

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Теплофизика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Квантовая механика**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец   | Бобров В.Б.                 |
|  | Идентификатор                                      | R84cde94f-BobrovVB-6549f943 |

(подпись)

В.Б. Бобров

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                             |
|--|--|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец   | Яньков Г.Г.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc |

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец   | Герасимов Д.Н.                |
|  | Идентификатор                                      | Ra5495398-GerasimovDN-6b58615 |

(подпись)

Д.Н.

Герасимов

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-3 Способен проводить расчеты теплофизических характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования

ИД-2 Владеет навыками расчета теплофизических свойств рабочих тел, используемых в энергетическом оборудовании

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольное мероприятие -1 (Контрольная работа)
2. Контрольное мероприятие – 2 (Контрольная работа)
3. Контрольное мероприятие – 3 (Контрольная работа)
4. Контрольное мероприятие – 4 (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

5 семестр

| Раздел дисциплины   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|---|---------------------------------|------|------|------|------|
|   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|   | Срок КМ:                        | 5    | 8    | 13   | 16   |
| Квантовая физика — революция в естествознании                 |                                 |      |      |      |      |
| Основы классической физики                                    | +                               | +    | +    |      |      |
| Физические основания квантовой механики                       | +                               | +    |      |      |      |
| Уравнение Шрёдингера  |                                 |      |      |      |      |
| Уравнение Шрёдингера для микрочастиц                          | +                               |      | +    | +    |      |
| Операторы импульса, координаты и энергии микрочастицы         |                                 |      |      |      |      |
| Операторы импульса, координаты и энергии в квантовой механике | +                               |      | +    |      |      |
| Статистические характеристики динамических переменных         |                                 |      |      |      |      |
| Динамические переменные в квантовой механике                  | +                               |      | +    | +    |      |

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
| Соотношения неопределённостей                                     |    |    |    |    |
| Соотношения неопределённостей в квантовой механике                | +  | +  | +  |    |
| Микрочастица в поле центральной силы                              |    |    |    |    |
| Поведение микрочастицы в центральном поле                         | +  | +  | +  | +  |
| Стационарные состояния системы двух взаимодействующих микрочастиц |    |    |    |    |
| Две взаимодействующие микрочастицы в квантовой механике           | +  | +  | +  | +  |
| Вес КМ:   | 15 | 30 | 30 | 25 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор  | Запланированные результаты обучения по дисциплине  | Контрольная точка   |
|--------------------|--|--|---|
| ПК-3               | ИД-2ПК-3<br>Владеет навыками расчета теплофизических свойств рабочих тел, используемых в энергетическом оборудовании | Знать:<br>Основные принципы и теоретический аппарат классической и квантовой физики<br>Основные экспериментальные факты, необъяснимые с позиций классической физики и приведшие к созданию квантовой физики<br>Методы описания стационарных связанных состояний и состояний рассеяния одной микрочастицы во внешнем силовом поле, а также системы двух взаимодействующих микрочастиц<br>Уметь:<br>Оценивать степень влияния квантовых эффектов на теплофизические свойства | Контрольное мероприятие -1 (Контрольная работа)<br>Контрольное мероприятие – 2 (Контрольная работа)<br>Контрольное мероприятие – 3 (Контрольная работа)<br>Контрольное мероприятие – 4 (Контрольная работа) |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | веществ и протекание<br>теплофизических<br>процессов<br>Вычислять энергетические<br>и другие физические<br>характеристики<br>микрочастиц вещества,<br>используя уравнение<br>Шредингера. |  |
|--|--|--|--|

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Контрольное мероприятие -1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольное мероприятие – 1 (КМ-1) проводится на практическом занятии 5 учебной недели в виде письменной контрольной работы, охватывающей содержание раздела курса «Квантовая механика»: Квантовая механика – революция в естествознании по теме Основы классической физики. Студенты в течение 1 академического часа должны письменно ответить на контрольные вопросы и задания. Контрольная работа оценивается по 5-бальной шкале. Полученная студентом по результатам выполнения письменной контрольной работы оценка является баллом текущего контроля за КМ-1.

#### Краткое содержание задания:

1. Записать функцию Гамильтона для механической системы, состоящей из многих частиц и находящейся во внешнем потенциальном поле. Записать уравнения Гамильтона для такой системы.
2. Дать определение скобок Пуассона для двух динамических функций и записать свойства скобок Пуассона. Используя тождество Якоби доказать справедливость утверждения о том, что динамическая функция, являющаяся скобкой Пуассона двух интегралов движения, также является интегралом движения.
3. Записать формулы преобразований Лоренца и Галилея. Установить связь между ними.
4. Установить соотношение между энергией, импульсом и скоростью свободной частицы. Каково соотношение между энергией и импульсом частицы с массой, равной нулю?
5. Записать уравнения Максвелла и выражение для силы Лоренца.
6. Показать, что работа, совершаемая электромагнитным полем над зарядом, определяется только электрическим полем.
7. Записать выражение для потенциальной энергии системы точечных зарядов.
8. Записать волновое уравнение и найти его решение для одномерного случая.
9. Каково взаимное расположение векторов напряженностей электрического и магнитного полей и направления распространения плоской электромагнитной волны?
10. Каково соотношение между длиной волны, волновым вектором и частотой в монохроматической электромагнитной волне?

