

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Наумова Наталия Александровна

Должность: Ректор

Дата подписания: 10.06.2025 10:11

Уникальный программный ключ:

6b5279da4e034bffa679172803da5b7b5586c5952

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Физико-математический факультет

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии

Согласовано

деканом физико-математического факультета

«19» марта 2025 г.

/Кулешова Ю.Д./

## Рабочая программа дисциплины

Квантовая теория

Направление подготовки

03.03.02 Физика

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Согласовано учебно-методической комиссией  
физико-математического факультета

Протокол «19» марта 2025 г. № 7

Председатель УМКом

/Кулешова Ю.Д./

Рекомендовано кафедрой  
фундаментальной физики и  
нанотехнологии

Протокол от «11» марта 2025 г. № 11

Зав. кафедрой

/Холина С.А./

Москва

2025

Автор-составитель:

Камалов Т.Ф., доцент, кандидат физико-математических наук, доцент

Рабочая программа дисциплины «Квантовая теория» составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07.08.2020 г. № 891.

Дисциплина входит в модуль «Теоретическая физика» обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения.

Год начала подготовки (по учебному плану) 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Планируемые результаты обучения .....                                                        | 4  |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....                                  | 4  |
| 3. Объём и содержание дисциплины.....                                                           | 4  |
| 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.....                      | 7  |
| 5. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине ..... | 9  |
| 6. Учебно-методическое и ресурсное обеспечение дисциплины .....                                 | 14 |
| 7. Методические указания по освоению дисциплины.....                                            | 14 |
| 8. Информационные технологии для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....    | 14 |
| 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины .....                                         | 15 |

## **1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

### **1.1. Цель и задачи дисциплины**

**Цели освоения дисциплины:** ознакомление студентов с концептуальными основами дисциплины «Квантовая теория» как современной комплексной фундаментальной науки; формирование естественнонаучного мировоззрения на основе знания особенностей, основных принципов и закономерностей развития Вселенной; интеллектуальное развитие студентов через систему классических и современных естественнонаучных концепций.

**Задачи дисциплины:** ознакомить студентов с основными проблемами, закономерностями, историей и тенденциями развития квантовой теории, в которых раскрываются фундаментальные научные проблемы современной науки; сформировать понимание принципов преемственности, соответствия и непрерывности в изучении природы; дать представление о революциях в теоретической физике и смене научных мировоззрений как ключевых этапах развития естествознания; сформировать понимание сущности фундаментальных законов природы, определяющих облик современного естествознания, к которым сводится множество законов теоретической физики; сформировать знания, необходимые для изучения смежных дисциплин; расширить кругозор, сформировать научное мышление и научное мировоззрение, основанное на синтезе естественнонаучных и гуманитарных концепций.

### **1.2. Планируемые результаты обучения**

В результате освоения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции:

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

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Квантовая теория» модуля «Теоретическая физика» входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения и является обязательной для изучения.

В программу курса входят изучение основ квантовой теории. При этом изучаются волновая функция и её физический смысл, нестационарное и стационарное уравнения Шрёдингера, а также элементы математического аппарата квантовой теории. Кроме того, студенты знакомятся с такими квантовыми системами и явлениями, как частица в потенциальной яме, туннельный эффект, а также квантовый гармонический осциллятор, квантовый момент импульса и водородоподобный атом. При этом большое внимание уделяется методам построения собственных значений и собственных волновых функций основных квантовых систем.

Знание современных фундаментальных научных положений естествознания, его мировоззренческих и методологических выводов является необходимым элементом подготовки специалистов в любой области деятельности.

Основу для изучения дисциплины составляют программы по дисциплинам «Механика», «Электричество и магнетизм», «Оптика» общего курса физики, по дисциплинам «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей и математическая статистика» и «Линейные и нелинейные уравнения математической физики» математики, а также по дисциплине «Теоретическая механика» курса теоретической физики. Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, дадут возможность студентам осваивать такие дисциплины учебного плана, как «Статистическая физика», «Физическая кинетика», а также «Введение в физику жидких кристаллов» и «Введение в физику нанотехнологий», на качественно более высоком уровне.

