

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

**Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Специальные вопросы физики**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лапина Л.Г.
	Идентификатор	R5051c6eb-LapinaLG-295ccd67

(подпись)

Л.Г. Лапина

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70cafb8

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(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. ОПК-1 способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

ИД-1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы

ИД-2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

ИД-3 Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана (Контрольная работа)

2. Квантовая механика электрона и атома (Контрольная работа)

3. Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов (Контрольная работа)

4. Математические основы квантовой теории (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

4 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Математические основы квантовой теории					
Математические основы квантовой теории		+			
Квантовая механика электрона и атома					
Квантовая механика электрона и атома			+	+	
Статистическая физика					
Статистическая физика			+	+	
Вес КМ:		10	20	20	50

§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
ОПК-1	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы	Знать: фундаментальные законы квантовой механики	Математические основы квантовой теории (Контрольная работа)
ОПК-1	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Уметь: рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки	Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов (Контрольная работа) Квантовая механика электрона и атома (Контрольная работа)
ОПК-1	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач	Уметь: определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты	Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана (Контрольная работа) Квантовая механика электрона и атома (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Математические основы квантовой теории

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на 45 минут

#### Краткое содержание задания:

Выразите частоту волны Де Бройля свободного нерелятивистского электрона через длину волны Де Бройля.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: фундаментальные законы квантовой механики	1. Выразите частоту волны Де Бройля свободного нерелятивистского электрона через длину волны Де Бройля. 2. С помощью соотношения неопределённостей оценить минимальную энергию электрона в одномерной потенциальной яме шириной $2a$ .
--	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено

### КМ-2. Квантово-механическое описание атома водорода и водородоподобных атомов или ионов

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на 45 минут

#### Краткое содержание задания:

Стационарные состояния гармонического осциллятора определяются целым неотрицательным числом  $n$ , каждому из которых отвечает энергия  $E_n$ . Чему равно отношение  $(E_2 - E_0)/E_1$ ?

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки</p>	<p>1. Частица движется вдоль оси <math>x</math> в потенциальном поле <math>U=0</math> при <math>x&lt;0</math> и <math>U=U_0</math> при <math>x&gt;0</math>. Энергия частицы превышает высоту барьера <math>U_0</math>. Чему равна вероятность того, что частица продолжит двигаться вдоль оси <math>x</math>, если плотность тока вероятности падающей и отраженной волн Де Бройля равны <math>j_0</math> и <math>j_1</math>?</p> <p>2. Стационарные состояния гармонического осциллятора определяются целым неотрицательным числом <math>n</math>, каждому из которых отвечает энергия <math>E_n</math>. Чему равно отношение <math>(E_2 - E_0)/E_1</math>?</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено*

**КМ-3. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Парамагнитный резонанс наблюдается в веществе, помещенном в магнитное поле. Чему равна индукция поля, если частота резонанса равна  $\omega$ , а фактор Ланде  $g=1$ ?

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты</p>	<p>1. Парамагнитный резонанс наблюдается в веществе, помещенном в магнитное поле. Чему равна индукция поля, если частота резонанса равна <math>\omega</math>, а фактор Ланде <math>g=1</math>?</p> <p>2. Электрон в атоме водорода находится в возбуждённом состоянии <math>n=2</math> атома водорода (<math>n</math> – главное квантовое число). В каких пределах может изменяться проекция углового момента на произвольно выбранное направление? Ответ выразить через постоянную Планка <math>\hbar</math>.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено

#### КМ-4. Квантовая механика электрона и атома

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа на 90 минут

#### Краткое содержание задания:

Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид:  $\psi(\vec{r}) = (\pi a^3)^{-1/2} e^{-r/a}$  ( $r$  – расстояние от электрона до ядра,  $a$  – боровский радиус). Найти вероятность обнаружения электрона за пределами первой боровской орбиты.

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки	1. Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид: $\psi(\vec{r}) = (\pi a^3)^{-1/2} e^{-r/a}$ ( $r$ – расстояние от электрона до ядра, $a$ – боровский радиус). Найти вероятность обнаружения электрона за пределами первой боровской орбиты.
Уметь: определять, какие законы квантовой механики обуславливают явления или процессы в устройствах различной физической природы, и выполнять применительно к ним простые технические расчёты	1. Классический осциллятор массы $m$ совершает гармонические колебания на частоте $\omega$ . Определить амплитуду колебаний $x_0$ , если их энергия совпадает с наименьшей энергией квантового осциллятора той же массы и частоты. Найти вероятность обнаружения квантового осциллятора в точках, координаты которых превышают по модулю $x_0$ (классически запрещенная область). Волновая функция основного состояния гармонического осциллятора: $\psi_0(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4} \exp\left(-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}\right)$ . Численное значение определенного интеграла $\int_1^\infty e^{-z^2} dz = 0,139$ .

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 4 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Квантовое состояние, стационарные и нестационарные состояния, волновая функция и вектор состояния. Принцип суперпозиции, суперпозиция квантовых состояний, линейное пространство состояний.

В спектре некоторых водородоподобных ионов длина волны третьей линии серии Бальмера равна 108,5 нм. Найти энергию связи электрона в основном состоянии этих ионов.