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: Основные принципы и теоретический аппарат классической и квантовой физики | <ol style="list-style-type: none"><li>1.1. Записать функцию Гамильтона для механической системы, состоящей из многих частиц и находящейся во внешнем потенциальном поле. Записать уравнения Гамильтона для такой системы.</li><li>2. Записать формулы преобразований Лоренца и Галилея. Установить связь между ними.</li><li>3. Установить соотношение между энергией, импульсом и скоростью свободной частицы. Каково соотношение между энергией и импульсом частицы с</li></ol> |
|--|---|

|   |   |
|---|---|
|   | <p>массой, равной нулю?</p> <p>4. Записать уравнения Максвелла и выражение для силы Лоренца.</p> <p>5. Каково соотношение между длиной волны, волновым вектором и частотой в монохроматической электромагнитной волне?</p>  |
| <p>Уметь: Оценивать степень влияния квантовых эффектов на теплофизические свойства веществ и протекание теплофизических процессов</p> | <p>1.1. Дать определение скобок Пуассона для двух динамических функций и записать свойства скобок Пуассона. Используя тождество Якоби доказать справедливость утверждения о том, что динамическая функция, являющаяся скобкой Пуассона двух интегралов движения, также является интегралом движения.</p> <p>2. Показать, что работа, совершаемая электромагнитным полем над зарядом, определяется только электрическим полем.</p> <p>3. Записать выражение для потенциальной энергии системы точечных зарядов.</p> <p>4. Записать волновое уравнение и найти его решение для одномерного случая.</p> <p>5. Каково взаимное расположение векторов напряженностей электрического и магнитного полей и направления распространения плоской электромагнитной волны?</p> |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 91*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показана совокупность осознанных знаний по пройденным темам, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответы изложены с использованием современной научной терминологии. Могут быть допущены некоторые недочеты в ответах.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 81*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показаны знания пройденных разделов курса квантовой механики почти в полном объеме (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); даны полноценные ответы на вопросы контрольной работы; не всегда выделено наиболее существенное, но не допущено серьезных ошибок в ответах; ответы на вопросы представлены в объеме, превышающем обязательный минимум.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 71*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показано владение основным объемом знаний по пройденным разделам курса квантовой механики; имеются затруднения в некоторых ответах, неточные формулировки; в ответах допускаются ошибки по существу вопросов. Студент владеет только обязательным минимумом в пройденных разделах курса квантовой механики

## КМ-2. Контрольное мероприятие – 2

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольное мероприятие – 2 (КМ-2) проводится на практическом занятии 8 учебной недели в виде письменной контрольной работы, охватывающей содержание раздела курса «Квантовая механика»: Квантовая механика – революция в естествознании по теме Физические основания квантовой механики. Студенты в течение 1 академического часа должны письменно ответить на контрольные вопросы и задания. Контрольная работа оценивается по 5-бальной шкале. Полученная студентом по результатам выполнения письменной контрольной работы оценка является баллом текущего контроля за КМ-2.

### Краткое содержание задания:

1. На основе распределения Планка выведите закон Стефана–Больцмана и определите величину постоянной Стефана–Больцмана.
2. На основе формулы Дебая для средней энергии одного моля твердого тела установите закон Дюлонга и Пти и температурную зависимость теплоемкости для области низких температур.
3. Используя гипотезу Бора о том, что атом может находиться только в определенных стационарных состояниях с дискретными значениями энергии, установите комбинационный принцип для частот излучения атома.
4. Сформулируйте гипотезу световых квантов Эйнштейна. Запишите законы сохранения энергии и импульса для процесса рассеяния кванта излучения на покоящемся электроны. На этой основе выведите формулу Комптона.
5. Приведите примеры проявления корпускулярно-волнового дуализма электромагнитного излучения.
6. Какая динамическая переменная определяет длину волны де Бройля микрочастицы? Запишите волновую функцию микрочастицы при заданной энергии и импульсе.
7. Установите соотношение между скоростью релятивистской микрочастицы и групповой скоростью соответствующей волны де Бройля.
8. Приведите пример проявления корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц.
9. Запишите соотношение неопределенностей Гейзенберга. Приведите пример его реализации в эксперименте.
10. Сформулируйте вероятностное толкование волновой функции, определенной в конфигурационном пространстве, для системы, состоящей из одной и двух частиц.

### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| <p>Знать: Основные экспериментальные факты, необъяснимые с позиций классической физики и приведшие к созданию квантовой физики</p> | <p>1.1. Приведите примеры проявления корпускулярно-волнового дуализма электромагнитного излучения.</p> <p>2. Какая динамическая переменная определяет длину волны де Бройля микрочастицы? Запишите волновую функцию микрочастицы при заданной энергии и импульсе.</p> <p>3. Приведите пример проявления корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц.</p> <p>4. Запишите соотношение неопределенностей Гейзенберга. Приведите пример его реализации в</p> |
|--|---|

|   |   |
|---|---|
|   | <p>эксперименте.</p> <p>5. Сформулируйте вероятностное толкование волновой функции, определенной в конфигурационном пространстве, для системы, состоящей из одной и двух частиц.</p>  |
| <p>Уметь: Оценивать степень влияния квантовых эффектов на теплофизические свойства веществ и протекание теплофизических процессов</p> | <p>1.1. На основе распределения Планка выведите закон Стефана–Больцмана и определите величину постоянной Стефана–Больцмана.</p> <p>2. На основе формулы Дебая для средней энергии одного моля твердого тела установите закон Дюлонга и Пти и температурную зависимость теплоемкости для области низких температур.</p> <p>3. Используя гипотезу Бора о том, что атом может находиться только в определенных стационарных состояниях с дискретными значениями энергии, установите комбинационный принцип для частот излучения атома.</p> <p>4. Сформулируйте гипотезу световых квантов Эйнштейна. Запишите законы сохранения энергии и импульса для процесса рассеяния кванта излучения на покоящемся электроны. На этой основе выведите формулу Комптона.</p> <p>5. Установите соотношение между скоростью релятивистской микрочастицы и групповой скоростью соответствующей волны де Бройля.</p> |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 91*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показана совокупность осознанных знаний по пройденным темам, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответы изложены с использованием современной научной терминологии. Могут быть допущены некоторые недочеты в ответах.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 81*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показаны знания пройденных разделов курса квантовой механики почти в полном объеме (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); даны полноценные ответы на вопросы контрольной работы; не всегда выделено наиболее существенное, но не допущено серьезных ошибок в ответах; ответы на вопросы представлены в объеме, превышающем обязательный минимум

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 71*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показано владение основным объемом знаний по пройденным разделам курса квантовой механики; имеются затруднения в некоторых ответах, неточные формулировки; в ответах допускаются ошибки по существу вопросов. Студент владеет только обязательным минимумом в пройденных разделах курса квантовой механики

### КМ-3. Контрольное мероприятие – 3

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольное мероприятие – 3 (КМ-3) проводится на практическом занятии 13 учебной недели в виде письменной контрольной работы, охватывающей содержание следующих разделов курса «Квантовая механика»: Уравнение Шредингера. Операторы импульса, координаты и энергии микрочастицы. Статистические характеристики динамических переменных. Соотношение неопределенностей. Студенты в течение 1 академического часа должны письменно ответить на контрольные вопросы и задания. Контрольная работа оценивается по 5-бальной шкале. Полученная студентом по результатам выполнения письменной контрольной работы оценка является баллом текущего контроля за КМ-3.