## **3. ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **3.1. Объём дисциплины**

| Показатель объёма дисциплины                 | Форма обучения<br>очная |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Объём дисциплины в зачетных единицах         | 4                       |
| Объём дисциплины в часах                     | 144                     |
| Контактная работа:                           | 92,3                    |
| Лекции                                       | 30                      |
| Практические занятия                         | 60                      |
| из них, в форме практической подготовки      | 60                      |
| Контактные часы на промежуточную аттестацию: | 2,3                     |
| Экзамен                                      | 0,3                     |
| Предэкзаменационная консультация             | 2                       |
| Самостоятельная работа                       | 42                      |
| Контроль                                     | 9,7                     |

Формой промежуточной аттестации является экзамен в 6 семестре.

### 3.2. Содержание дисциплины

| Наименование разделов (тем)<br>дисциплины с кратким содержанием                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Количество часов |                      |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Лекции           | Практические занятия |                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  | Общее кол-во         | из них, в форме практической подготовки |
| <b>Тема 1. Уравнение Шрёдингера</b><br>Волны де Бройля. Нестационарное уравнение Шрёдингера. Волновая функция. Уравнение неразрывности. Стационарное уравнение Шрёдингера. Собственные энергии и собственные волновые функции. Частица в потенциальной яме. Потенциальный барьер и туннельный эффект                                                                                                                         | 6                | 12                   | 12                                      |
| <b>Тема 2. Математические методы квантовой теории</b><br>Пространство волновых функций. Операторы физических величин. Средние значения и неопределённости физических величин. Критерии точного измерения физических величин. Соотношения неопределённостей Гейзенберга. Уравнение Эренфеста. Собственные значения и волновые функции операторов физических величин. Редукция волновой функции. Матричные элементы операторов | 6                | 12                   | 12                                      |
| <b>Тема 3. Квантовый гармонический осциллятор</b><br>Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Уровни энергии. Повышающий и понижающий операторы и собственные волновые функции квантового гармонического осциллятора. Метод факторизации                                                                                                                                                                               | 6                | 12                   | 12                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Тема 4. Угловой момент в квантовой теории</b><br>Угловой момент в квантовой механике. Собственные значения и структура собственных функций оператора углового момента. Орбитальный момент импульса. Его собственные значения и собственные функции в сферических координатах. Спин. Оператор спина электрона. Спиноры. Матрицы Паули | 6         | 12        | 12        |
| <b>Тема 5. Центральное-симметричное поле в квантовой теории</b><br>Движение в центральном-симметричном поле в квантовой механике. Водородоподобный атом. Его уровни энергии, собственные волновые функции. Квантовые числа водородоподобного атома. Правила отбора. Изотопический сдвиг. Атомы щелочных металлов                        | 6         | 12        | 12        |
| <b>Итого</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>30</b> | <b>60</b> | <b>60</b> |

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

| Тема                                           | Задание на практическую подготовку                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | количество часов |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Тема 1. Уравнение Шрёдингера                   | Волны де Бройля. Нестационарное уравнение Шрёдингера. Волновая функция. Уравнение неразрывности. Стационарное уравнение Шрёдингера. Собственные энергии и собственные волновые функции. Частица в потенциальной яме. Потенциальный барьер и туннельный эффект                                                                                                       | 12               |
| Тема 2. Математические методы квантовой теории | Пространство волновых функций. Операторы физических величин. Средние значения и неопределённости физических величин. Критерии точного измерения физических величин. Соотношения неопределённостей Гейзенберга. Уравнение Эренфеста. Собственные значения и волновые функции операторов физических величин. Редукция волновой функции. Матричные элементы операторов | 12               |
| Тема 3. Квантовый гармонический осциллятор     | Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Уровни энергии. Повышающий и понижающий операторы и собственные волновые функции квантового гармонического осциллятора. Метод факторизации                                                                                                                                                                           | 12               |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Тема 4. Угловой момент в квантовой теории              | Угловой момент в квантовой механике. Собственные значения и структура собственных функций оператора углового момента. Орбитальный момент импульса. Его собственные значения и собственные функции в сферических координатах. Спин. Оператор спина электрона. Спиноры. Матрицы Паули | 12 |
| Тема 5. Центральносимметричное поле в квантовой теории | Движение в центральносимметричном поле в квантовой механике. Водородоподобный атом. Его уровни энергии, собственные волновые функции. Квантовые числа водородоподобного атома. Правила отбора. Изотопический сдвиг. Атомы щелочных металлов                                         | 12 |