### Процедура проведения

Устная форма

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-1</sub> Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы

#### **Вопросы, задания**

1. Квантовое состояние, стационарные и нестационарные состояния, волновая функция и вектор состояния. Принцип суперпозиции, суперпозиция квантовых состояний, линейное пространство состояний.
2. Пространство квантовых состояний, сопряженное пространство, скалярное произведение. Ортонормированный базис, разложение по базисным состояниям. Проекция вектора состояния на базисное направление как комплексная амплитуда вероятности.
3. Наблюдаемые величины, квантовые измерения, статистические ансамбли. Совместные и несовместные наблюдаемые. Изображение наблюдаемых линейными операторами, правило соответствия наблюдаемых операторам. Операторы координаты и импульса, гамильтониан.
4. Оптические переходы в атоме, дипольные переходы, дипольное приближение для взаимодействия атома с электромагнитной волной, правила отбора для дипольных переходов, вероятности резонансных переходов в атоме под действием классической электромагнитной волны, механизмы уширения спектральных линий в газах, коэффициенты Эйнштейна.

#### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса имеет вид:  
Ответы:  
1)  $\Delta p_x^x \Delta x \geq h$ ; 2)  $\Delta p_x^x \Delta x \leq h$ ; 3)  $\Delta p_x^x \Delta x = h$ ; 4)  $\Delta p_x^x \Delta x = 0$   
Верный ответ: 1
2. Спектр собственных значений оператора является непрерывным. Это значит, что:  
Ответы:

1) оператор не имеет собственных значений; 2) оператор имеет конечное число собственных значений; 3) собственные значения можно пересчитать; 4) собственным значением является любое число из некоторого интервала значений.

Верный ответ: 4

3. Собственное значение оператора вырождено, если:

Ответы:

1) этому значению отвечает одна собственная функция; 2) этому значению отвечает две или более линейно независимых собственных функции; 3) это значение равно нулю; 4) это значение отрицательно.

Верный ответ: 2

4. Какие из перечисленных частиц относятся к классу бозонов?

Ответы:

1) электроны; 2) протоны; 3) нейтроны; 4) фотоны.

Верный ответ: 4

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-1</sub> Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

### Вопросы, задания

1. Алгебра операторов. Эрмитовы операторы и их свойства. Операторы координаты и импульса, гамильтониан, уравнение Шредингера.
2. Определите, на каком расстоянии от ядра с наибольшей вероятностью можно обнаружить электрон в атоме водорода в 1s- и 2p- состояниях.
3. Изобразить схему расщепления d- состояния водородоподобного атома в простом эффекте Зеемана. Определить энергетический интервал между соседними подуровнями и кратность вырождения каждого подуровня.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Частица находится в состоянии с определенной проекцией момента импульса на ось  $y$ :  $L_y = 4\hbar$ . Измеряют квадрат момента импульса. Какое из перечисленных значений могло быть при этом получено?

Ответы:

1)  $49\hbar$ ; 2)  $36\hbar$ ; 3)  $25\hbar$ ; 4)  $20\hbar$

Верный ответ: 4

2. Модуль энергии первого возбужденного состояния в атоме водорода:

Ответы:

- 1) больше энергии основного состояния в два раза;
- 2) меньше энергии основного состояния в два раза;
- 3) больше энергии основного состояния в четыре раза;
- 4) меньше энергии основного состояния в четыре раза.

Верный ответ: 4

3. 100 одинаковых частиц двигаются вдоль оси  $x$  в потенциальном поле  $U=0$  при  $x<0$  и  $U=U_0^0$  при  $x>0$ . Энергия частицы меньше высоты порога  $U_0^0$ . Вероятность прохождения частицы через потенциальный порог равна 0,3. От барьера отразятся:

Ответы:

1) 100 частиц; 2) 0 частиц; 3) 30 частиц; 4) 70 частиц.

Верный ответ: 4

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ОПК-1</sub> Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач

### Вопросы, задания

1. В спектре некоторых водородоподобных ионов длина волны третьей линии серии Бальмера равна 108,5 нм. Найти энергию связи электрона в основном состоянии этих ионов.
2. Энергия связи электрона в атоме гелия равна  $E_0=24,6$  эВ. Найти энергию, необходимую для удаления обоих электронов атома гелия.
3. Атом водорода, двигавшийся со скоростью  $v_0=3,26$  м/с, испустил фотон, соответствующий переходу из первого возбужденного состояния в основное. Найти угол  $\theta$  между направлением вылета фотона и первоначального движения атома, если кинетическая энергия атома в результате излучения не изменилась.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для вырожденного газа, состоящего из свободных тождественных частиц с полуцелым спином, справедливо распределение (укажите правильный ответ):

Ответы:

- 1) Максвелла;
- 2) Больцмана;
- 3) Бозе-Эйнштейна;
- 4) Ферми-Дирака.

Верный ответ: 4

2. Какая величина, составленная из параметров гармонического осциллятора с массой  $m$  и частотой  $\omega$ , имеет размерность энергии?

Ответы:

- 1)  $\hbar\omega$ ; 2)  $\hbar/\omega$ ; 3)  $m\hbar\omega$ ; 4)  $m\hbar/\omega$

Верный ответ: 1

3.  $d$ -состояние частицы в центральном поле, это:

Ответы:

- 1) третий возбужденный уровень энергии;
- 2) состояние с определенной проекцией момента на ось  $z$   $l_z^z = 2$ ;
- 3) состояние с определенным моментом  $l = 3$ ;
- 4) состояние с определенным моментом  $l = 2$ .

Верный ответ: 4

### II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом принципиальные ошибки

Оценка: 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.