#### Краткое содержание задания:

1. Какой математический объект отображает понятие динамической переменной (динамической функции) в квантовой механике? Каков физический смысл собственных функций и собственных значений оператора, представляющего некоторую динамическую переменную в квантовой механике?
2. Используя метод разделения пространственных переменных для решения уравнения Шредингера для свободной микрочастицы с тремя степенями свободы, определите оператор импульса и его собственную функцию для трехмерного случая.
3. Используйте принцип соответствия Бора для определения оператора Гамильтона. Запишите операторы кинетической и потенциальной энергии для одной микрочастицы и системы взаимодействующих микрочастиц. Запишите уравнение Шредингера и стационарное уравнение Шредингера, используя оператор Гамильтона.
4. Чему равна вероятность перехода между состояниями системы, если описывающие их волновые функции ортогональны? Выведите соотношение, выражающее принцип микроскопической обратимости.
5. Дайте определение понятиям «сопряженный и самосопряженный оператор». Постройте оператор, сопряженный оператору дифференцирования. Докажите, что квадрат любого самосопряженного оператора также является самосопряженным.
6. Вычислите среднее (ожидаемое) значение координаты и импульса микрочастицы с одной степенью свободы, находящейся в стационарном состоянии в поле, задаваемом как «потенциальная яма со стенками бесконечной высоты».
7. Докажите первую и вторую теоремы Эренфеста для микрочастицы с одной степенью свободы. Каков физический смысл теорем Эренфеста?
8. Найдите коммутатор операторов координаты и кинетической энергии микрочастицы с одной степенью свободы.
9. Найдите коммутатор операторов импульса и потенциальной энергии микрочастицы с одной степенью свободы.
10. Выведите неравенство Гейзенберга. На этой основе докажите соотношение неопределенностей между координатой и импульсом микрочастицы с одной степенью свободы.

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: Основные принципы и теоретический аппарат классической и квантовой физики | 1.1. Какой математический объект отображает понятие динамической переменной (динамической функции) в квантовой механике? Каков физический смысл собственных функций и собственных значений оператора, представляющего некоторую |
|--|---|

|   |  |
|---|--|
|   | <p>динамическую переменную в квантовой механике?</p> <p>2. Используя метод разделения пространственных переменных для решения уравнения Шредингера для свободной микрочастицы с тремя степенями свободы, определите оператор импульса и его собственную функцию для трехмерного случая.</p> <p>3. Используйте принцип соответствия Бора для определения оператора Гамильтона. Запишите операторы кинетической и потенциальной энергии для одной микрочастицы и системы взаимодействующих микрочастиц. Запишите уравнение Шредингера и стационарное уравнение Шредингера, используя оператор Гамильтона.</p> <p>4. Дайте определение понятиям «сопряженный и самосопряженный оператор». Постройте оператор, сопряженный оператору дифференцирования. Докажите, что квадрат любого самосопряженного оператора также является самосопряженным.</p> <p>5. Докажите первую и вторую теоремы Эренфеста для микрочастицы с одной степенью свободы. Каков физический смысл теорем Эренфеста?</p> |
| <p>Уметь: Вычислять энергетические и другие физические характеристики микрочастиц вещества, используя уравнение Шредингера.</p> | <p>1.1. Чему равна вероятность перехода между состояниями системы, если описывающие их волновые функции ортогональны? Выведите соотношение, выражающее принцип микроскопической обратимости.</p> <p>2. Вычислите среднее (ожидаемое) значение координаты и импульса микрочастицы с одной степенью свободы, находящейся в стационарном состоянии в поле, задаваемом как «потенциальная яма со стенками бесконечной высоты».</p> <p>3. Найдите коммутатор операторов координаты и кинетической энергии микрочастицы с одной степенью свободы.</p> <p>4. Найдите коммутатор операторов импульса и потенциальной энергии микрочастицы с одной степенью свободы.</p> <p>5. Выведите неравенство Гейзенберга. На этой основе докажите соотношение неопределенностей между координатой и импульсом микрочастицы с одной степенью свободы.</p>   |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 91*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показана совокупность осознанных знаний по пройденным темам, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответы изложены с использованием современной научной терминологии.

*Могут быть допущены некоторые недочеты в ответах*

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 81

*Описание характеристики выполнения знания:* Показаны знания пройденных разделов курса квантовой механики почти в полном объеме (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); даны полноценные ответы на вопросы контрольной работы; не всегда выделено наиболее существенное, но не допущено серьезных ошибок в ответах; ответы на вопросы представлены в объеме, превышающем обязательный минимум.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 71

*Описание характеристики выполнения знания:* Показано владение основным объемом знаний по пройденным разделам курса квантовой механики; имеются затруднения в некоторых ответах, неточные формулировки; в ответах допускаются ошибки по существу вопросов. Студент владеет только обязательным минимумом в пройденных разделах курса квантовой механики

#### **КМ-4. Контрольное мероприятие – 4**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольное мероприятие – 4 (КМ-4) проводится на практическом занятии 14 учебной недели в виде письменной контрольной работы, охватывающей содержание следующих разделов курса «Квантовая механика»: Микрочастица в поле центральной силы. Стационарные состояния системы двух взаимодействующих микрочастиц. Студенты в течение 1 академического часа должны письменно ответить на контрольные вопросы и задания. Контрольная работа оценивается по 5-балльной шкале. Полученная студентом по результатам выполнения письменной контрольной работы оценка является баллом текущего контроля за КМ-4.