#### 4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

| Темы для самостоятельного изучения     | Изучаемые вопросы                                                                                                                                                                                                                                             | Количество часов | Формы самостоятельной работы                                      | Методические обеспечения                   | Формы отчетности                   |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Уравнение Шрёдингера                   | Волны де Бройля. Нестационарное уравнение Шрёдингера. Волновая функция. Уравнение неразрывности. Стационарное уравнение Шрёдингера. Собственные энергии и собственные волновые функции. Частица в потенциальной яме. Потенциальный барьер и туннельный эффект | 8                | Работа с литературой, сетью Интернет, консультации, решение задач | Рекомендуемая литература. Ресурсы Интернет | Конспект, реферат, решенные задачи |
| Математические методы квантовой теории | Пространство волновых функций. Операторы физических величин. Средние значения и неопределённости физические                                                                                                                                                   | 8                | Работа с литературой, сетью Интернет, консультации, решение задач | Рекомендуемая литература. Ресурсы Интернет | Конспект, реферат, решенные задачи |

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |                                                                   |                                            |                                    |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
|                                    | ских величин. Критерии точного измерения физических величин. Соотношения неопределённостей Гейзенберга. Уравнение Эренфеста. Собственные значения и волновые функции операторов физических величин. Редукция волновой функции. Матричные элементы операторов                        |    |                                                                   |                                            |                                    |
| Квантовый гармонический осциллятор | Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Уровни энергии. Повышающий и понижающий операторы и собственные волновые функции квантового гармонического осциллятора. Метод факторизации                                                                                           | 8  | Работа с литературой, сетью Интернет, консультации, решение задач | Рекомендуемая литература. Ресурсы Интернет | Конспект, реферат, решенные задачи |
| Угловой момент в квантовой теории  | Угловой момент в квантовой механике. Собственные значения и структура собственных функций оператора углового момента. Орбитальный момент импульса. Его собственные значения и собственные функции в сферических координатах. Спин. Оператор спина электрона. Спиноры. Матрицы Паули | 8  | Работа с литературой, сетью Интернет, консультации, решение задач | Рекомендуемая литература. Ресурсы Интернет | Конспект, реферат, решенные задачи |
| Центрально-симметричное            | Движение в центрально-                                                                                                                                                                                                                                                              | 10 | Работа с литературой, сетью                                       | Рекомендуемая литерату-                    | Конспект, реферат,                 |

|                         |                                                                                                                                                                                                                        |    |                                       |                      |                 |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------------|----------------------|-----------------|
| поле в квантовой теории | симметричном поле в квантовой механике. Водородоподобный атом. Его уровни энергии, собственные волновые функции. Квантовые числа водородоподобного атома. Правила отбора. Изотопический сдвиг. Атомы щелочных металлов |    | Интернет, консультации, решение задач | ра. Ресурсы Интернет | решенные задачи |
| Итого                   |                                                                                                                                                                                                                        | 42 |                                       |                      |                 |

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 5.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

| Код и наименование компетенции                                                                                                                  | Этапы формирования                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности. | 1. Работа на учебных занятиях.<br>2. Самостоятельная работа. |

### 5.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

| Оцениваемые компетенции | Уровень сформированности | Этапы формирования                                           | Описание показателей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Критерии оценивания                      | Шкала оценивания                                                                                  |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1                   | Пороговый                | 1. Работа на учебных занятиях.<br>2. Самостоятельная работа. | <b>Знать:</b> основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.<br><b>Уметь:</b> грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей. | реферат, решение задач, домашнее задание | Шкала оценивания реферата<br>Шкала оценивания решения задач<br>Шкала оценивания домашнего задания |
|                         | Продвинутый              | 1. Работа на учебных занятиях.                               | <b>Знать:</b> основные модели задач в рамках дисциплины с                                                                                                                                                                                                                                                                                      | реферат, решение задач,                  | Шкала оцени-                                                                                      |

|  |  |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                  |                                                                                                                                                       |
|--|--|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p>тиях.</p> <p>2. Самостоятельная работа.</p> | <p>учетом их границ применимости.</p> <p><b>Уметь:</b> грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.</p> <p><b>Владеть:</b> методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов физики для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.</p> | <p>домашнее задание, практическая подготовка</p> | <p>вания реферата</p> <p>Шкала оценивания решения задач</p> <p>Шкала оценивания домашнего задания</p> <p>Шкала оценивания практической подготовки</p> |
|--|--|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### Шкала и критерии оценивания решения задач

| Уровни оценивания    | Критерии оценивания                     | Баллы |
|----------------------|-----------------------------------------|-------|
| Высокий (отлично)    | Если студент решил 71-90% от всех задач | 8-10  |
| Оптимальный (хорошо) | Если студент решил 51-70% от всех задач | 5-7   |
| Удовлетворительный   | Если студент решил 31-50% от всех задач | 2-4   |
| Неудовлетворительный | Если студент решил 0-30% от всех задач  | 0-1   |

