

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Наумова Наталия Александровна  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 04.07.2025 09:13:22  
Уникальный программный ключ:  
6b5279da4e034bff679172803da5b7b559fcd9e2

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»**  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии  
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДЕН  
на заседании кафедры  
Протокол от «11» марта 2025 г., №11  
Зав. кафедрой  [Холина С.А.]

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю)  
Квантовая теория

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Москва  
2025

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1.Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.....                                                                                                            | 3 |
| 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....                                                                                           | 3 |
| 3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы..... | 5 |
| 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....                                                    | 8 |

1.Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы<sup>1</sup>

| 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 |

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> Указывается информация в соответствии с утвержденной РПД

<sup>2</sup> Указывается информация в соответствии с утвержденной РПД

|  |  |  |                                                                                                                                                                                           |  |                                          |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|
|  |  |  | базовых знаний фундаментальных разделов квантовой теории для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей. |  | Шкала оценивания практической подготовки |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|

## Описание шкал оценивания

### Шкала и критерии оценивания решения задач

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

### Шкала и критерии оценивания домашних работ

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

### Шкала оценивания рефератов

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

|                                                                                                                                                       |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| работы / отработан алгоритм решения задач по каждой теме                                                                                              |   |
| 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 |

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

### Текущий контроль

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

Знать: знать основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на пороговом уровне

Перечень примерных домашних заданий по дисциплине

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:

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

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  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{L}$ ,  $L^2$  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.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень темы рефератов по дисциплине

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.

Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов квантовой теории, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на пороговом уровне

Перечень задач на решение задач по дисциплине

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  $\Psi = A e^{-ar}$ . 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  $\langle r^2 \rangle$ .

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень задач на решение задач по дисциплине

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  $[1/\alpha, 2/\alpha]$ .

Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов квантовой теории для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1 на продвинутом уровне

Перечень заданий для практической подготовки

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

### Промежуточная аттестация

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

Знать: знать основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости.

Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов квантовой теории, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов квантовой теории для создания моделей типовых

профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.

Задания, необходимые для оценивания сформированности ОПК-1

Перечень вопросов 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.

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

Требования к экзамену

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.

Максимальный результат, который может быть достигнут студентом по каждому из Блоков рейтинговой оценки – 100 баллов.

Шкала соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам:

100 – 81 баллов – «отлично» (5); 80 – 61 баллов – «хорошо» (4); 60 – 41 баллов – «удовлетворительно» (3); до 40 баллов – «неудовлетворительно».

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.

Для допуска к экзамену нужно выполнить все домашние задания, решить все задачи, а также защитить один реферат по выбору студента. На экзамене студент должен ответить на два теоретических вопроса.

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                         |