**Краткое содержание задания:**

1. Запишите определение момента импульса для микрочастицы в квантовой механике. Докажите, что операторы проекций момента импульса являются самосопряженными.
2. Используя определения операторов проекций момента импульса, вычислите коммутатор операторов различных проекций моментов импульса. Что следует из того факта, что операторы проекций момента импульса микрочастицы не коммутируют друг с другом?
3. Какие динамические переменные одновременно имеют определенные значения, т.е. являются интегралами движения в задаче о стационарных состояниях микрочастицы в поле центральной силы?
4. Методом разделения переменных покажите, как задачу об определении стационарных состояний микрочастицы в поле центральной силы свести к системе уравнений для радиальных и угловых волновых функций.
5. Как корректно сформулировать закон сохранения момента импульса микрочастицы с учетом требований квантовой механики? Остается ли справедливым с учетом требований квантовой механики закон сохранения энергии микрочастицы в поле центральной силы?
6. Запишите радиальное уравнение для атома водорода в безразмерных переменных. Чему равны характерные значения расстояния и энергии, используемые при переходе к безразмерным переменным?
7. Найдите асимптотики радиального уравнения для связанных состояний в атоме водорода в безразмерных переменных при малых и больших расстояниях. Поясните ход решения радиального уравнения для атома водорода в безразмерных переменных при

определении связанных состояний. Установите соотношение между коэффициентами разложения в ряд функции, определяющей вид радиальной волновой функции. Каково соотношение между главным, орбитальным (колебательным) и азимутальным квантовыми числами в атоме водорода?

8. Используя выражение для радиальной волновой функции основного состояния атома водорода, найдите наиболее вероятное и среднее расстояние электрона от ядра в основном состоянии.

9. Руководствуясь формулой для подсчета энергетических уровней, изобразите качественно энергетический спектр атома водорода в виде зависимости от колебательного (орбитального) квантового числа при нескольких значениях азимутального квантового числа. На основе полученного изображения объясните природу случайного вырождения энергетических уровней в атоме водорода.

10. Какие экспериментальные данные (и с какой точностью) подтверждают результаты теоретического расчета энергетических уровней атома водорода и водородоподобных ионов?

### Контрольные вопросы/задания:

|   |   |
|---|---|
| <p>Знать: Методы описания стационарных связанных состояний и состояний рассеяния одной микрочастицы во внешнем силовом поле, а также системы двух взаимодействующих микрочастиц</p> | <p>1.1. Какие динамические переменные одновременно имеют определенные значения, т.е. являются интегралами движения в задаче о стационарных состояниях микрочастицы в поле центральной силы?<br/>                 2. Как корректно сформулировать закон сохранения момента импульса микрочастицы с учетом требований квантовой механики? Остается ли справедливым с учетом требований квантовой механики закон сохранения энергии микрочастицы в поле центральной силы?<br/>                 3. Запишите радиальное уравнение для атома водорода в безразмерных переменных. Чему равны характерные значения расстояния и энергии, используемые при переходе к безразмерным переменным?<br/>                 4. Руководствуясь формулой для подсчета энергетических уровней, изобразите качественно энергетический спектр атома водорода в виде зависимости от колебательного (орбитального) квантового числа при нескольких значениях азимутального квантового числа. На основе полученного изображения объясните природу случайного вырождения энергетических уровней в атоме водорода.<br/>                 5. Какие экспериментальные данные (и с какой точностью) подтверждают результаты теоретического расчета энергетических уровней атома водорода и водородоподобных ионов?</p> |
| <p>Уметь: Вычислять энергетические и другие физические характеристики вещества, используя уравнение Шредингера.</p>   | <p>1.1. Запишите определение момента импульса для микрочастицы в квантовой механике. Докажите, что операторы проекций момента импульса являются самосопряженными.<br/>                 2. Используя определения операторов проекций момента импульса, вычислите коммутатор</p>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>операторов различных проекций моментов импульса. Что следует из того факта, что операторы проекций момента импульса микрочастицы не коммутируют друг с другом?</p> <p>3. Методом разделения переменных покажите, как задачу об определении стационарных состояний микрочастицы в поле центральной силы свести к системе уравнений для радиальных и угловых волновых функций.</p> <p>4. Найдите асимптотики радиального уравнения для связанных состояний в атоме водорода в безразмерных переменных при малых и больших расстояниях. Поясните ход решения радиального уравнения для атома водорода в безразмерных переменных при определении связанных состояний. Установите соотношение между коэффициентами разложения в ряд функции, определяющей вид радиальной волновой функции. Каково соотношение между главным, орбитальным (колебательным) и азимутальным квантовыми числами в атоме водорода?</p> <p>5. Используя выражение для радиальной волновой функции основного состояния атома водорода, найдите наиболее вероятное и среднее расстояние электрона от ядра в основном состоянии.</p> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 91*

*Описание характеристики выполнения знания:* Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показана совокупность осознанных знаний по пройденным темам, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Ответы изложены с использованием современной научной терминологии.

Могут быть допущены некоторые недочеты в ответах

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 81*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показаны знания пройденных разделов курса квантовой механики почти в полном объеме (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); даны полноценные ответы на вопросы контрольной работы; не всегда выделено наиболее существенное, но не допущено серьезных ошибок в ответах; ответы на вопросы представлены в объеме, превышающем обязательный минимум.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 71*

*Описание характеристики выполнения знания:* Показано владение основным объемом знаний по пройденным разделам курса квантовой механики; имеются затруднения в некоторых ответах, неточные формулировки; в ответах допускаются ошибки по существу вопросов. Студент владеет только обязательным минимумом в пройденных разделах курса квантовой механики

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 5 семестр

### Форма промежуточной аттестации: Экзамен

#### Пример билета

Пример экзаменационного билета по курсу “Квантовая механика”

1. Уравнения Максвелла. Элементарная частица. Сила Лоренца для классической частицы. Плотность заряда и дельта-функция Дирака. Уравнение непрерывности для зарядовой плотности. Плотность электрического тока.
2. Процедура решения стационарного уравнения Шрёдингера для микрочастицы, находящейся в поле центральной силы. Как в процессе этого решения используются результаты квантовой теории момента импульса? Какие динамические переменные одновременно имеют определённые значения и почему? Объясните, как распространить результаты решения этой задачи на описание относительного движения двух микрочастиц.
3. Вычислите среднее значение координаты микрочастицы, находящейся в стационарном состоянии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной “яме”.

#### Процедура проведения

Экзамен по курсу "Квантовая механика" проводится в устной форме по экзаменационным билетам. Время на подготовку ответа на экзаменационный билет составляет не менее 1 академического часа.

#### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Владеет навыками расчета теплофизических свойств рабочих тел, используемых в энергетическом оборудовании

#### Вопросы, задания

1.Экзаменационный билет № 1

1. Законы Ньютона в классической механике. Принцип относительности Галилея. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии для системы, состоящей из  $N$  частиц. Функция Лагранжа для системы, состоящей из  $N$  частиц во внешнем поле. Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.
2. Вычисление волновых функций и энергетических уровней атома водорода и водородоподобных ионов. Главное, радиальное (колебательное), азимутальное и магнитное квантовые числа. Вырождение энергетических уровней. Случайное вырождение. Характер энергетического спектра. Как сравнить результаты полученного решения с экспериментом? Каковы результаты такого сравнения?
3. Докажите, что оператор  $\hat{L}_z$ , сопряжённый произведению операторов  $\hat{L}_x$  и  $\hat{L}_y$ , равен произведению сопряжённых операторов в обратном порядке:

2.Билет № 2

1. Функция Гамильтона для системы, состоящей из  $N$  частиц во внешнем поле. Уравнения Гамильтона. Фазовое пространство. Уравнение движения для динамической переменной (функции). Скобки Пуассона. Интегралы движения.
2. Потенциальная энергия сил химической связи атомов в двухатомной молекуле. Вычисление волновых функций, описывающих состояния относительного движения атомов, и колебательно–вращательных энергетических уровней молекулы. Колебательное, азимутальное (вращательное) и магнитное квантовые числа. Вырождение энергетических уровней. Модель «гармонический осциллятор — жёсткий ротатор». Характер энергетического спектра.
3. Докажите, что для любого оператора произведение оператора и сопряженного ему является самосопряжённым и положительно определённым оператором.

#### 3. Экзаменационный билет № 3

1. Принцип относительности Эйнштейна. Скорость распространения взаимодействий. Интервал между событиями. Мировая точка и мировая линия. Преобразование Лоренца. Соотношение между энергией, импульсом и скоростью свободной релятивистской частицы.
2. Вычисление радиальной части волновой функции микрочастицы в центральном поле сил и решение одномерного уравнения Шрёдингера с эффективной потенциальной энергией. Каков возможный характер решений этого уравнения для различных центральных сил? Колебательное (радиальное), азимутальное (вращательное) и магнитное квантовые числа. Объясните, как распространить результаты решения рассмотренной задачи на описание относительного движения двух микрочастиц.
3. Докажите, что операторы импульса и координаты — самосопряжённые.

#### 4. Экзаменационный билет № 4

1. Уравнения Максвелла. Элементарная частица. Сила Лоренца для классической частицы. Плотность заряда и дельта–функция Дирака. Уравнение непрерывности для зарядовой плотности. Плотность электрического тока.
2. Процедура решения стационарного уравнения Шрёдингера для микрочастицы, находящейся в поле центральной силы. Как в процессе этого решения используются результаты квантовой теории момента импульса? Какие динамические переменные одновременно имеют определённые значения и почему? Объясните, как распространить результаты решения этой задачи на описание относительного движения двух микрочастиц.
3. Вычислите среднее значение координаты микрочастицы, находящейся в стационарном состоянии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной “яме”.

#### 5. Экзаменационный билет № 5

1. Работа, совершаемая электромагнитным полем над зарядом. Плотность энергии электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга и его физический смысл.
2. Уравнения на собственные функции и собственные значения операторов проекций и квадрата момента импульса. Какими значениями абсолютной величины и проекций момента импульса может обладать микрочастица, находящаяся в поле центральной силы? Азимутальное (вращательное) и магнитное квантовые числа. В каком смысле можно говорить о сохранении момента импульса квантовой микрочастицы? В чём различия закона сохранения момента импульса в квантовой и классической механике?
3. Выведите коммутационное соотношение между операторами импульса и Гамильтона для микрочастицы с одной степенью свободы

#### 6. Экзаменационный билет № 6

1. Электростатическое взаимодействие заряженных частиц. Закон Кулона. Уравнение Пуассона для потенциала электрического поля и его решение для точечного заряда. Потенциальная энергия системы точечных зарядов.

2. Момент импульса как интеграл движения материальной точки в поле центральной силы в классической механике. Используя принцип соответствия Бора, дайте определения операторов проекций и квадрата момента импульса в квантовой механике и установите коммутационные соотношения между ними. Что можно сказать, исходя из этих соотношений, о состояниях микрочастицы в центральном поле, в которых рассматриваемые динамические переменные могут одновременно иметь определённые значения?

3. Выведите коммутационное соотношение между операторами координаты и Гамильтона для микрочастицы с одной степенью свободы:

#### 7. Экзаменационный билет № 7

1. Электромагнитные волны. Волновое уравнение и его решение для одномерного случая. Взаимное расположение векторов напряженностей электрического и магнитного полей и направления распространения плоской электромагнитной волны. Соотношение между длиной волны, волновым вектором и частотой в монохроматической электромагнитной волне.

2. Теоремы о собственных функциях коммутирующих самосопряжённых операторов. Какое значение эти теоремы имеют для математического аппарата квантовой механики? Используя эти теоремы, объясните, почему физические величины, представляемые коммутирующими операторами, одновременно имеют определённые значения, а представляемые не коммутирующими операторами — лишь в порядке исключения? Как это согласуется с теоремой (неравенством) Гейзенберга? Приведите примеры.

3. Выведите и прокомментируйте соотношение неопределённостей между энергией и импульсом для микрочастицы с одной степенью свободы:

#### 8. Экзаменационный билет № 8

1. Распределение Планка для черного излучения. Закон Рэлея–Джинса и «ультрафиолетовая» катастрофа. Формула Вина. Закон Стефана–Больцмана.

2. Динамическое уравнение Гейзенберга. Докажите теоремы Эренфеста, используя это уравнение, а также коммутационные соотношения между операторами координаты и импульса и оператором Гамильтона микрочастицы.

3. Вычислите среднее значение импульса микрочастицы, находящейся в стационарном состоянии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной «яме»

#### 9. Экзаменационный билет № 9

1. Законы фотоэлектрического эффекта. Кванты излучения. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

2. Теорема (неравенство) Гейзенберга. Докажите соотношения неопределённостей для динамических переменных как следствие из теоремы Гейзенберга. Выведите соотношения неопределённостей для координат и импульсов.

3. Вычислите волновые функции стационарных связанных состояний и соответствующие энергетические уровни микрочастицы массы  $m$ , находящейся в одномерной потенциальной «яме» конечной глубины, ограниченной непроницаемой стенкой.

#### 10. Экзаменационный билет № 10

1. Теплоемкость твердого тела. Закон Дюлонга и Пти. Формула Эйнштейна. Формула Дебая и теплоемкость твердого тела при низких температурах.

2. Коммутатор двух операторов. Приведите примеры коммутирующих и не коммутирующих операторов, представляющих динамические переменные микрообъектов в квантовой механике. Выведите коммутационные соотношения для операторов координат и импульсов.

3. Вычислите волновые функции стационарных состояний и энергетические уровни микрочастицы массы  $m$ , находящейся в одномерной бесконечно глубокой потенциальной «яме».

#### 11. Экзаменационный билет № 11

1. Гипотеза Бора о стационарных состояниях атома с дискретными значениями энергии. Комбинационный принцип для частот излучения атома. Правила квантования Бора–Зоммерфельда для орбит электрона в поле неподвижного ядра.
2. Теоремы Эрэнфеста для микрочастицы с одной степенью свободы, находящейся в поле сил. Каков физический смысл соотношений, вытекающих из теорем Эрэнфеста? При каких условиях квантовое описание динамики микрочастицы переходит в классическое? Почему соотношения Эрэнфеста не удаётся использовать как инструмент для расчёта динамики микросистем?
3. Докажите, что собственные функции оператора Гамильтона микрочастицы, находящейся в стационарном состоянии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной “яме”, которые принадлежат разным собственным значениям этого оператора, ортогональны.

#### 12. Экзаменационный билет № 12

1. Квантовая теория Эйнштейна для равновесного излучения.
2. Вероятностный смысл коэффициентов разложения волновой функции по полной системе собственных функций самосопряжённого оператора, имеющего дискретный спектр собственных значений. Выведите формулу для расчёта среднего значения (математического ожидания) любой физической величины (динамической переменной) микросистемы в состоянии, описываемом заданной волновой функцией.
3. Выведите и прокомментируйте соотношение неопределённостей между энергией и координатой микрочастицы с одной степенью свободы.

#### 13. Экзаменационный билет № 13

1. Гипотеза световых квантов Эйнштейна. Законы сохранения энергии и импульса для процесса рассеяния кванта излучения на покоящемся электроны. Эффект Комптона.
2. Разложение волновой функции микросистемы по собственным функциям оператора, представляющего динамическую переменную этой микросистемы и обладающего непрерывным спектром собственных значений. Какие характеристики результатов измерений этой динамической переменной можно предсказать, зная коэффициенты разложения и собственные значения оператора?
3. Выведите коммутационное соотношение между операторами проекций момента импульса.

#### 14. Экзаменационный билет № 14

1. Корпускулярно-волновой дуализм для электромагнитного излучения. Законы сохранения энергии и импульса для взаимодействующих между собой фотонов и микрочастиц. Процессы поглощения, испускания и рассеяния электромагнитного излучения.
2. Разложение волновой функции микросистемы по собственным функциям оператора, представляющего динамическую переменную этой микросистемы и обладающего дискретным спектром собственных значений. Какие характеристики результатов измерений этой динамической переменной можно предсказать, зная коэффициенты разложения и собственные значения оператора?
3. Используя динамическое уравнение Гейзенберга, докажите первую теорему Эрэнфеста.

#### 15. Экзаменационный билет № 15

1. Гипотеза де Бройля. Соотношение между скоростью релятивистской микрочастицы и групповой скоростью соответствующей волны де Бройля. Дифракция микрочастиц. Разрешение противоречия между корпускулярной и волновой концепциями описания микрочастиц.

2. Теоремы о собственных функциях и собственных значениях самосопряжённых операторов и их доказательство. Какое значение имеют эти теоремы для математического аппарата квантовой механики? Что подразумевается под полнотой системы собственных функций?

3. Вычислите волновые функции стационарных состояний и энергетические уровни микрочастицы массы  $m$ , находящейся в трехмерной бесконечно глубокой потенциальной “яме”.

16. Экзаменационный билет № 16

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Пример его реализации в эксперименте. Соотношение между полушириной волнового пакета, описываемого функцией Гаусса, и полушириной преобразования Фурье для такого пакета.

2. Сопряженный и самосопряжённый операторы. Найдите оператор, сопряжённый оператору дифференцирования по координате. Сформулируйте (не доказывая) теорему о собственных значениях самосопряжённых операторов. Почему динамические переменные микрообъектов представляются в математическом аппарате квантовой механики только самосопряжёнными операторами?

3. Вычислите волновые функции и энергетические уровни микрочастицы массы  $m$  с одной степенью свободы, находящейся в стационарных связанных состояниях в поле силы гармонического осциллятора.

17. Экзаменационный билет № 17

1. Принцип линейной суперпозиции для волновой функции. Вероятностное толкование волновой функции, определенной в конфигурационном пространстве, и волновой функции, определенной в импульсном пространстве, на примере рассмотрения одной и двух частиц. Ожидаемые значения пространственного положения и импульса частицы.

2. Типичные особенности решений квантовых задач о стационарных состояниях рассеяния микрочастицы на примере одномерных потенциальных барьерах (существование нетривиальных решений уравнения Шредингера, характер энергетического спектра, поведение волновых функций и их нормировка, туннельный эффект, надбарьерное отражение). Сравните результаты этих решений с классической картиной инфинитного движения материальной точки. Дайте определения коэффициентов отражения частицы от барьера и её прохождения через барьер (прозрачности барьера).

3. Выведите коммутационное соотношение между операторами квадрата и проекции момента импульса.

18. Экзаменационный билет № 18

1. Уравнение Шредингера для волновой функции микрочастицы и системы микрочастиц в поле сил. Можно ли вывести это уравнение, используя законы классической физики? Условия однозначности, необходимые для решения уравнения Шредингера, и требования, предъявляемые к его решениям.

2. Основное свойство оператора координаты микрочастицы. Каким требованиям должны удовлетворять собственные функции и собственные значения этого оператора? Постройте пространственную зависимость квадрата модуля собственной функции оператора координаты, используя дельта-функцию Дирака для одномерного и трехмерного случаев.

3. Используя динамическое уравнение Гейзенберга, докажите вторую теорему Эренфеста.

19. Экзаменационный билет № 19

1. Стационарные состояния микрочастицы и системы микрочастиц. Какой фундаментальный закон сохранения выполняется для стационарных состояний в соответствии с классической физикой? Остаётся ли он справедливым в квантовой механике? Как найти волновую функцию микросистемы, находящейся в стационарном состоянии? Какова характерная особенность квантовых стационарных состояний?

2. Скалярное произведение волновых функций микросистемы и его основное свойство. Вероятность перехода между состояниями микросистемы. Принцип микроскопической обратимости. Как вычислить вероятность результата измерения физической величины в заданном состоянии микросистемы?
3. Найдите собственные функции и собственные значения радиального уравнения, определяющего стационарные волновые функции и энергетические уровни атома водорода и водородоподобных ионов.

#### 20. Экзаменационный билет № 20

1. Типичные особенности решений одномерных квантовых задач о стационарных связанных состояниях микрочастицы (существование нетривиальных решений уравнения Шредингера, характер энергетического спектра, поведение волновых функций и их нормировка). Сравните результаты этих решений с классической картиной финитного движения материальной точки.
2. Собственные функции оператора импульса микрочастицы с одной степенью свободы в одномерном случае. Установите вид оператора импульса для этого случая. Оператор импульса и его собственные волновые функции для одной микрочастицы в трёхмерном случае.
3. Вычислите коэффициенты прохождения через одномерный прямоугольный барьер и отражения от барьера для микрочастицы заданной массы и постройте графики зависимостей найденных коэффициентов от энергии микрочастицы.

#### 21. Экзаменационный билет № 21

1. Линейные операторы как представители динамических переменных микрочастиц и микросистем в квантовой механике. Собственные функции и собственные значения операторов в математическом аппарате квантовой механики и их физический смысл.
2. Оператор Гамильтона микрочастицы с одной и тремя степенями свободы. Как установить вид этого оператора, используя принцип соответствия Бора и предполагая, что операторы координаты и импульса и их свойства известны. Покажите, что собственными функциями этого оператора являются решения стационарного уравнения Шредингера.
3. Докажите, что если два оператора — самосопряжённые, то их произведение — самосопряжённый оператор только в случае, если эти операторы коммутируют.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Вопрос №1. Главное квантовое число состояния электрона в атоме водорода  $n = 2$ . Орбитальное квантовое число при этом может принять значения ...

Ответы:

1. Главное квантовое число состояния электрона в атоме водорода  $n = 2$ . Орбитальное квантовое число при этом может принять значения ...

Ответы:

- 1)  $l = 0$ ;
- 2)  $l = 1$ ;
- 3)  $l = 2$ ;
- 4)  $l = 3$ .

Верный ответ: 1)  $l = 0$ ; 2)  $l = 1$ ;

2. Вопрос №2. Верно, что ...

Ответы:

2. Верно, что ...

Ответы:

- 1) наблюдение волновых свойств материального объекта делает невозможным одновременное наблюдение его корпускулярных свойств;
- 2) исследование волновых свойств материального объекта делает ненужным исследование его корпускулярных свойств;
- 3) наблюдение корпускулярных свойств материального объекта делает невозможным одновременное наблюдение его волновых свойств;
- 4) исследование корпускулярных свойств материального объекта делает ненужным исследование его волновых свойств.

Верный ответ: 1) наблюдение волновых свойств материального объекта делает невозможным одновременное наблюдение его корпускулярных свойств; 3) наблюдение корпускулярных свойств материального объекта делает невозможным одновременное наблюдение его волновых свойств;

3. Вопрос №3. Дополнительными физическими величинами являются:

Ответы:

3. Дополнительными физическими величинами являются:

Ответы:

- 1) Энергия и импульс;
- 2) Координата и импульс;
- 3) Координата и время.

Верный ответ: 2) Координата и импульс;

4. Вопрос №4. Укажите формулу для расчёта длины волны де Бройля.

Ответы:

4. Укажите формулу для расчёта длины волны де Бройля.

Ответы:

- 1)  $h / mc$ ;
- 2)  $h / p$ ;
- 3)  $d \sin(\alpha) / m$ ;
- 4)  $2d \sin(\alpha) / m$ .

Верный ответ: 2)  $h / p$ ;

5. Вопрос №5. Укажите явления, в которых проявляется волновая природа электрона.

Ответы:

5. Укажите явления, в которых проявляется волновая природа электрона.

Ответы:

- 1) Дифракция электронов.
- 2) Термоэлектронная эмиссия.
- 3) Фотоэлектрический эффект.
- 4) Эффект Комптона.

Верный ответ: 1) Дифракция электронов.

6. Вопрос №6. Результаты опытов Дэвиссона и Джермера подтверждают ...

Ответы:

6. Результаты опытов Дэвиссона и Джермера подтверждают ...

Ответы:

- 1) Волновые свойства света.
- 2) Волновую природу электронов.
- 3) Корпускулярные свойства электронов.
- 4) Квантовый характер поглощения света

Верный ответ: 2) Волновую природу электронов.

7. Вопрос №7. Укажите, какие выводы следуют из соотношения неопределённости Гейзенберга.

Ответы:

7. Укажите, какие выводы следуют из соотношения неопределённости Гейзенберга.

Ответы:

- 1) Микрочастица не может иметь одновременно вполне определённые значения координаты и импульса.
- 2) Чем точнее для микрочастицы определена одна из величин – координата или импульс, – тем больше становится неточность в определении другой.
- 3) Микрочастица может иметь одновременно вполне определённые значения координаты и импульса.

Верный ответ: 1) Микрочастица не может иметь одновременно вполне определённые значения координаты и импульса. 2) Чем точнее для микрочастицы определена одна из величин – координата или импульс, – тем больше становится неточность в определении другой.

8. Вопрос №8. Укажите неверное утверждение.

Ответы:

8. Укажите неверное утверждение.

Ответы:

- 1) В основном состоянии атом может находиться сколь угодно долго.
- 2) Все возможные состояния атома – стационарные состояния.
- 3) В возбужденном состоянии атома происходит излучение.
- 4) Среднее время жизни возбужденного состояния атома порядка  $10^{-8}$  сек.

Верный ответ: 2) Все возможные состояния атома – стационарные состояния.

9. Вопрос №9. Для описания поведения микрочастицы не применимы понятия ...

Ответы:

9. Для описания поведения микрочастицы не применимы понятия ...

Ответы:

- 1) Траектория движения.
- 2) Координата.
- 3) Энергия микрочастицы.
- 4) Волновая функция.

Верный ответ: 1) Траектория движения. 2) Координата.

10. Вопрос №10. Плотность вероятности нахождения микрообъекта в данной точке пространства определяет ...

Ответы:

10. Плотность вероятности нахождения микрообъекта в данной точке пространства определяет ...

Ответы:

- 1) Траектория движения.
- 2) Координата.
- 3) Энергия микрочастицы.
- 4) Квадрат модуля волновой функции.

Верный ответ: 4) Квадрат модуля волновой функции.

11. Вопрос №11. Волновая функция характеризует ...

Ответы:

11. Волновая функция характеризует ...

Ответы:

- 1) Значение координаты микрочастицы.
- 2) Значение импульса микрочастицы.
- 3) Состояние микрочастицы в квантовой системе.

Верный ответ: 3) Состояние микрочастицы в квантовой системе.

12. Вопрос №12. Энергия стационарного состояния водородоподобного атома с ростом главного квантового числа  $n$  ...

Ответы:

12. Энергия стационарного состояния водородоподобного атома с ростом главного квантового числа  $n$  ...

Ответы:

- 1) Не меняется.
- 2) Возрастает пропорционально квадрату  $n$ .
- 3) Изменяется обратно пропорционально квадрату  $n$ .
- 4) Изменяется линейно.

Верный ответ: 3) Изменяется обратно пропорционально квадрату  $n$ .

13. Вопрос №13. Укажите, какое из следующих утверждений соответствует принципу Паули

Ответы:

13. Укажите, какое из следующих утверждений соответствует принципу Паули

Ответы:

- 1) Состояние электрона в атоме характеризуется набором четырёх квантовых чисел.
- 2) В нормальном (невозбужденном) состоянии атома электроны должны располагаться на самых низких доступных для них энергетических уровнях.
- 3) В одном и том же атоме (или в какой-либо другой квантовой системе) не может быть двух электронов, обладающих одинаковой совокупностью четырёх квантовых чисел.
- 4) В квантовой системе первоначально заполняются состояния с наименьшей энергией.

Верный ответ: 3) В одном и том же атоме (или в какой-либо другой квантовой системе) не может быть двух электронов, обладающих одинаковой совокупностью четырёх квантовых чисел.

14. Вопрос №14. Укажите, какая из квантующихся физических величин в атоме водорода определяется орбитальным квантовым числом

Ответы:

14. Укажите, какая из квантующихся физических величин в атоме водорода определяется орбитальным квантовым числом

Ответы:

- 1) Собственный момент электрона.
- 2) Орбитальный момент импульса электрона.
- 3) Энергия электрона.
- 4) Проекция вектора орбитального момента импульса электрона на ось  $z$ .

Верный ответ: 2) Орбитальный момент импульса электрона.

15. Вопрос №15. Магнитным спиновым числом в атоме водорода определяется ...

Ответы:

15. Магнитным спиновым числом в атоме водорода определяется ...

Ответы:

- 1) Собственный момент электрона.

- 2) Орбитальный момент импульса электрона.
- 3) Энергия электрона.
- 4) Проекция вектора орбитального момента импульса электрона на ось z.
- 5) Проекция вектора собственного момента электрона на ось z.

Верный ответ: 5) Проекция вектора собственного момента электрона на ось z.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 91*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент владеет знаниями квантовой механики в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает квантовую механику самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы экзаменационного билета, подчеркивает при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделять в нем главное: устанавливать причинно-следственные связи; четко формирует ответы, решает задачи повышенной сложности; владеет знаниями основных принципов квантовой механики.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 81*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент владеет знаниями квантовой механики почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценные ответы на вопросы экзаменационного билета; не всегда выделяет наиболее существенное, не допускает вместе с тем серьезных ошибок в ответах; умеет решать легкие и средней тяжести задачи; умеет трактовать вопросы квантовой механики в объеме, превышающем обязательный минимум.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 71*

*Описание характеристики выполнения знания:* Студент владеет основным объемом знаний по квантовой механике; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов. Студент способен решать лишь наиболее легкие задачи, владеет только обязательным минимумом методов квантовой механики.

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Итоговая оценка (ИО) по курсу "Квантовая механика" выставляется на основании семестровой и экзаменационной составляющей и определяется как средневзвешенное значение следующих величин — балла текущего контроля (БТК) и оценки на экзамене (ОЭ):  
$$\text{ИО} = 0,4 * \text{БТК} + 0,6 * \text{ОЭ}.$$