#### Шкала и критерии оценивания домашних работ

| Уровни оценивания    | Критерии оценивания                              | Баллы |
|----------------------|--------------------------------------------------|-------|
| Высокий (отлично)    | Если студент решил 71-90% от всех домашних работ | 8-10  |
| Оптимальный (хорошо) | Если студент решил 51-70% от всех домашних работ | 5-7   |
| Удовлетворительный   | Если студент решил 31-50% от всех домашних работ | 2-4   |
| Неудовлетворительный | Если студент решил 0-30% от всех домашних работ  | 0-1   |

#### Шкала и критерии оценивания рефератов

| Уровни оценивания    | Критерии оценивания                          | Баллы |
|----------------------|----------------------------------------------|-------|
| Высокий (отлично)    | Если студент отразил 71-90% темы в реферате. | 8-10  |
| Оптимальный (хорошо) | Если студент отразил 51-70% темы в реферате. | 5-7   |
| Удовлетворительный   | Если студент отразил 31-50% темы в реферате. | 2-4   |
| Неудовлетворительный | Если студент отразил 0-30% темы в реферате.  | 0-1   |

#### Шкала оценивания практической подготовки

| Критерии оценивания                                                                                                                                   | Баллы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| высокая активность на практической подготовке, выполнен(ы) задачи / контрольные работы / отработан алгоритм решения задач по каждой теме              | 5     |
| средняя активность на практической подготовке, выполнен(ы) задачи / контрольные работы / не полностью отработан алгоритм решения задач по каждой теме | 2     |

|                                                                                                                                 |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| низкая активность на практической подготовке, задачи / контрольные работы / не отработан алгоритм решения задач по каждой теме. | 0 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

### 5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### Примеры домашних заданий

1. Волновая функция задаётся на всей вещественной оси выражением

$$\Psi(x) = Ax \exp \left[ -\frac{x^2}{2x_0^2} \right],$$

где  $x_0$  – константа с размерностью длины. Вычислить нормировочную константу  $A$ .

2. Доказать тождества:

$$[\hat{F}, \hat{G}] = -[\hat{G}, \hat{F}]; \quad \{\hat{F}, \hat{G}\} = \{\hat{G}, \hat{F}\}.$$

3. Разложить оператор  $(\hat{F} - \lambda \hat{G})^{-1}$  по степеням малого параметра  $\lambda$ .

4. Раскрыть скобки:

$$\left( \frac{x}{x_0} - \frac{\hat{p}_x}{p_0} \right) \left( \frac{x}{x_0} + \frac{\hat{p}_x}{p_0} \right); \quad \left( \frac{x}{x_0} + \frac{\hat{p}_x}{p_0} \right)^2; \quad \left( \frac{x}{x_0} + \frac{\hat{p}_x}{p_0} \right)^3.$$

5. Вычислить коммутаторы:

$$[\mathbf{r}, (r\hat{p})]; [\hat{p}, r^2]; [r^2, (r\hat{p})]; [\hat{p}^2, (r\hat{p})]; [r^2, \hat{H}]; [\hat{p}^2, \hat{H}]; [(r\hat{p}), \hat{H}].$$

6. Доказать, что произвольный оператор можно однозначно представить в виде суммы эрмитова и антиэрмитова операторов.

7. Записать операторы  $\hat{L}_z$  и  $\hat{L}^2$  в сферических координатах.

8. Получить аналитический вид оператора 3-мерного сдвига:

$$\hat{T}_a \Psi(\mathbf{r}) \stackrel{\text{def}}{=} \Psi(\mathbf{r} - \mathbf{a}).$$

9. Среди величин  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{L}^2$  найти пары совместно измеримых. Для совместно измеримых записать соотношения неопределённостей.

