля. Волновой пакет. Дуализм: волна – частица. /Лек/  | 6              | 4     | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.2         | Область применения квантовой теории. Переход от квантовой к классической механике. Объекты, которые изучает квантовая теория. Их характеристики. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Дифракция электронов. Гипотеза де Бройля. Волновой пакет. Дуализм: волна – частица. /Ср/   | 6              | 1     | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
|             | <b>Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории</b>   |                |       |  |
| 2.1         | Принцип неопределенности. Периодические граничные условия для свободной частицы. Построение операторов физических величин. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции. Коммутационные соотношения для операторов физических величин. Свойства операторов физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин. Операторы координаты, импульса, энергии. /Лек/ | 6              | 8     | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.2         | Принцип неопределенности. Периодические граничные условия для свободной частицы. Построение операторов физических величин. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции. Коммутационные соотношения для операторов физических величин. Свойства операторов физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин. Операторы координаты, импульса, энергии. /Пр/  | 6              | 6     | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.3         | Принцип неопределенности. Периодические граничные условия для свободной частицы. Построение операторов физических величин. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции. Коммутационные соотношения для операторов физических величин. Свойства операторов физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин. Операторы координаты, импульса, энергии. /Ср/  | 6              | 3     | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
|             | <b>Раздел 3. Простейшие задачи квантовой теории</b>  |                |       |  |



|  |  |   |     |  |
|--|--|---|-----|--|
| 3.1  | Уравнение Шредингера, зависящее от времени. Стационарное уравнение Шредингера. Частица в пространстве, свободном от сил. Частица в яме с бесконечно высокими стенками. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр. Прямоугольный потенциальный барьер (туннелирование). Одномерный гармонический осциллятор. Условия одновременной измеримости физических величин. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах. Квазиклассическое движение. /Лек/ | 6 | 12  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 3.2  | Уравнение Шредингера, зависящее от времени. Стационарное уравнение Шредингера. Частица в пространстве, свободном от сил. Частица в яме с бесконечно высокими стенками. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр. Прямоугольный потенциальный барьер (туннелирование). Одномерный гармонический осциллятор. Условия одновременной измеримости физических величин. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах. Квазиклассическое движение. /Пр/  | 6 | 10  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 3.3  | Уравнение Шредингера, зависящее от времени. Стационарное уравнение Шредингера. Частица в пространстве, свободном от сил. Частица в яме с бесконечно высокими стенками. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр. Прямоугольный потенциальный барьер (туннелирование). Одномерный гармонический осциллятор. Условия одновременной измеримости физических величин. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах. Квазиклассическое движение. /Ср/  | 6 | 3   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 4. Движение частицы в поле центральных сил</b> |  |   |     |  |
| 4.1  | Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных. Разделение переменных в сферических координатах. Зависимость волновых функций от углов. Радиальное уравнение. Асимптотика радиальной части волновой функции. Движение в кулоновском поле. Классификация уровней энергий. Теория оператора момента импульса. Свойства оператора момента импульса. /Лек/  | 6 | 16  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 4.2  | Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных. Разделение переменных в сферических координатах. Зависимость волновых функций от углов. Радиальное уравнение. Асимптотика радиальной части волновой функции. Движение в кулоновском поле. Классификация уровней энергий. Теория оператора момента импульса. Свойства оператора момента импульса. /Пр/   | 6 | 10  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 4.3  | Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных. Разделение переменных в сферических координатах. Зависимость волновых функций от углов. Радиальное уравнение. Асимптотика радиальной части волновой функции. Движение в кулоновском поле. Классификация уровней энергий. Теория оператора момента импульса. Свойства оператора момента импульса. /Ср/   | 6 | 3,5 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 5. Приближенные методы квантовой теории</b>    |  |   |     |  |
| 5.1  | Теория возмущения без вырождения уровней энергий. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий. Вариационный принцип. Метод канонических преобразований. Межатомные взаимодействия. /Лек/  | 6 | 8   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 5.2  | Теория возмущения без вырождения уровней энергий. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий. Вариационный принцип. Метод канонических преобразований. Межатомные взаимодействия. /Пр/   | 6 | 8   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |



|   |   |   |     |  |
|---|---|---|-----|--|
| 5.3   | Теория возмущения без вырождения уровней энергий. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий. Вариационный принцип. Метод канонических преобразований. Межатомные взаимодействия. /Ср/  | 6 | 3,5 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 6. Теория представлений</b>       |   |   |     |  |
| 6.1   | Координатное представление. Энергетическое представление. Импульсное представление. Скобочные обозначения Дирака. Понятие об унитарных преобразованиях. Представление Шредингера. Представление Гейзенберга. Представление Дирака (Представление взаимодействия). Представление чисел заполнения. Операторы рождения, уничтожения, числа частиц. Нахождение энергетического спектра гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Нахождение волновых функций гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Нахождение энергетического спектра ангармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Система гармонических осцилляторов в представлении чисел заполнения. /Лек/  | 6 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 6.2   | Координатное представление. Энергетическое представление. Импульсное представление. Скобочные обозначения Дирака. Понятие об унитарных преобразованиях. Представление Шредингера. Представление Гейзенберга. Представление Дирака (Представление взаимодействия). Представление чисел заполнения. Операторы рождения, уничтожения, числа частиц. Нахождение энергетического спектра гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Нахождение волновых функций гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Нахождение энергетического спектра ангармонического осциллятора в представлении чисел заполнения. Система гармонических осцилляторов в представлении чисел заполнения. /Ср/   | 6 | 4,7 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 7. Теория квантовых переходов</b> |   |   |     |  |
| 7.1   | Теория возмущений, зависящих от времени. Адиабатическое включение взаимодействия. Внезапное включение взаимодействия. Электронный распад. Позитронный распад. Возмущение в виде ступеньки. Гармоническое возмущение. Принципы построения правил отбора. Возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Вероятность перехода $P_{m \rightarrow l}$ . Длинноволновое приближение. Дипольный электрический момент перехода $m \rightarrow l$ ( $d_{m,l}$ ). Вероятность испускания фотона в единице телесного угла. Вероятность поглощения фотона в единице телесного угла. Вероятность испускания одного фотона. Вероятность поглощения одного фотона. Спонтанное излучение фотонов. Индуцированное излучение фотонов. Правила отбора для испускания света атомом. Время жизни возбужденного состояния. Ширина энергетических линий состояний с конечным временем жизни. /Лек/ | 7 | 10  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |



|                                       |  |   |    |  |
|---------------------------------------|--|---|----|--|
| 7.2                                   | Теория возмущений, зависящих от времени. Адиабатическое включение взаимодействия. Внезапное включение взаимодействия. Электронный распад. Позитронный распад. Возмущение в виде ступеньки. Гармоническое возмущение. Принципы построения правил отбора. Возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Вероятность перехода $P_{m \rightarrow l}$ . Длинноволновое приближение. Дипольный электрический момент перехода $m \rightarrow l$ ( $d_{m,l}$ ). Вероятность испускания фотона в единице телесного угла. Вероятность поглощения фотона в единице телесного угла. Вероятность испускания одного фотона. Вероятность поглощения одного фотона. Спонтанное излучение фотонов. Индуцированное излучение фотонов. Правила отбора для испускания света атомом. Время жизни возбужденного состояния. Ширина энергетических линий состояний с конечным временем жизни. /Ср/ | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 8. Тожественные частицы</b> |  |   |    |  |
| 8.1                                   | Основные положения. Ферми - статистика. Бозе - статистика. Атом гелия. Спин. Оператор спина. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Бозе. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Фононы. Электромагнитное поле. Статистика Ферми. Электроны. Уравнение Хартри-Фока. Уравнение Хартри-Фока-Слэтера. Уравнение Томаса-Ферми. Периодическая система Менделеева. Химическая связь, молекулы. /Лек/  | 7 | 10 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 8.2                                   | Основные положения. Ферми - статистика. Бозе - статистика. Атом гелия. Спин. Оператор спина. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Бозе. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Фононы. Электромагнитное поле. Статистика Ферми. Электроны. Уравнение Хартри-Фока. Уравнение Хартри-Фока-Слэтера. Уравнение Томаса-Ферми. Периодическая система Менделеева. Химическая связь, молекулы. /Пр/   | 7 | 10 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 8.3                                   | Основные положения. Ферми - статистика. Бозе - статистика. Атом гелия. Спин. Оператор спина. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Бозе. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Фононы. Электромагнитное поле. Статистика Ферми. Электроны. Уравнение Хартри-Фока. Уравнение Хартри-Фока-Слэтера. Уравнение Томаса-Ферми. Периодическая система Менделеева. Химическая связь, молекулы. /Ср/   | 7 | 4  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 9. Теория рассеяния</b>     |  |   |    |  |
| 9.1                                   | Общие положения, постановка и типы задач в квантовой теории рассеяния, виды рассеяния. Основные характеристики процесса рассеяния: амплитуда, фаза, сечение. Борновское приближение в теории рассеяния. Низкоэнергетическое рассеяние. Рассеяние при высоких энергиях. Формула Резерфорда. /Лек/   | 7 | 8  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 9.2                                   | Общие положения, постановка и типы задач в квантовой теории рассеяния, виды рассеяния. Основные характеристики процесса рассеяния: амплитуда, фаза, сечение. Борновское приближение в теории рассеяния. Низкоэнергетическое рассеяние. Рассеяние при высоких энергиях. Формула Резерфорда. /Пр/  | 7 | 8  | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |



|  |   |   |     |  |
|--|---|---|-----|--|
| 9.3  | Общие положения, постановка и типы задач в квантовой теории рассеяния, виды рассеяния. Основные характеристики процесса рассеяния: амплитуда, фаза, сечение. Борновское приближение в теории рассеяния. Низкоэнергетическое рассеяние. Рассеяние при высоких энергиях. Формула Резерфорда. /Ср/         | 7 | 4   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 10. Квазирелятивистская квантовая теория</b> |   |   |     |  |
| 10.1   | Уравнение Клейна – Гордона. Свободное движение частицы с нулевым спином. Уравнение Дирака. Свободное движение электрона. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле. Атом во внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана. Атом во внешнем электрическом поле. Эффект Штарка. /Лек/ | 7 | 6   | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 10.2   | Уравнение Клейна – Гордона. Свободное движение частицы с нулевым спином. Уравнение Дирака. Свободное движение электрона. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле. Атом во внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана. Атом во внешнем электрическом поле. Эффект Штарка. /Ср/  | 7 | 4,7 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 11. Иная контактная работа</b>               |   |   |     |  |
| 11.1   | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/   | 6 | 3,3 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 11.2   | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/   | 7 | 3,3 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4<br>Л1.5Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Тест

Отчеты по задачам (по практическим занятиям)

Контрольная работа

Вопросы к экзамену

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Задачи к практическим занятиям и пример варианта контрольной работы представлены в Фонде оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплине "Квантовая теория".

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену (6 СЕМЕСТР)

1. Область применения квантовой механики. Переход от квантовой к классической механике.
2. Объекты, которые изучает квантовая механика. Их характеристики.
3. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Явление фотоэффекта. Фотонная теория света.
4. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Эффект Комптона.
5. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Опыт Франка-Герца.
6. Дифракция электронов. Гипотеза де Бройля. Волновой пакет.
7. Дуализм: волна – частица. Принцип неопределенности.
8. Периодические граничные условия для свободной частицы.
9. Построение операторов физических величин.
10. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции.
11. Коммутационные соотношения для операторов физических величин.
12. Свойства операторов физических величин.
13. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин.
14. Операторы координаты, импульса, энергии.
15. Простейшие задачи квантовой механики. Уравнение Шредингера, зависящее от времени.
16. Простейшие задачи квантовой механики. Стационарное уравнение Шредингера.



17. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в пространстве, свободном от сил.
18. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в яме с бесконечно высокими стенками.
19. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр.
20. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр.
21. Простейшие задачи квантовой механики. Прямоугольный потенциальный барьер.
22. Одномерный гармонический осциллятор.
23. Движение частицы в поле центральных сил. Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных.
24. Движение частицы в поле центральных сил. Разделение переменных в сферических координатах.
25. Движение частицы в поле центральных сил. Зависимость волновых функций от углов.
26. Движение частицы в поле центральных сил. Радиальное уравнение.
27. Движение частицы в поле центральных сил. Асимптотика радиальной части волновой функции.
28. Движение частицы в поле центральных сил. Движение в кулоновском поле.
29. Движение частицы в поле центральных сил. Классификация уровней энергий.
30. Теория оператора момента импульса.
31. Свойства оператора момента импульса.
32. Условия одновременной измеримости физических величин.
33. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах.
34. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения без вырождения уровней энергий.
35. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий.
36. Приближенные методы квантовой механики. Вариационный принцип.
37. Приближенные методы квантовой механики. Метод канонических преобразований.
38. Теория представлений. Координатное представление.
39. Теория представлений. Энергетическое представление.
40. Теория представлений. Импульсное представление.
41. Теория представлений. Скобочные обозначения Дирака.
42. Теория представлений. Понятие об унитарных преобразованиях.
43. Теория представлений. Представление Шредингера.
44. Теория представлений. Представление Гейзенберга.
45. Теория представлений. Представление Дирака (Представление взаимодействия).
46. Представление чисел заполнения. Операторы рождения, уничтожения, числа частиц.
47. Нахождение энергетического спектра гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
48. Нахождение волновых функций гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
49. Нахождение энергетического спектра ангармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
50. Система гармонических осцилляторов в представлении чисел заполнения.

#### Вопросы к экзамену (7 СЕМЕСТР)

1. Основные положения (аксиомы) квантовой механики.
2. Способ построения операторов в квантовой механике.
3. Условия одновременной измеримости физических величин.
4. Теория квантовых переходов. Теория возмущений, зависящих от времени.
5. Теория квантовых переходов. Адиабатическое и внезапное включение взаимодействия.
6. Теория квантовых переходов. Электронный и позитронный распад.
7. Теория квантовых переходов. Возмущение в виде ступеньки.
8. Теория квантовых переходов. Гармоническое возмущение.
9. Теория квантовых переходов. Принципы построения правил отбора.
10. Теория квантовых переходов. Возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей.
11. Теория квантовых переходов. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Вероятность перехода  $P_{m \rightarrow l}$ .
12. Теория квантовых переходов. Взаимодействие с электромагнитным излучением. Длинноволновое приближение.
13. Теория квантовых переходов. Дипольный электрический момент перехода  $m \rightarrow l$  ( $d_{m,l}$ ).
14. Вероятность испускания фотона в единице телесного угла.
15. Вероятность поглощения фотона в единице телесного угла.
16. Вероятность испускания одного фотона.
17. Вероятность поглощения одного фотона.
18. Спонтанное излучение фотонов.



19. Индуцированное излучение фотонов.
20. Правила отбора для испускания света атомом. Плоская волна.
21. Правила отбора для поглощения света атомом. Плоская волна.
22. Правила отбора для поглощения света атомом. Круговая поляризация.
23. Время жизни возбужденного состояния.
24. Ширина энергетических линий состояний с конечным временем жизни.
25. Тождественные частицы. Основные положения.
26. Тождественные частицы. Ферми - статистика.
27. Тождественные частицы. Бозе - статистика.
28. Атом гелия. Парагелий.
29. Атом гелия. Ортогелий.
30. Спин. Оператор спина.
31. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Бозе.
32. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Фононы.
33. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Электромагнитное поле.
34. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистика Ферми. Электроны.
35. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Уравнение Хартри-Фока.
36. Вторичное квантование систем с тождественными частицами (представление чисел заполнения). Статистическое приближение. Уравнение Хартри-Фока-Слэтера.
37. Уравнение Томаса-Ферми.
38. Периодическая система Менделеева.
39. Химическая связь. Молекулы. Адиабатическое приближение.
40. Химическая связь. Молекулы. Движение ядер. (Движение центра масс, вращение, колебание).
41. Химическая связь. Молекулы. Метод Гайтлера-Лондона. Молекула H<sub>2</sub>.
42. Химическая связь. Молекулы. Метод ЛКАО.
43. Химическая связь. Молекулы. Виды связей.
44. Общие положения, постановка и типы задач в квантовой теории рассеяния, виды рассеяния.
45. Основные характеристики процесса рассеяния: амплитуда, фаза, сечение.
46. Борновское приближение в теории рассеяния.
47. Низкоэнергетическое рассеяние.
48. Рассеяние при высоких энергиях.
49. Формула Резерфорда.
50. Квазирелятивистская квантовая теория. Элементарные частицы в квантовой теории.
51. Квазирелятивистская квантовая теория. Уравнение Клейна – Гордона.
52. Квазирелятивистская квантовая теория. Свободное движение частицы с нулевым спином.
53. Квазирелятивистская квантовая теория. Уравнение Дирака.
54. Квазирелятивистская квантовая теория. Свободное движение электрона.
55. Квазирелятивистская квантовая теория. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле.

#### 6.4. Критерии оценивания

Текущий контроль теоретических знаний и практических навыков производится на практических занятиях в виде контрольных работ, а также в виде рабочих тетрадей по темам практических занятий, которые сдает студент в течение семестра. Номер варианта выполнения контрольных заданий назначается преподавателем.

Студент допускается к сдаче экзамена в конце семестра при успешном выполнении практических заданий.

Экзаменационная оценка ставится на основании письменного и устного ответов по экзаменационному билету.

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Студенты, которые успешно отчитались в течение семестра о решенных задачах по темам практических занятий из предложенного списка задач в методических указаниях к курсу, освобождаются от 3-го вопроса в билете (т.е. решения задачи).

На экзамене студент получает оценку «удовлетворительно» в случае успешной сдачи «теоретического минимума», который включает: знание основных понятий, название и физический смысл величин, вид основных распределений и соотношений (без вывода), определяемых вопросом билета.

Оценка «хорошо» – студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул или отсутствие некоторых элементов вывода.

Оценка «отлично» – студент должен продемонстрировать отличное знание материала, как лекционных занятий, так и тем, выносимых на самостоятельное обучение, ответив на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения; задача должна быть полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения.



## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители                               | Заглавие   | Издательство, год  | Ресурс |
|------|---|--|--|--------|
| Л1.1 | Ландау Л. Д.                                      | Квантовая механика: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=474072">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=474072</a> )  | Москва,<br>Ленинград :<br>Государственное<br>издательство<br>технико-<br>теоретической<br>литературы, 1948 | ЭБС    |
| Л1.2 | Давыдов А. С.                                     | Квантовая механика: учебное пособие для университетов  | Москва : Наука,<br>1973  |        |
| Л1.3 | Галицкий В. М.,<br>Карнаков Б. М., Коган<br>В. И. | Задачи по квантовой механике: учебное пособие для<br>физических специальностей вузов   | Москва : Наука,<br>1981  |        |
| Л1.4 | Ландау Л. Д., Лифшиц<br>Е. М.                     | Краткий курс теоретической физики: курс лекций<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=494680">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=494680</a> )                              | Москва : Наука,<br>1972  | ЭБС    |
| Л1.5 | Ландау Л. Д., Лифшиц<br>Е. М., Питаевский<br>Л.П. | Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика<br>(нерелятивистская теория): учебное пособие<br>( <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=369173">https://znanium.com/catalog/document?id=369173</a> ) | Москва :<br>Издательская<br>фирма "Физико-<br>математическая<br>литература" (ФИ<br>ЗМАТЛИТ), 2016          | ЭБС    |

#### 7.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители | Заглавие  | Издательство, год           | Ресурс |
|------|---------------------|---|-----------------------------|--------|
| Л2.1 | Соколов А. А.       | Введение в квантовую механику: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=257427">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=257427</a> )  | Москва :<br>Физматгиз, 1958 | ЭБС    |
| Л2.2 | Блохинцев Д. И.     | Основы квантовой механики: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495577">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=495577</a> ) | Москва : Наука,<br>1976     | ЭБС    |

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

|    |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|
| Э1 | Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. – URL: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>                                      |  |  |  |
| Э2 | Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО Директмедиа Паблишинг. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |  |  |  |
| Э3 | Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. – URL: <a href="https://bibli-online.ru">https://bibli-online.ru</a>                                |  |  |  |
| Э4 | Znanium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / Научно-издательский центр ИНФРА-М. – URL: <a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>                   |  |  |  |
| Э5 | eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – URL: <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                       |  |  |  |

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

Adobe Reader

LMS Moodle

Adobe Connect Acrobat

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – URL: <http://library.csu.ru/ru/> - Челябинск, 1992.



2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <http://journals.aps.org/about> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный.

3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <http://www.scopus.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

5. Springer Link : [сайт]. – URL: <http://link.springer.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

#### 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (мультимедийные презентации).

Используются аудитория №205 - читальный зал №3 (учебный корпус №1) и аудитория №206 - электронный читальный зал (специализированный медицентр) (учебный корпус №1) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

#### 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение содержания учебной дисциплины «Квантовая теория» осуществляется на лекциях и практических занятиях. Лекционные занятия обеспечивают теоретическое изучение дисциплины. Основными методами обучения являются информационно-объяснительный и проблемный. На лекциях излагается основное содержание тем программы, проводится анализ основных понятий и рассматриваются примеры.

Лекционный материал является важным, но не единственным для усвоения учебной дисциплины. Его обязательно необходимо дополнить материалом основной и дополнительной литературы по теме.

Практические занятия служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях. На практических занятиях обучаемые овладевают основными методами и приемами решения задач. Для проведения текущего и промежуточного контроля проводится контрольная работа и защиты задач по каждой теме практических занятий. Защита задач по теме подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Система контрольных мероприятий должна обеспечивать объективную оценку знаний и навыков студентов, способствовать повышению эффективности всех видов учебных занятий.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.



#### **10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ к помощи специальных технических и программных средств к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