10. Показать, что функция  $\Psi(\theta) = \cos \theta$  является собственной функцией оператора  $\hat{F} = -\frac{1}{\sin \theta} \frac{d}{d\theta} \left( \sin \theta \frac{d}{d\theta} \right)$ , и найти соответствующее собственное значение.

#### Примеры вариантов решения задач

##### Вариант 1

1. Найти матричный элемент  $\langle n+1 | x^3 | n \rangle$  для одномерного гармонического осциллятора.
2. Вычислить  $a^+ a^n - a^n a^+$ , где  $a$  – понижающий оператора для одномерного гармонического осциллятора.
3. В состоянии  $\psi_m$  с определённой проекцией углового момента на ось  $z$ , т.е. когда  $J_z \psi_m = m\hbar \psi_m$ , найти среднее значение  $\langle J_y J_x \rangle$ .
4. Частица массой  $m$  движется в центрально-симметричном поле и находится в сферически-симметричном стационарном состоянии. Волновая функция частицы в этом состоянии  $\Psi = Ae^{-ar}$ . Найти потенциальную энергию частицы  $U(r)$ , если  $U(\infty) = 0$ .
5. Электрон в атоме водорода находится в основном состоянии. Найти среднее значение квадрата радиуса электрона  $\langle r^2 \rangle$ .

##### Вариант 2

1. Найти матричный элемент  $\langle l-1 | L_x | l \rangle$  для орбитального момента импульса.
2. Найти среднее значение  $\langle p_x^2 \rangle$  для состояния  $\Psi = 2^{-1/2}(\Psi_n + \Psi_{n-1})$ , где  $\Psi_n$  и  $\Psi_{n-1}$  – нормированные собственные волновые функции одномерного гармонического осциллятора.
3. Вычислить  $\exp(i\varphi \sigma_x)$ , где  $\sigma_x$  – матрица Паули.

4. Электрон в атоме водорода находится в сферически-симметричном стационарном состоянии, описываемом волновой функцией  $\Psi = Ae^{-ar}$ . Найти энергию электрона в этом состоянии.
5. Волновая функция частицы, находящейся в одномерном состоянии, в области  $x > 0$  равна  $\Psi(x) = A(e^{-\alpha x} - e^{-2\alpha x})$ , а вне этой области  $\Psi(x) = 0$ . Найти постоянную  $A > 0$  и вероятность нахождения частицы на отрезке  $[1/\alpha, 2/\alpha]$ .

### Примерные темы рефератов

1. Матричный и волновой подходы в квантовой теории.
2. Метод континуального интеграла в квантовой теории.
3. Когерентные состояния в квантовой теории и их применение.
4. Функция Вигнера в квантовой теории.
5. Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности.
6. Упругое рассеяние в центральном поле.
7. Метод квазиклассического приближения в квантовой теории.
8. Сложение моментов в квантовой теории. Теорема Вигнера – Экарта.
9. Электронный парамагнитный резонанс.
10. Уравнение Шрёдингера и пространственно-временные преобразования.
11. Уравнение Паули и калибровочные преобразования.
12. Спин электрона и квантовые компьютеры.

### Задание на практическую подготовку

1. Выполнение измерений на лабораторном оборудовании.
2. Выступление с докладом по исследуемой тематике.
3. Участие в экспериментальной работе совместно с сотрудниками лабораторий.

### Примерные вопросы для экзамена

1. Волны де Бройля. Правило квантования.
2. Нестационарное уравнение Шрёдингера.
3. Волновая функция. Уравнение неразрывности.
4. Стационарное уравнение Шрёдингера.
5. Частица в потенциальной яме.
6. Потенциальный барьер и туннельный эффект.
7. Пространство волновых функций. Операторы физических величин.
8. Средние значения и неопределённости физических величин.
9. Соотношения неопределённостей Гейзенберга.
10. Уравнение Эренфеста для эволюции физических величин.
11. Набор собственных значений и волновых функций операторов физических величин. Его свойства.
12. Матричный формализм в квантовой механике.
13. Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Уровни энергии. Матричные элементы операторов координаты и импульса.
14. Повышающий и понижающий операторы и собственные волновые функции квантового гармонического осциллятора.
15. Угловой момент в квантовой механике. Собственные значения и структура собственных функций оператора углового момента.
16. Орбитальный момент импульса. Его собственные значения и собственные функции в сферических координатах.
17. Спин. Оператор спина электрона. Спиноры. Матрицы Паули.
18. Движение в центрально-симметричном поле в квантовой механике.
19. Водородоподобный атом. Его уровни энергии и собственные волновые функции.
20. Квантовые числа водородоподобного атома. Правила отбора.
21. Изотопический сдвиг. Атомы щелочных металлов.

#### 5.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценивание степени освоения обучающимися дисциплины осуществляется на основе положения «Положение о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов ГУП».

Сопоставимость рейтинговых показателей студента по разным дисциплинам и Балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов обеспечивается принятием единого механизма оценки знаний студентов, выраженного в баллах, согласно которому 100 баллов – это полное усвоение знаний по учебной дисциплине, соответствующее требованиям учебной программы.

Ответ обучающегося на экзамене оценивается в баллах с учетом шкалы соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам.

В зачётно-экзаменационную ведомость и зачётную книжку выставляются оценки по пятибалльной шкале и рейтинговые оценки в баллах.

При получении студентом на экзамене неудовлетворительной оценки в ведомость выставляется рейтинговая оценка в баллах (<40 баллов), соответствующая фактическим знаниям (ответу) студента.

Критерии оценки знаний студентов в рамках каждой учебной дисциплины или групп дисциплин вырабатываются преподавателями согласованно на кафедрах Университета исходя из требований образовательных стандартов.

Итоговая оценка складывается из оценок за посещение занятий, за опросы, за домашние задания, за контрольные работы, за реферат, а также за экзамен с оценкой не менее «удовлетворительно». Максимальная итоговая оценка – 100 баллов.

##### Шкала оценивания экзамена

| Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Баллы |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме вопросов; исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче экзамена.                                              | 21-30 |
| Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена.                                                           | 15-20 |
| Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета. Удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов. | 8-14  |
| Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета и менее.                                                                                                                                                                                                                                                             | 0-7   |

##### Итоговая шкала выставления оценки по дисциплине

| Оценка по 5-балльной системе |                     | Оценка по 100-балльной системе |
|------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 5                            | Отлично             | 81 – 100                       |
| 4                            | Хорошо              | 61 – 80                        |
| 3                            | Удовлетворительно   | 41 – 60                        |
| 2                            | Неудовлетворительно | 0 – 40                         |

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Основная литература**

1. Ефремов, Ю. С. Квантовая механика : учебное пособие для вузов. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 458 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/514991>
2. Копытин, И. В. Квантовая механика : учебное пособие для вузов . — Москва : Юрайт, 2023. — 245 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/520464>
3. Степанов, Н. Ф. Квантовая механика и квантовая химия : учебник и практикум для вузов. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2019. — 441 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/444811>

### **6.2. Дополнительная литература**

1. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Квантовая механика: учебное пособие. – М.: БИНОМ, 2015. – 294 с. – Текст: непосредственный
2. Беданокров, Р. А. Квантовая физика и элементы квантовой механики. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 116 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/291167>
3. Вергелес, С. Н. Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : учебник для вузов . — 4-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 262 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/513140>
4. Горлач, В. В. Физика: квантовая физика. Лабораторный практикум : учебное пособие для вузов . — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 114 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/513821>
5. Наумов, Н. П. Элементы квантовой механики : учебное пособие. — Москва : РУТ (МИ-ИТ), 2019. — 22 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/175570>
6. Паршаков, А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 352 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210335>
7. Савельев, И. В. Основы теоретической физики. В 2 томах. Том 2. Квантовая механика. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 432 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/330521>
8. Хренников, А. Ю. Квантовая физика и неколмогоровские теории вероятностей : учебное пособие для вузов . — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 219 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/513207>

### **6.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. [http://mgou.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=48&Itemid=614](http://mgou.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=614)
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы по дисциплинам.

## **8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Лицензионное программное обеспечение:**

Microsoft Windows

Microsoft Office

Kaspersky Endpoint Security

### **Информационные справочные системы:**

Система ГАРАНТ

Система «КонсультантПлюс»

Профессиональные базы данных

fgosvo.ru – Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования

pravo.gov.ru - Официальный интернет-портал правовой информации

www.edu.ru – Федеральный портал Российское образование

Свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей)

7-zip

Google Chrome

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает в себя:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: учебной мебелью, доской, демонстрационным оборудованием, персональными компьютерами, проектором;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде.