

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники (ТУСУР)

Кафедра физики

“Утверждаю”  
Зав. каф. Физики  
----- Е.М. Окс  
“ ----- 2011 г.

**ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ  
И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

Сборник тестовых вопросов

Учебно-методическое пособие

Разработчик  
Доцент каф физики  
----- Ю.П. Чужков

2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ-----	3
1 ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ-----	4
2 ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ-----	18
3 ЭФФЕКТ КОМПТОНА-----	30
4 КОРПУСКУЛЯРНО - ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ, АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ-----	43
5 ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ-----	53
ПРИЛОЖЕНИЕ -----	66
ВВЕДЕНИЕ	

Сборник включает вопросы курса физики по разделу «Элементы атомной физики и квантовой механики». Он может быть использован студентами всех форм обучения (дневной, вечерней и заочной) при самостоятельной подготовке к коллоквиумам и экзаменам, а также преподавателем для контроля знаний студентов на практических занятиях.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения (ЭМИ);
- $\lambda_m$  - длина волны, соответствующая максимуму испускательной способности нагретого тела;
- $\lambda_c$  - комптоновская длина волны;
- $\nu$  - частота ЭМИ;
- $\nu_{\min}$  - частота ЭМИ, соответствующая "красной границе" фотоэффекта;
- $\Gamma_{\lambda, T}$  – испускательная способность нагретого тела;
- $\alpha, \alpha_{\lambda, T}$  – коэффициент поглощения, поглощательная способность нагретого тела соответственно;
- $R$  – интегральная энергетическая светимость нагретого тела;
- $T$  – абсолютная температура тела;

$A_{\text{в}}$  – работа выхода;  
 $u, u_{\text{max}}$  - скорость, (максимальная скорость) микрочастиц;  
 $U_3$  – задерживающее напряжение;  
 $I_{\text{нас}}$  – фототок насыщения;  
 $E$  - энергия фотона;  
 $E_{\text{е}}$  - энергия электрона отдачи;  
 $E_{\text{к}}$  - кинетическая энергия;  
 $E_{\text{п}}$  - потенциальная энергия;  
 $p_{\text{ф}}, p_{\text{э}}$  – импульсы фотона и электрона, соответственно;  
 $p$  - световое давление;  
 $w$  - объёмная плотность энергии;  
 $R_{\lambda}$  - постоянная Ридберга.

## 1 ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

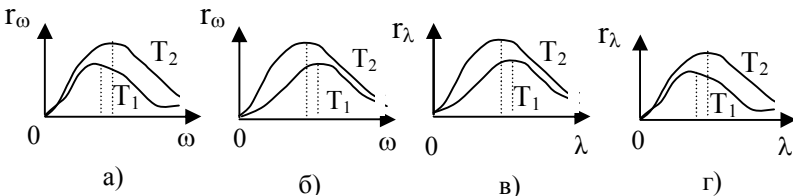
### 1.1 Вариант 1

**1.1.1** Укажите ошибочное утверждение, касающееся теплового излучения:

- а) под интегральной энергетической светимостью тела понимается поток энергии, испускаемой единицей поверхности тела по всем направлениям во всём диапазоне частот;
- б) закон Кирхгофа утверждает, что лучеиспускательная и поглощательная способности тела есть величины постоянные и от природы и свойств самого тела не зависят;
- в) электромагнитное излучение испускается телами в виде отдельных квантов, энергия которых пропорциональна частоте излучения;
- г) тепловое излучение – это равновесное излучение в замкнутой системе.

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) Все утверждения верны.

**1.1.2** Укажите номера рисунков, где правильно отражено изменение излучательной способности тела при увеличении его температуры ( $T_2 > T_1$ )



Ответы: 1) а, в; 2) а, г; 3) б, в; 4) б, г.

**1.1.3** На какую длину волны (в микрометрах) приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную  $t = 37^{\circ}\text{C}$ ?

Ответы: 1) 0,107; 2) 0,456; 3) 0,935; 4) 9,35; 5) 78,4.

**1.1.4** Во сколько раз надо увеличить температуру абсолютно черного тела, чтобы его интегральная светимость возросла в 16 раз?

Ответы: 1) 1,41; 2) 2; 3) 4; 4) 16; 5) 32.

**1.1.5** Температура абсолютно черного тела  $127^{\circ}\text{C}$ . После повышения температуры суммарная мощность излучения увеличилась в три раза. На сколько градусов повысилась при этом температура тела?

Ответы: 1) 399; 2) 147; 3) 126; 4) 117; 5) 98.

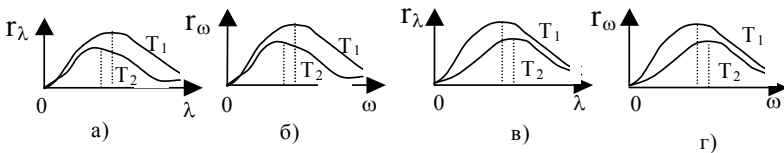
## 1.2 Вариант 2

**1.2.1** Закон Стефана-Больцмана устанавливает связь между ...

- а) лучеиспускательной способностью абсолютно черного тела;
- б) интегральной энергетической светимостью абсолютно черного тела;
- в) поглощательной способностью абсолютно черного тела;
- г) длиной волны теплового излучения;
- д) абсолютной температурой.

Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) б, г; 4) б, д; 5) а, г.

**1.2.2** Укажите номера рисунков, где правильно отражено изменение излучательной способности тела при уменьшении его температуры ( $T_2 < T_1$ )



Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) а, г; 4) в, г.

**1.2.3** Мощность излучения абсолютно черного тела равна 29,4 кВт. Найти температуру этого тела, если его поверхность составляет  $0,25\text{ м}^2$ . Ответ дать в СИ.

Ответы: 1) 900; 2) 1000; 3) 1200; 4) 1300; 5) 1470.

**1.2.4** Температура абсолютно черного тела увеличилась в 4 раза. При этом длина волны, соответствующая максимуму испускательной способности, изменилась на 3 мкм. Найти (в микрометрах) длину волны, соответствующую максимуму лучеиспускательной способности при начальной температуре тела.

Ответы: 1) 3,6; 2) 4; 3) 4,2; 4) 2,8; 5) 5,2.

**1.2.5** Найти массу, теряемую Солнцем каждую секунду за счет излучения, считая его излучение близким по спектральному составу к излучению абсолютно черного тела, для которого максимум испускательной способности приходится на длину волны 0,3 мкм. Радиус Солнца принять равным  $6,9 \cdot 10^8$  м. ( $b^4 = 70,73 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4 \text{ К}^4$ ,  $b$  – постоянная Вина).

Ответы: 1)  $5 \cdot 10^9$ ; 2)  $32,9 \cdot 10^9$ ; 3)  $3,29 \cdot 10^9$ ; 4)  $50 \cdot 10^9$

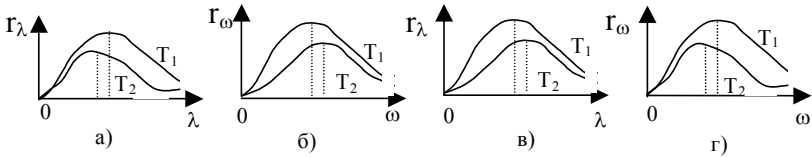
### 1.3 Вариант 3

**1.3.1** Укажите неверное (ые) утверждение (ия):

- а) энергетическая светимость тела – поток тепловой энергии, излучаемый единицей поверхности тела;
- б) лучеиспускательная способность тела – поток тепловой энергии, излучаемой единицей поверхности;
- в) поглощательной способностью тела называется отношение падающего на тело потока тепловой энергии к поглощенному;
- г) абсолютно черным называется тело, полностью поглощающее тепловой поток, падающий на него;
- д) утверждения 1) ÷ 4) – верны.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г; 7) д.

**1.3.2** Укажите номера рисунков, где неверно отражено изменение излучательной способности тела при уменьшении его температуры ( $T_2 < T_1$ )



Ответы: 1) а, б; 2) а, г; 3) б, в; 4) в, г.

**1.3.3** Имеется два абсолютно черных тела. Температура одного тела 2000 К. Найти (в СИ) температуру второго тела, если длина волны, отвечающая максимуму его лучеиспускательной способности, на 1,45 мкм больше длины волны, соответствующей максимуму лучеиспускательной способности первого тела.

Ответы: 1) 1750; 2) 1500; 3) 1000; 4) 950; 5) 2000.

**1.3.4** Из отверстия печи площадью  $10 \text{ см}^2$  излучается 250 кДж энергии за 1 минуту. Определить длину волны (в микрометрах), на которую приходится максимум энергии.

Ответы: 1) 1,2; 2) 1,5; 3) 2,6; 4) 1,0; 5) 3,4.

**1.3.5** Какую мощность излучения имеет Солнце? Излучение Солнца считать близким по спектральному составу к излучению абсолютно черного тела. Температура поверхности Солнца  $T = 6000 \text{ К}$ , радиус Солнца принять равным  $6,96 \cdot 10^8 \text{ м}$ . Ответ дать в Мегаваттах.

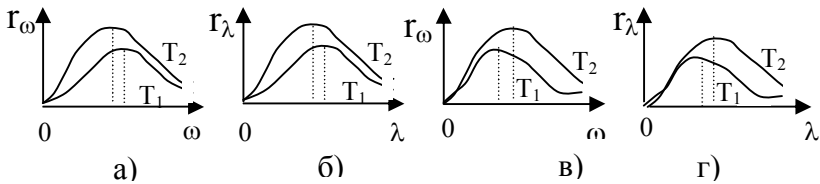
Ответы: 1)  $3,9 \cdot 10^{20}$ ; 2)  $4,47 \cdot 10^{20}$ ; 3)  $2,89 \cdot 10^{21}$ ; 4)  $6,2 \cdot 10^{21}$ ; 5)  $8,4 \cdot 10^{22}$ .

### 1.4 Вариант 4

**1.4.1** Два тела одинаковой формы и размеров, но обладающие разной поглощательной способностью ( коэффициент поглощения  $\alpha$  ), нагреты до одинаковой температуры, а затем помещены в вакуум. В результате излучения тела остывают. Какое тело остынет быстрее?

- 1) Имеющее больший коэффициент поглощения  $\alpha$ ;
- 2) имеющее меньший коэффициент поглощения  $\alpha$ ;
- 3) оба тела остывают с одинаковой скоростью;
- 4) недостаточно данных.

**1.4.2** Укажите номера рисунков, где неверно отражено изменение излучательной способности тела при увеличении его температуры ( $T_2 > T_1$ )



Ответы: 1) а, б; 2) а, г; 3) б, в; 4) в, г.

**1.4.3** Относительное изменение энергетической светимости с повышением температуры абсолютно черного тела составило  $(R_2 - R_1) / R_1 = 3$ . Во сколько раз уменьшилась длина волны, соответствующая максимуму лучеиспускательной способности?

Ответы: 1) 2; 2)  $\sqrt{2}$ ; 3)  $\sqrt{2}/2$ ; 4)  $2\sqrt{2}$ ; 5)  $1/2$ .

**1.4.4** Мощность излучения с единицы поверхности Земли в космос равна  $91 \text{ Дж} / (\text{см}^2 \text{с})$ . На какую длину волны приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, имеющего такую же мощность излучения с единицы поверхности. Ответ дать в микрометрах.

Ответы: 1) 2,9; 2) 1,45; 3) 0,725; 4) 5,8; 5) 3,8.



**1.4.5** Определить поглощательную способность серого тела, имеющего температуру 1000 К, если поверхность, площадь которой 0,01 м<sup>2</sup>, излучает за 1 минуту энергию 13,6 кДж.

Ответы: 1) 0,39; 2) 0,275; 3) 0,48; 4) 0,62; 5) 0,84.

### 1.5 Вариант 5

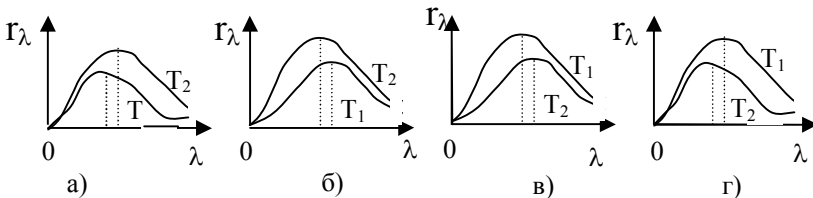
**1.5.1** Излучение можно характеризовать вместо частоты  $\omega$  длиной волны  $\lambda$ . Участку спектра  $d\omega$  будет соответствовать интервал длин волн  $d\lambda$ . Укажите правильное соотношение между  $d\omega$  и  $d\lambda$

$$\text{а) } d\lambda = \left| \frac{2\pi \cdot c}{\omega^2} \right| d\omega; \quad \text{б) } d\omega = \left| \frac{2\pi \cdot c}{\lambda^2} \right| d\lambda$$

$$\text{в) } d\omega = \left| \frac{\lambda^2}{2\pi \cdot c} \right| d\lambda; \quad \text{г) } d\lambda = \left| \frac{\omega^2}{2\pi \cdot c} \right| d\omega.$$

Ответы: 1) а, б;; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в,; 5) б, г ; 6) в, г.

**1.5.2** Укажите номер рисунка, где правильно изображено изменение спектральной плотности энергетической светимости тела при уменьшении его температуры ( $T_2 < T_1$ )



Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) Правильного ответа нет.

**1.5.3** Мощность излучения абсолютно черного тела равна 10 кВт. Найти (в СИ) площадь излучающей поверхности тела, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны 700 нм.

Ответы: 1)  $3,7 \cdot 10^{-4}$ ; 2)  $0,8 \cdot 10^{-3}$ ; 3)  $6 \cdot 10^{-4}$ ; 4)  $6 \cdot 10^{-2}$ ; 5)  $5,3 \cdot 10^{-4}$ .

**1.5.4** При температуре абсолютно черного тела 1000 К длина волны, соответствующая максимуму лучеиспускательной способности этого тела 2,9 мкм. На сколько микрометров изменится длина волны при увеличении температуры тела до 2500 К?

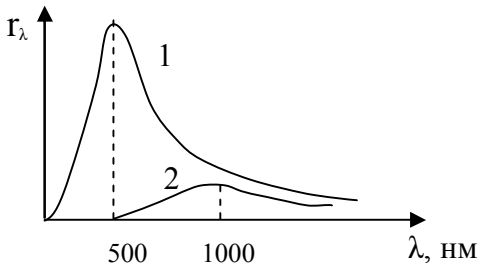
Ответы: 1) 1,36; 2) 0,83; 3) 0,27; 4) 1,74; 5) 1,95.

**1.5.5** При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от 675 нм до 450 нм. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?

Ответы: 1) 1,5; 2) 2,25; 3) 5,06; 4) 6,25; 5) 9.

## 1.6 Вариант 6

**1.6.1** На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела от длины волны при разных температурах. Если длина волны, соответствующая максимуму излучения, увеличилась в 2 раза то температура абсолютно чёрного тела ...



Ответы: 1) Увеличилась в 2 раза;  
 2) Уменьшилась в 2 раза;  
 3) Увеличилась в 16 раз;  
 4) Уменьшилась в 16 раз

**1.6.2** Как изменится:

- а) энергетическая светимость абсолютно черного тела;  
 б) частота света, соответствующая максимуму излучения;  
 при увеличении температуры тела?

Варианты ответов	1	2	3	4	5	6
а)	+	+	-	+	-	-
б)	+	-	+	0	-	0

Обозначения: (+) - увеличение, (-) - уменьшение, (0)-не изменится.

**1.6.3** Имеется два абсолютно черных тела. Температура первого тела равна 1500 К. Определить температуру второго тела, если длина волны, соответствующая максимуму лучеиспускательной способности первого тела относится к аналогичной длине волны для второго тела, как 4/5.

Ответы: 1) 2400; 2) 1875; 3) 1200; 4) 1000; 5) 975.

**1.6.4** С поверхности нагретого абсолютно чёрного тела площадью  $10 \text{ см}^2$  излучается 250 кДж энергии за 1 минуту. Определить длину волны, на которую приходится максимум испускательной способности. Ответ дать в микрометрах.

Ответы: 1) 0,8; 2) 0,9; 3) 1,0; 4) 1,23; 5) 1,5.

**1.6.5** Энергетическая светимость серого тела при температуре 200 К равна  $270 \text{ кДж} / (\text{м}^2 \cdot \text{час})$ . Определить коэффициент серости этого тела.

Ответ: 1) 0,38; 2) 0,67; 3) 0,75; 4) 0,82; 5) 0,92.

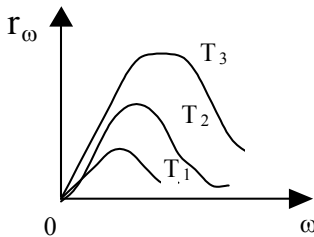
## 1.7 Вариант 7

### 1.7.1 Какое тело называется абсолютно черным?

- а) тело, в спектре излучения которого отсутствует видимый свет;
- б) тело, не отражающее видимый свет;
- в) тело, поглощающая способность которого равна 1;
- г) тело, энергетическая светимость которого зависит только от его температуры.

Ответы : 1) а, б; 2) в, г; 3) б, в; 4) а, г; 5) б, г.

**1.7.2** На рисунке приведена зависимость лучеиспускательной способности абсолютно черного тела от частоты излучения при различных температурах ( $T_3 > T_2 > T_1$ ). Как с помощью этого графика объяснить закон Стефана-Больцмана?



- а) С увеличением температуры  $T$  максимум  $\Gamma_\omega$  сдвигается в область больших частот пропорционально  $T^4$ ;
- б) с увеличением температуры  $T$  увеличивается лучеиспускательная способность пропорционально  $T^4$ ;
- в) с увеличением  $T$  площадь под кривой увеличивается пропорционально  $T^4$ .

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) б, в.

**1.7.3** На сколько уменьшается масса Солнца за 1 минуту вследствие излучения? Радиус Солнца  $R_\odot = 6,96 \cdot 10^8$  м. Температуру поверхности Солнца принять равной 5600 К. Ответ дать в килограммах.

Ответы: 1)  $2,26 \cdot 10^{10}$ ; 2)  $3,8 \cdot 10^{10}$ ; 3)  $7,6 \cdot 10^{10}$ ; 4)  $2,26 \cdot 10^{11}$ ; 5)  $3,8 \cdot 10^{11}$ .

**1.7.4** Температура вольфрамовой спирали в 25-ти ваттной электрической лампочке 2450 К. Отношение её энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре  $\alpha = 0,3$ . Найти площадь (в системе СИ) излучающей поверхности спирали.

Ответы: 1)  $2,5 \cdot 10^{-6}$ ; 2)  $4 \cdot 10^{-5}$ ; 3)  $5,2 \cdot 10^{-5}$ ; 4)  $6,4 \cdot 10^{-5}$ ; 5)  $8,3 \cdot 10^{-4}$ .

**1.7.5** Температура абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 3000 К. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость?

Ответы: 1) 3; 2) 9; 3) 12; 4) 64; 5) 81.

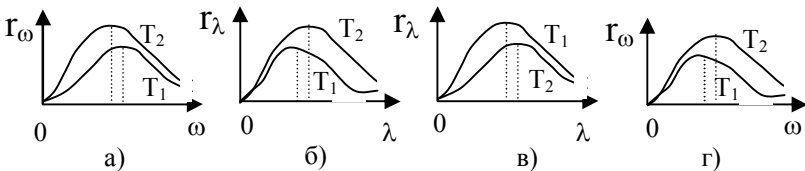
## 1.8 Вариант 8

**1.8.1** Среди перечисленных утверждений найти ошибочное:

- а) универсальная функция Кирхгофа  $f(\omega, T)$  есть ни что иное, как испускательная способность абсолютно черного тела;
- б) закон Кирхгофа определяет отношение поглощательной способности тела к его испускательной способности;
- в) абсолютно черным телом называется тело, которое полностью поглощает всё падающее на него излучение, независимо от его частоты, направления падающего излучения, его спектрального состава и поляризации, ничего не отражая и не пропуская.
- г) поглощательной способностью тела называется отношение падающего на тело потока тепловой энергии к поглощённой.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г.

**1.8.2** На каком из приведённых ниже рисунков правильно изображено изменение спектральной плотности энергетической светимости тела при увеличении его температуры ( $T_2 > T_1$ ) ?



Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) Правильного ответа нет.

**1.8.3** Какую мощность надо подводить к зачернённому металлическому шарикому радиусом 3 см, чтобы поддерживать его температуру на  $27^{\circ}\text{C}$  выше температуры окружающей среды, которая равна  $293\text{ K}$ ? Считать, что тепло теряется только вследствие излучения.

Ответы: 1) 3,0; 2) 4,2; 3) 5,4; 4) 6,0; 5) 6,7.

**1.8.4** Зачернённый шарик остывает от температуры  $32^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$ . На сколько микрометров изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?

Ответы: 1) 0,2; 2) 0,3; 3) 0,39; 4) 0,43; 5) 0,67.

**1.8.5** При какой температуре интегральная светимость поверхности серого тела с коэффициентом поглощения 0,2 равна энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру  $396^{\circ}\text{C}$ . Ответ дать в градусах Цельсия.

Ответы: 1) 563; 2) 727; 3) 1000; 4) 1027; 5) 1200.

## 1.9 Вариант 9

**1.9.1** Укажите ошибочное утверждение, касающееся теплового излучения:

а) спектральной плотностью энергетической светимости тела называется физическая величина, равная отношению энергии  $dW$ , излучаемой за единицу времени с единицы площади поверхности тела посредством электромагнитных волн в узком интервале частот от  $\omega$  до  $\omega + d\omega$  к ширине этого интервала  $d\omega$

$$r_{\omega} = dW/d\omega \quad (r_{\lambda} = dW/d\lambda);$$

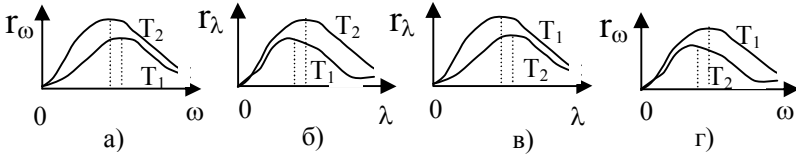
б) тепловое излучение имеет дискретный спектр, положение максимума которого зависит от температуры вещества;

в) тепловое излучение имеет сплошной спектр, положение максимума которого зависит от температуры вещества;

г) интегральная энергетическая светимость – это энергия, излучаемая со всей поверхности тела.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, г; 5) в, г.

**1.9.2** Укажите, на каком из рисунков правильно изображено изменение лучеиспускательной способности тела при изменении его температуры ( $T_2 > T_1$ )



Ответы: 1) а); 2) б); 3) в); 4) г); 5) Среди предложенных вариантов правильного ответа нет.

**1.9.3** Какую энергетическую светимость имеет абсолютно черное тело, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны 400 нм?

Ответы: 1)  $1,12 \cdot 10^8$ ; 2)  $1,43 \cdot 10^8$ ; 3)  $1,57 \cdot 10^8$ ; 4)  $1,82 \cdot 10^8$ ; 5)  $2,24 \cdot 10^8$ .

**1.9.4** Имеется два абсолютно черных тела. Температура одного тела 2200 К. Найти температуру второго, если длина волны, соответствующая максимуму его лучеиспускательной способности на 0,6 мкм меньше длины волны, соответствующей максимуму лучеиспускательной способности первого тела.

Ответы: 1) 2700; 2) 3450; 3) 4000; 4) 4270; 5) 4800.

**1.9.5** Мощность, излучаемая с единицы поверхности Земли в космос, равна  $10^6$  Дж/м<sup>2</sup>с. На какую длину волны (в микрометрах) приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, имеющего такую же мощность излучения с единицы поверхности?

Ответы: 1) 1,42; 2) 1,58; 3) 1,83; 4) 2,07; 5) 2,74.

### 1.10 Вариант 10

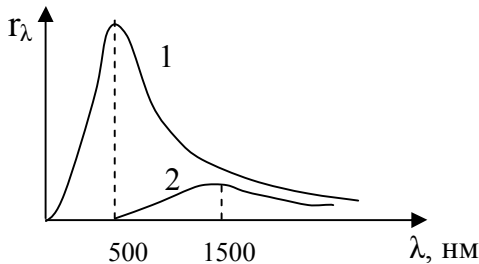
**1.10.1** Укажите, в каком из приведённых ниже соотношений правильно записана формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости тела

$$1) f(\omega, T) = \frac{h\omega^3}{4\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h\omega}{kT}\right) - 1}; \quad 2) r_\lambda = \frac{2\pi \cdot c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda \cdot kT}\right) - 1};$$

$$3) r_\lambda = \frac{2\pi \cdot c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}; \quad 4) f(\omega, T) = \frac{h\omega^3}{4\pi^2 \cdot c} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1};$$

$$5) r_\lambda = \frac{2\pi \cdot c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}.$$

**1.10.2** На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела от длины волны при разных температурах. Если кривая 2 соответствует спектру излучения абсолютно чёрного тела при температуре 1500 К, то кривая 1 соответствует температуре (в К)...



Ответы: 1) 2000; 2) 3000; 3) 4500; 4) 6000.



**1.10.3** Оставленный на скамейке мячик, нагрелся под действием солнечных лучей от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$ . Считая мячик абсолютно чёрным телом, определить, во сколько раз изменилась при этом его лучеиспускательная способность.

Ответы: 1) 1,48; 2) 1,63; 3) 1,94; 4) 2,37; 5) 2,75.

**1.10.4** Сигнальный фонарик питается от источника напряжением 36 Вольт. Сопротивление лампочки 5 Ом, площадь выходного отверстия фонарика  $10\text{ см}^2$ . Определить, какой длине волны (в пикометрах) соответствует максимум спектральной плотности энергетической светимости фонарика.

Ответы: 1) 0,72; 2) 0,93; 3) 1,35; 4) 1,98; 5) 2,57.

**1.10.5** Найти мощность, излучаемую черным кубиком со стороной 10 см, который находится в комнате при температуре  $27^{\circ}\text{C}$ . Ответ дать в СИ.

Ответы: 1) 27,6; 2) 39,5; 3) 34,7; 4) 43,2; 5) 56,3.

## 2 ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

### 2.1 Вариант 1

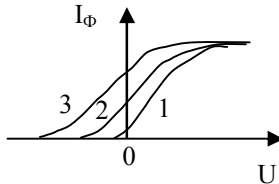
**2.1.1** От каких параметров зависит величина фототока насыщения?

- 1) от чистоты освещаемой поверхности;
- 2) от величины задерживающего потенциала;
- 3) от интенсивности падающего света;
- 4) от частоты падающего на металл света.

**2.1.2** Какое из предложенных ниже выражений описывает закон Столетова?

- 1)  $v_{\min} = A_{\text{в}}$ ; 2)  $\frac{p^2}{2m} = eU_{\text{з}}$ ; 3)  $I_{\text{нас}} \sim \Phi$ ; 4)  $mv^2/2 = hc/\lambda - A_{\text{в}}$

**2.1.3** Во время выполнения лабораторной работы по изучению фотоэффекта студентом получены три вольтамперные характеристики, приведённые на рисунке. Использовались три светофильтра – красный, зелёный и фиолетовый при неизменном световом потоке. Укажите номер кривой, соответствующей фиолетовому светофильтру.



**2.1.4** Определить наибольшую скорость фотоэлектрона, вылетевшего из цезия при освещении его светом длиной волны 331 нм. Работа выхода для цезия равна 2 эВ. Ответ дать в СИ.

Ответы: 1)  $2,5 \cdot 10^5$ ; 2)  $7,4 \cdot 10^5$ ; 3)  $1,2 \cdot 10^6$ ; 4)  $2,5 \cdot 10^6$ .

**2.1.5** Работа выхода электронов из закиси меди 5,15 эВ. Вызовет ли фотоэффект ультрафиолетовое излучение с длиной волны 300 нм?

Ответы: 1) да; 2) нет; 3) для ответа недостаточно данных.

## 2.2 Вариант 2

**2.2.1** Какие из предложенных ниже определений явления фотоэффекта верны? Внешним фотоэффектом называется:

- 1) потеря металлическими телами отрицательного электрического заряда при освещении их лучами света;
- 2) потеря металлическими телами положительного заряда при освещении их лучами света;
- 3) испускание электронов с поверхности металла при его нагревании;
- 4) испускание электронов жидкими и твёрдыми телами под действием света.

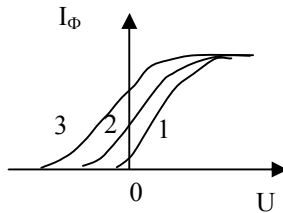
**2.2.2** Какое из приведённых ниже выражений **неверно** отражает суть понятия “красная граница” внешнего фотоэффекта?

- 1)  $2\pi\hbar c / \lambda_{\max} = A_{\text{в}}$ ; 2)  $eU_3 = mv^2 / 2$ ; 3)  $\omega_{\min} = A / \hbar$ ; 4)  $v_{\min} = A / \hbar$ .

**2.2.3** Для калия “красная граница” фотоэффекта равна 0,62 мкм. Какую максимальную скорость могут иметь фотоэлектроны, вылетающие при облучении калия фиолетовым светом с длиной волны  $\lambda = 0,42$  мкм?

Ответы: 1)  $2,9 \cdot 10^5$ ; 2)  $5,8 \cdot 10^5$ ; 3)  $1,8 \cdot 10^6$ ; 4)  $6,2 \cdot 10^6$ .

**2.2.4** На рисунке приведены три вольтамперные характеристики, полученные в ходе эксперимента. Какие можно сделать выводы из полученных зависимостей?



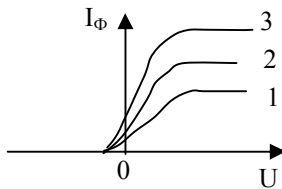
- а) катоды во всех трёх случаях выполнены из одного металла;
- б) катоды – из различных материалов;
- в) катоды освещались излучением различной частоты;
- г) катоды освещались излучением одной и той же частоты

Ответы: 1) а, в; 2) а, г; 3) б, в; 4) б, г.

**2.2.5** Отрицательно заряженная цинковая пластинка освещалась монохроматическим светом длиной волны 300 нм. Красная граница для цинка составляет 332 нм. Какой максимальный потенциал (в вольтах) приобретает цинковая 2) 0,34; 3) 0,4; 4) 0,53.

### 2.3 Вариант 3

**2.3.1** Фотокатод освещается источником света с регулируемой интенсивностью, при этом зависимость фототока от напряжения между анодом и катодом изображена на рисунке кривыми 1, 2 и 3.



Укажите номер кривой, соответствующей наибольшей интенсивности падающего на фотокатод света.

**2.3.2** Из приведённых ниже выражений, отражающих основные законы фотоэффекта, найдите *ошибочное*:

- 1) сила фототока насыщения тем больше, чем больше падающий на катод световой поток;
- 2) под действием света освобождаются отрицательные заряды;
- 3) максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется интенсивностью светового потока и не зависит от его частоты;
- 4) максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.

**2.3.3** Красная граница для некоторого металла равна 470 нм. Найти длину волны излучения, под действием которого из данного металла вырываются электроны, максимальная скорость которых равна 685 км/с. Ответ – в нанометрах.

Ответы: 1) 234; 2) 287; 3) 312; 4) 356.

**2.3.4** В опыте Столетова заряженная отрицательно цинковая пластинка освещалась светом от вольтовой дуги. До какого максимального потенциала зарядится цинковая пластинка, если она будет облучаться монохроматическим светом с длиной волны 228 нм? Работа выхода для цинка равна 3,74 эВ.

Ответы: 1) 1,24; 2) 1,52; 3) 1,71; 4) 1,96.

**2.3.5** Какие свойства вещества, из которого изготовлен фотокатод, в основном, определяют его работу выхода?

- а) состояние его поверхности; б) его теплопроводность;  
в) химическая природа вещества; г) плотность вещества.

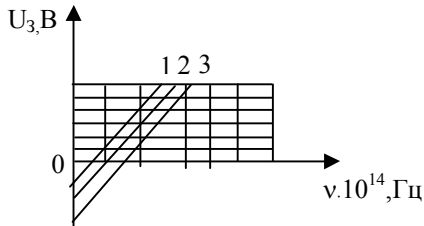
Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) в, г.

## 2.4 Вариант 4

**2.4.1** О чём говорит тот факт, что при напряжении между фотокатодом и анодом равным нулю фототок не равен нулю?

- 1) Мала интенсивность падающего на фотокатод света;  
2) Фотоэлектроны у поверхности фотокатода имеют скорости, отличные от нуля;  
3) Скорости фотоэлектронов у поверхности фотокатода имеют различные значения;  
4) Энергия фотона света, падающего на катод, меньше работы выхода материала катода.

**2.4.2** На рисунке изображены результаты измерений задерживающего напряжения фотоэлектронов как функция частоты облучающего материала света для катодов, изготовленных из различных материалов. Укажите номер опыта, соответствующего катоду с наименьшей работой выхода А



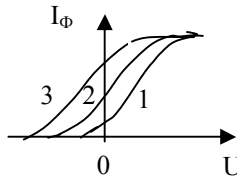
**2.4.3** По каким из приведённых ниже формул может быть рассчитана красная граница фотоэффекта?

1)  $2\pi hc / \lambda_{\max} = A_{\text{в}}$ ; 2)  $eU_3 = mv^2 / 2$ ; 3)  $\omega_{\min} = A / \hbar$ ; 4)  $\nu_{\min} = A / h$

**2.4.4** Для прекращения фотоэмиссии из платины необходима задерживающая разность потенциалов 3,7 В. При облучении теми же фотонами другого металла, задерживающая разность потенциалов равна 6 В. Найти работу выхода электрона с поверхности этого металла, если для платины работа выхода равна 6,3 эВ.

Ответы: 1) 2,7; 2) 3,5; 3) 4,0; 4) 5,2.

**2.4.5** На рисунке изображены вольтамперные характеристики фототока, полученные при облучении одного и того же металла. В каком случае испущенные катодом электроны имеют наибольшую скорость?

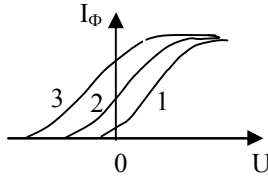


## 2.5 Вариант 5

**2.5.1** Укажите, от каких факторов величина потенциала, полностью тормозящего фотоэлектрон, *не зависит*

- 1) от частоты падающего света;
- 2) от интенсивности падающего света;
- 3) от работы выхода облучаемого материала;
- 4) от величины фототока насыщения;
- 5) от энергии электрона, израсходованной им на столкновения внутри твёрдого тела.

**2.5.2** Во время выполнения лабораторной работы по изучению фотоэффекта студентом получены три вольтамперные характеристики, приведённые на рисунке. Использовались три светофильтра – красный, зелёный и фиолетовый при неизменном световом потоке. Укажите мер кривой, соответствующей красному светофильтру.

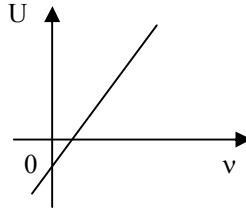


**2.5.3** Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 470 нм. Найти длину волны излучения, под действием которого из данного металла вырываются электроны, максимальная скорость которых равна 685 км/с. Ответ дать в нанометрах.

Ответы: 1) 214; 2) 293; 3) 312; 4) 356; 5) 450.

**2.5.4** На рисунке изображена зависимость разности потенциалов, необходимой для прекращения фототока, от частоты падающего излучения. Чему равен угловой коэффициент  $a$ ?

- 1)  $a = A_{\text{в}} / e$ ;    4)  $a = h / e$ ;  
 2)  $a = eh$ ;        5)  $a = A_{\text{в}} / h$ ;  
 3)  $a = h / m$ ;    6)  $a = e / h$ .



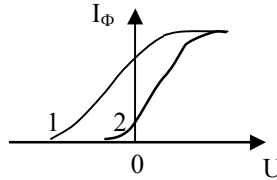
**2.5.5** Определить длину волны красной границы фотоэффекта материала фотокатода, если при облучении его монохроматическим светом с длиной волны 200 нм 80 % энергии каждого фотона расходуется на вырывание электрона из металла. Ответ дать в СИ.

Ответ: 1)  $2,06 \cdot 10^{-7}$ ; 2)  $2,5 \cdot 10^{-7}$ ; 3)  $4,12 \cdot 10^{-7}$ ; 4)  $4,61 \cdot 10^{-7}$ .

## 2.6 Вариант 6

**2.6.1** При облучении одного и того же металла была получена вольтамперная характеристика, изображённая на рисунке (кривая 1). При изменении условий опыта получена другая вольтамперная характеристика (кривая 2). Какие выводы можно сделать из полученных результатов?

- частота света уменьшилась;
- частота света увеличилась;
- световой поток увеличился;
- световой поток уменьшился;
- световой поток остался прежним;
- частота света осталась прежней.



Ответы: 1) а, д; 2) б, д; 3) б, е; 4) г, е; 5) б, г.

**2.6.2** Красная граница для платины лежит около 200 нм. Если платину прокалить при высокой температуре, то красная граница фотоэффекта станет равной 220 нм. На сколько электронвольт уменьшится работа выхода электрона из металла в результате прокаливания?

Ответы: 1) 0,48; 2) 0,56; 3) 0,65; 4) 0,78; 5) 0,84.

**2.6.3** Определить массу фотона (в системе СИ) с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для платины. Работа выхода 6,3 эВ.

Ответы: 1)  $0,74 \cdot 10^{-35}$ ; 2)  $1,1 \cdot 10^{-35}$ ; 3)  $1,5 \cdot 10^{-35}$ ; 4)  $0,74 \cdot 10^{-35}$ ; 5)  $0,97 \cdot 10^{-35}$ .

**2.6.4** Длины волн красной границы фотоэффекта для некоторых веществ соотносятся, как  $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ . Как соотносятся между собой работы выхода этих веществ?

1)  $A_{в1} > A_{в2} > A_{в3}$ ; 2)  $A_{в3} > A_{в2} > A_{в1}$ ; 3)  $A_{в1} = A_{в2} = A_{в3}$ .



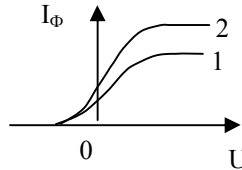
**2.6.5** Какое из предложенных ниже предложений описывает закон Столетова?

1)  $\lambda_{\max} = \frac{hc}{A_{\text{дй}} \delta}$ ; 2)  $\frac{mv^2}{2} = eU_{\text{с}}$ ; 3)  $I_{\text{нас}} \sim \Phi$ ; 4)  $h\nu = A + E_{\text{к}}$

## 2.7 Вариант 7

**2.7.1** При изучении фотоэффекта была получена вольтамперная характеристика, изображённая на рисунке (кривая 1). При изменении условий опыта получена другая вольтамперная характеристика (кривая 2). Какие выводы можно сделать из полученных результатов?

- а) частота света уменьшилась;
- б) частота света увеличилась;
- в) частота света осталась прежней;
- г) световой поток уменьшился;
- д) световой поток увеличился;
- е) световой поток остался прежним.



Ответы: 1) б, е; 2) а, д; 3) в, д; 4) б, д; 5) б, г.

**2.7.2** Какие из приведённых ниже выражений верно отражают сущность фотоэффекта?

а)  $2\hbar\epsilon \geq A_{\text{вых}}\lambda$ ; б)  $2\hbar\epsilon \leq A_{\text{вых}}\lambda$ ; в)  $\omega \geq A_{\text{вых}}/\hbar$ ; г)  $\omega \leq A_{\text{вых}}/\hbar$ .

Ответы: 1) а, в; 2) а, б; 3) б, в; 4) б, г; 5) а, г.

**2.7.3** Найти работу выхода электронов из металла, если при облучении его светом с частотой  $10^{15}$  Гц 25 % энергии каждого фотона переходит в кинетическую энергию вырванного электрона. Ответ дать в электронвольтах.

Ответы: 1) 2,75; 2) 2,92; 3) 3,1; 4) 3,47; 5) 4,2.

**2.7.4** При фотоэффекте с платиновой поверхности задерживающий потенциал равен 0,8 В. Найти длину волны применяемого облучения. Работа выхода для платины равна 5,3 эВ. Ответ выразить в нанометрах.

Ответы: 1) 168; 2) 177; 3) 196; 4) 203; 5) 235.

**2.7.5** От каких параметров зависит величина фототока насыщения?

- а) от частоты падающего света;
- б) от работы выхода облучаемого металла;
- в) от интенсивности падающего света;
- г) от величины задерживающего потенциала.

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) а, б; 6) б, в; 7) в, г

## 2.8 Вариант 8

**2.8.1** От каких параметров зависит величина потенциала, полностью тормозящего фотоэлектрон?

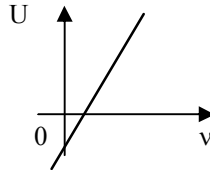
- а) от частоты падающего света;
- б) от амплитуды падающего света;
- в) от интенсивности падающего света;
- г) от работы выхода облучаемого материала;
- д) от энергии электрона, израсходованной им на столкновения внутри твёрдого тела;
- е) от величины фототока насыщения.

Ответы: 1) а, б, г; 2) а, в, г; 3) а, д, е; 4) а, г, д; 5) в, г, д; 6) б, г, д.

**2.8.2** Какая из приведённых ниже формул позволяет верно рассчитать максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона?

$$1) p = \sqrt{\frac{2m}{\hbar\omega - A}} \quad 2) p = \sqrt{\frac{(\hbar\omega - A)}{2m}} \quad 3) p = \sqrt{2m(\hbar\omega - A)}$$

**2.8.3** На рисунке изображена зависимость разности потенциалов, необходимой для прекращения фототока, от частоты падающего излучения. Чему равен угловой коэффициент  $a$ ?



- 1)  $a = A_{\text{вых}} / e$ ;            4)  $a = h / e$ ;
- 2)  $a = eh$ ;                5)  $a = A_{\text{вых}} / h$ ;
- 3)  $a = h / m$ ;            6)  $a = e / h$ .

**2.8.4** Найти частоту света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся отрицательным напряжением 2В. Ответ дать в герцах. Работа выхода для этого металла 1эВ.

Ответы: 1)  $5,4 \cdot 10^{14}$ ; 2)  $6,2 \cdot 10^{14}$ ; 3)  $7,3 \cdot 10^{14}$ ; 4)  $6,2 \cdot 10^{15}$ ; 5)  $7,3 \cdot 10^{15}$ .

**2.8.5** Найти работу выхода электрона с поверхности фотокатода, если при облучении его светом с длиной волны 560 нм. 80% энергии фотона расходуется на вырывание электронов. Ответ дать в электрон-вольтах.

Ответы: 1) 1,34; 2) 1,56; 3) 1,78; 4) 1,85; 5) 2,1.

## 2.9 Вариант 9

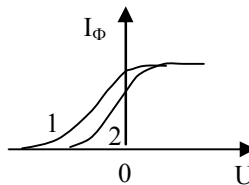
**2.9.1** Квант света с энергией 4,9 эВ вырывает фотоэлектроны из металла с работой выхода 4,35 эВ. Найти максимальный импульс в (СИ), передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

Ответы: 1)  $4 \cdot 10^{-25}$ ; 2)  $5,2 \cdot 10^{-25}$ ; 3)  $6,4 \cdot 10^{-25}$ ; 4)  $7,5 \cdot 10^{-25}$ ; 5)  $8,1 \cdot 10^{-25}$ .

**2.9.2** При облучении одного и того же металла была получена вольтамперная характеристика, изображённая на рисунке (кривая 1). При изменении условий опыта получена другая вольтамперная характеристика (кривая 2).

Какие выводы можно сделать из полученных результатов?

- а) световой поток уменьшился;
- б) световой поток увеличился;
- в) световой поток остался прежним;
- г) частота света увеличилась;
- д) частота света уменьшилась;
- е) частота света осталась прежней.



Ответы: 1) а, е; 2) в, д; 3) б, е; 4) а, г; 5) в, г.

**2.9.3** Какое из приведённых ниже выражений неверно отражает суть понятия “красная граница внешнего фотоэффекта”?

1)  $2\pi h c / \lambda_{\max} = A_{\text{в}}$ ; 2)  $eU_3 = mv^2 / 2$ ; 3)  $\omega_{\min} = A_{\text{в}} / \hbar$ ; 4)  $v_{\min} = A_{\text{в}} / h$ .

**2.9.4** Монохроматическое электромагнитное излучение вырывает с поверхности вольфрама электроны, максимальная кинетическая энергия которых 1,2 эВ. Определить длину волны этого излучения, если известно, что работа выхода вольфрама 4,5 эВ. Ответ дать в нанометрах.

Ответы: 1) 276; 2) 218; 3) 203; 4) 250 .

**2.9.5** Найти работу выхода электронов из металла, если при облучении его светом с частотой  $1,25 \cdot 10^{15}$  Гц. 20% энергии каждого фотона переходит в кинетическую энергию вырванного электрона. Ответ дать в эВ.

Ответы: 1) 4,14; 2) 3,8; 3) 3,25; 4) 3,07; 5) 2,94.

## 2.10 Вариант 10

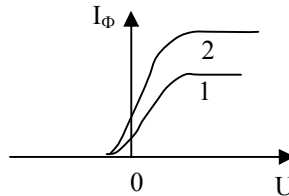
**2.10.1** Работа выхода электронов из закиси меди равна 5,15 эВ. Вызовет ли фотоэффект ультрафиолетовое излучение с длиной волны 300 нм?

Ответы: 1) будет наблюдаться начало фотоэффекта;  
2) энергия фотонов будет достаточной для сообщения электронам кинетической энергии;  
3) фотоэффекта наблюдаться не будет.

**2.10.2** При изучении фотоэффекта была получена вольтамперная характеристика, изображённая на рисунке (кривая 1). При изменении условий опыта получена другая вольтамперная характеристика (2).

Какие выводы можно сделать из полученных результатов?

- а) световой поток уменьшился;
- б) световой поток увеличился;
- в) световой поток остался прежним;
- г) частота света увеличилась;
- д) частота света уменьшилась;
- е) частота света осталась прежней.



Ответы: 1) б, е ; 2) а, г ; 3) в, д ; 4) б, д ; 5) в, г.

**2.10.3** Какая из приведённых формул позволяет верно рассчитать максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона?

$$1) p = \sqrt{2m(\hbar\omega - A)}; 2) p = \sqrt{\frac{2m}{\hbar\omega - A}}; 3) p = \sqrt{\frac{2(\hbar\omega - A)}{m}}$$

**2.10.4** Определить массу фотона с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для платины (работа выхода 6,0 эВ). Ответ дать в системе СИ.

Ответы: 1)  $1,07 \cdot 10^{-35}$ ; 2)  $1,25 \cdot 10^{-35}$ ; 3)  $2,14 \cdot 10^{-35}$ ; 4)  $3,17 \cdot 10^{-35}$ .

**2.10.5** Найти потенциал, полностью задерживающий фотоэлектроны, если их максимальная кинетическая энергия составляет 20 % энергии кванта, падающего на фотокатод излучения с длиной волны 150 микронетров. Ответ дать в вольтах.

Ответы: 1) 1,3; 2) 1,47; 3) 1,65; 4) 2,03; 5) 3,1.

### 3 ЭФФЕКТ КОМПТОНА

#### 3.1 Вариант 1

**3.1.1** Какие из перечисленных ниже выражений необходимы для определения кинетической энергии электрона отдачи  $E_e$  при комптоновском рассеянии?

а)  $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$ ; б)  $E_e = \frac{hc \cdot \Delta\lambda}{\lambda_0 \lambda}$ ; в)  $E = \frac{hc}{\lambda}$ .

Ответы: 1) а, б, в; 2) а, в; 3) б, в.

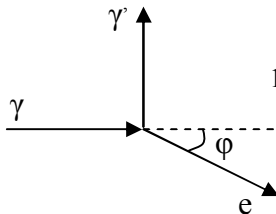
**3.1.2** Фотон рентгеновского излучения рассеялся на слабосвязанном покоящемся электроне. От чего зависит изменение длины волны при комптоновском рассеянии?

- 1) От первоначальной энергии фотона.
- 2) От угла рассеяния электрона отдачи.
- 3) От угла рассеяния фотона.
- 4) От химической природы вещества, в котором находится слабосвязанный электрон.

**3.1.3** При каком угле рассеяния фотона электрон получит максимальное приращение энергии?

Ответы: 1) 0; 2)  $\pi$ ; 3)  $\pi/2$ .

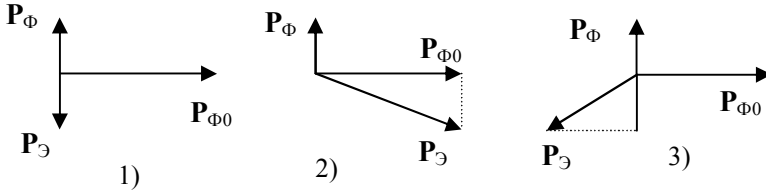
**3.1.4** На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс рассеянного фотона  $P_{\phi}'$ , то импульс электрона отдачи равен ...



Ответы:

- 1)  $0,5 P_{\phi}'$ ; 2)  $2 P_{\phi}'$ ; 3)  $\frac{\sqrt{3}}{2} P_{\phi}'$ ; 4)  $\frac{2}{\sqrt{3}} P_{\phi}'$ .

**3.1.5** Фотон рентгеновского излучения рассеялся на свободном электроне на угол  $\pi/2$ . На каком из приведённых ниже рисунков правильно показано направление импульса электрона отдачи  $\mathbf{P}_Э$  после рассеяния?



### 3.2 Вариант 2

**3.2.1** Какие из перечисленных ниже явлений приводят к наблюдаемому рассеянию фотонов рентгеновского излучения в веществе?

- 1) упругое рассеяние фотонов рентгеновского излучения на внутренних электронах (ближайших к ядру) атомов вещества;
- 2) упругое рассеяние фотонов на ядрах атомов вещества;
- 3) неупругое рассеяние фотонов на внешних (по отношению к ядру), слабосвязанных электронах атомов вещества;
- 4) неупругое рассеяние фотонов на ядрах атомов вещества;
- 5) упругое рассеяние фотонов на внешних, слабосвязанных электронах атомов вещества.

**3.2.2** Какие из перечисленных ниже соотношений используются при выводе выражения для изменения длины волны фотона при комптоновском рассеянии?

а)  $\frac{mv_0^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{mv^2}{2} + \frac{hc}{\lambda}$ ; б)  $\mathbf{P}_{Э0} + \mathbf{P}_{Ф0} = \mathbf{P}_Э + \mathbf{P}_Ф$

в)  $m_0c^2 + \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{hc}{\lambda}$

Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) а, в.

**3.2.3** От каких факторов зависит энергия электрона отдачи после рассеяния?

- а) От первоначальной энергии фотона;
- б) от угла рассеяния фотона;
- в) от свойств вещества, в котором находится электрон отдачи.

Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) а, в; 4) а, б, в.

**3.2.4** При каком угле рассеяния фотона изменение его длины волны будет максимальным? Ответ выразить в градусах.

Ответы: 1) 90; 2) 180; 3) 270; 4) 0.

**3.2.5** Определить, какую долю (часть) составляет модуль импульса электрона отдачи от импульса падающего фотона, если фотон рассеялся на угол 60 градусов, и его начальная длина волны равнялась 5 пм.

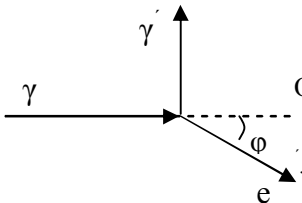
### 3.3 Вариант 3

**3.3.1** Рассеяние рентгеновского излучения в веществе называется эффектом Комптона. Выберите правильное окончание предложения, относящегося к этому эффекту.

“Чтобы эффект Комптона был наблюдаемым, вещество должно состоять...”

- 1) ...из тяжёлых атомов (с большим порядковым номером атома  $Z$ );
- 2) ...из лёгких атомов (небольшие значения  $Z$ );
- 3) ...из любых атомов (с любыми значениями  $Z$ ).

**3.3.2** На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс рассеянного фотона  $P_{\gamma'}$ , то импульс электрона отдачи равен ...



Ответы: 1)  $0,5 P_{\gamma'}$ ; 2)  $P_{\gamma'}$ ; 3)  $\frac{\sqrt{3}}{2} P_{\gamma'}$ ; 4)  $\frac{2}{\sqrt{3}} P_{\gamma'}$ .



**3.3.3** Какие параметры фотона рентгеновского излучения изменяются при комптоновском рассеянии?

а) Длина волны; б) Направление распространения; в) Скорость.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) б, в. 4) а, б, в.

**3.3.4** Найти максимальное (в мегаэлектронвольтах) изменение энергии фотона с длиной волны 4 пм при комптоновском рассеянии на слабосвязанных электронах

Ответы: 1) 0,12; 2) 0,15; 3) 0,17; 4) 0, 21; 5) 0,32.

**3.3.5** Как изменяется скорость электрона отдачи при комптоновском рассеянии при увеличении угла рассеяния от нуля до  $180^\circ$ ?

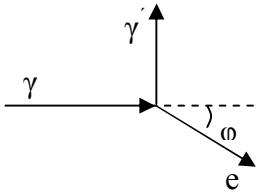
1) увеличивается. 2) уменьшается. 3) не изменяется.

### 3.4 Вариант 4

**3.4.1** На некоторое вещество падает рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda_0$ . В результате анализа полученного излучения было установлено, что в нём присутствуют фотоны с длинами волн в интервале от  $\lambda_0$  до  $\lambda$  ( $\lambda > \lambda_0$ ). Какое произошло явление в веществе?

- 1) поглощение фотонов веществом.
- 2) упругое взаимодействие фотонов с атомами вещества.
- 3) неупругое взаимодействие фотонов со слабосвязанными электронами вещества.
- 4) упругое взаимодействие фотонов со слабосвязанными электронами.

**3.4.2** На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс падающего фотона  $P_\phi$ , то импульс электрона отдачи равен ...



Ответы: 1)  $0,5 P_\phi$ ; 2)  $2 P_\phi$ ; 3)  $\frac{\sqrt{3}}{2} P_\phi$ ; 4)  $\frac{2}{\sqrt{3}} P_\phi$ .

**3.4.3** От каких параметров зависит изменение энергии фотона рентгеновского излучения при рассеянии на слабосвязанных электронах?

- а) от длины волны падающего фотона.
- б) от угла рассеяния фотона.
- в) от угла рассеяния электрона отдачи.

Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) а, в; 4) а, б, в.

**3.4.4** Как изменяется длина волны фотона рентгеновского излучения при рассеянии на слабосвязанных электронах?

- 1) Уменьшается.
- 2) Увеличивается.
- 3) Остаётся постоянной.

**3.4.5** Найти максимальное изменение импульса фотона рентгеновского излучения на слабосвязанных электронах, если первоначальная длина волны фотона равнялась 3 пм.

### 3.5 Вариант 5

**3.5.1** Фотон рентгеновского излучения испытывает комптоновское рассеяние на слабосвязанных электронах вещества, передавая им при этом часть своей энергии. На основании каких законов можно оценить длину волны рассеянного излучения?

- а) Закона сохранения импульса системы фотон-электрон;
- б) закона сохранения энергии системы фотон-атом вещества;
- в) закона сохранения импульса системы фотон- атом вещества;
- г) закона сохранения энергии системы фотон-электрон.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) в, г.

**3.5.2** Укажите, в каких из представленных ниже формулах, отражающих явление комптоновского рассеяния, допущена ошибка

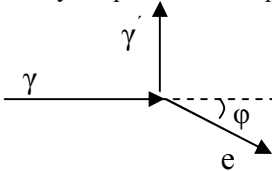
а)  $\hbar\omega - \hbar\omega_0 = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} - m_0c^2$ ; ; б)  $\hbar\vec{k}_0 = \hbar\vec{k} + \vec{p}$ ;

в)  $\Delta E = \frac{hc\Delta\lambda}{\lambda_0\lambda}$ ; ; г)  $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$ ,

где  $\omega_0$  и  $\omega$  - частоты падающего и рассеянного излучений,  $\Delta E$ - изменение энергии фотона,  $\theta$  - угол рассеяния фотона.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4)б, в; 5) б, г; 6) в, г.

**3.5.3** На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс электрона отдачи  $P_e$ , то импульс рассеянного фотона равен...



Ответы: 1)  $0,5 P_e$ ; 2)  $2 P_e$ ; 3)  $\frac{\sqrt{3}}{2} P_e$ ; 4)  $\frac{2}{\sqrt{3}} P_e$ .

**3.5.4** Пучок монохроматического электромагнитного излучения с длиной волны  $1,8$  нм падает на кристалл бериллия. Найти (в герцах) частоту излучения, рассеянного под углом  $60^\circ$ .

Ответ: 1)  $4,7 \cdot 10^{19}$ ; 2)  $8,2 \cdot 10^{19}$ ; 3)  $10^{20}$ ; 4)  $6,4 \cdot 10^{20}$ ; 5)  $10^{21}$ .

**3.5.5** Как изменяется энергия рассеянного фотона при комптоновском рассеянии при увеличении угла рассеяния от нуля до  $180^\circ$ ?

Ответы: 1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не изменяется.

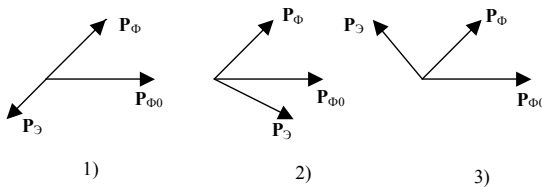
### 3.6 Вариант 6

**3.6.1** О каких свойствах электромагнитного излучения говорит наблюдаемый на опыте эффект Комптона?

- а) О волновой природе излучения.
- б) О квантовой природе излучения.
- в) О непрерывности спектра электромагнитного излучения.

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а,

**3.6.2** Фотон рентгеновского излучения рассеялся на свободном электроне на угол  $\pi/4$ . На каком из приведённых ниже рисунков правильно показано направление импульса электрона отдачи  $P_э$  после рассеяния?



**3.6.3** Рентгеновские лучи с длиной волны 20 пм испытали комптоновское рассеяние под углом  $90^\circ$ . Найти импульс электрона отдачи. Ответ – в системе СИ.

Ответы: 1)  $9 \cdot 10^{-24}$ ; 2)  $4,4 \cdot 10^{-23}$ ; 3)  $5,8 \cdot 10^{-23}$ ; 4)  $7,6 \cdot 10^{-23}$ ; 5)  $2,1 \cdot 10^{-22}$ .

**3.6.4** Какие из приведённых ниже выражений верно отражают закон сохранения энергии при комптоновском рассеянии?

а)  $m_0c^2 + \hbar\omega_0 = \frac{mv^2}{2} + \hbar\omega$  б)  $c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2} - m_0c^2 = \hbar\omega - \hbar\omega_0$  ;

в)  $h\nu_0 - c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2} = h\nu - m_0c^2$  ; г)  $m_0c^2 + \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{hc}{\lambda}$  ;

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г.

**3.6.5** При взаимодействии свободного электрона с квантом электромагнитного излучения с длиной волны 0,1 ангстрема комптоновское смещение оказалось равным 0,024 ангстрема. Определить энергию рассеянного кванта в мегаэлектронвольтах (1 ангстрем равен  $10^{-10}$  м).

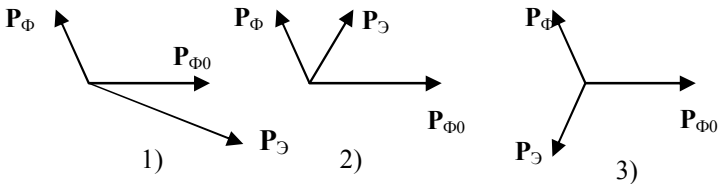
Ответы: 1) 0,1; 2) 0,18; 3) 0,27; 4) 0,34; 5) 0,5.

### 3.7 Вариант 7

**3.7.1** Фотон рентгеновского излучения испытывает комптоновское рассеяние на слабосвязанных электронах вещества, передавая им часть своей энергии. Как при этом изменяется энергия рассеянного фотона при увеличении угла рассеяния от  $0^0$  до  $180^0$ ?

- 1) энергия рассеянного фотона увеличивается.
- 2) энергия рассеянного фотона уменьшается.
- 3) остается постоянной.

**3.7.2** Фотон рентгеновского излучения рассеялся на свободном электроне на угол  $120^0$ . На каком из приведённых ниже рисунков правильно показано направление импульса электрона отдачи



**3.7.3** При каком угле рассеяния фотона электрон приобретёт максимальную кинетическую энергию?

1) 0; 2)  $\pi/2$ ; 3)  $\pi$ ; 4) не зависит от угла.

**3.7.4** В какой (их) из приведённых ниже формул для расчёта энергии электрона отдачи  $E_e$  при комптоновском рассеянии допущена ошибка?

$$\text{а) } E_e = \frac{hc \sin^2 \theta / 2}{\lambda_0 \lambda} \quad \text{б) } E_e = \frac{\hbar \omega_0 \omega \cdot \Delta \lambda}{2\pi \lambda}; \quad \text{в) } E_e = \frac{\varepsilon_0^2 \Delta \lambda}{hc + \varepsilon_0 \Delta \lambda},$$

где  $\omega_0$ ,  $\lambda_0$  – частота и длина волны падающего излучения,  $\omega$ ,  $\lambda$  – частота и длина волны рассеянного излучения,  $\theta$  – угол рассеяния фотона,  $\varepsilon_0$  – энергия падающего излучения.

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) а, в; 6) б, в; 7) Все формулы верны.

**3.7.5** При взаимодействии свободного электрона с квантом излучения с длиной волны  $0,1 \text{ \AA}$  комптоновское смещение оказалось равным  $0,0243 \text{ \AA}$ . Определить угол рассеяния фотона в градусах. ( $1 \text{ \AA}$  равен  $10^{-10} \text{ м}$ ).

Ответ: 1) 0; 2)  $\pi/4$ ; 3)  $\pi/2$ ; 4)  $3/4\pi$ ; 5)  $\pi$ .

## 3.8 Вариант 8

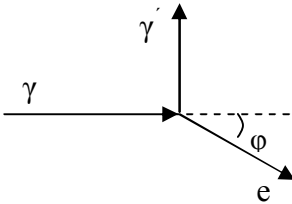
**3.8.1** Как изменяется величина скорости фотона при его рассеянии на свободном покоящемся электроном при увеличении угла рассеяния от 0 до  $180^\circ$ ?

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется;
- 4) для однозначного ответа на вопрос не хватает данных.

**3.8.2** Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеивающее вещество. Оказывается, что длины волн рассеянного под углами  $60^\circ$  и  $120^\circ$  излучения отличаются в 1,5 раза. Определить длину волны падающего излучения, предполагая, что рассеяние происходит на свободных электронах. Ответ дать в пикометрах.

Ответы: 1) 1,84; 2) 2,37; 3) 3,2; 4) 3,64; 5) 4,15.

**3.8.3** На рисунке показаны направления падающего фотона ( $\gamma$ ), рассеянного фотона ( $\gamma'$ ) и электрона отдачи ( $e$ ). Угол рассеяния  $90^\circ$ , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол  $\varphi = 30^\circ$ . Если импульс падающего фотона  $P_\phi$ , то импульс электрона отдачи равен ...



Ответы:

1)  $2 P_\phi$ ; 2)  $\frac{\sqrt{3}}{2} P_\phi$ ; 3)  $0,5 P_\phi$ ; 4)  $\frac{2}{\sqrt{3}} P_\phi$ .

**3.8.4** Фотон рентгеновского излучения с длиной волны  $0,15 \text{ \AA}$  испытал комптоновское рассеяние под углом  $120^\circ$ . Найти массу рассеянного фотона (в СИ). ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ ).

Ответы: 1)  $1,2 \cdot 10^{-31}$ ; 2)  $3,4 \cdot 10^{-31}$ ; 3)  $6 \cdot 10^{-31}$ ; 4)  $2,7 \cdot 10^{-30}$ ; 5)  $3,4 \cdot 10^{-30}$ .

**3.8.5** Укажите, в каких из представленных ниже формулах, отражающих явление комптоновского рассеяния, допущена ошибка

а)  $\Delta\lambda = \frac{\hbar}{m_0 c} (1 - \cos\theta)$ ; б)  $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$ ; в)

$$E_e = \frac{2hc \sin^2 \theta / 2}{\lambda_0 \lambda},$$

где  $E_e$  – энергия электрона отдачи.

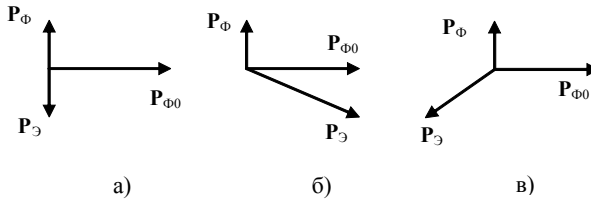
Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) а, в; 6) б, в; 7) а, б, в.

### 3.9 Вариант 9

**3.9.1** Как изменяется величина скорости фотона при его рассеянии на свободном покоящемся электроне при увеличении угла рассеяния от  $0^0$  до  $180^0$ ?

- 1) уменьшается;
- 2) увеличивается;
- 3) не изменяется;
- 4) для однозначного ответа на вопрос не хватает данных.

**3.9.2** Фотон рентгеновского излучения рассеялся на свободном электроне на угол  $\pi/2$ . На каком из приведённых ниже рисунков правильно показано направление импульса электрона отдачи  $P_э$  после рассеяния?



Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) Правильного ответа нет.

**3.9.3** Импульс каждого кванта электромагнитного излучения равен  $6,62 \cdot 10^{-22}$  Н с. Это излучение претерпевает комптоновское рассеяние на свободном электроне. Определить длину волны излучения (в пм), рассеянного под углом  $120^0$ .

Ответы: 1) 2,7; 2) 3,4; 3) 4,65; 4) 5,34; 5) 6,17.

**3.9.4** Какая (ие) из приведённых ниже формул верно отражает (ют) явление рассеяния рентгеновского комптоновского излучения на свободном электроне?

а)  $E_e = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$ ; б)  $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$ ; в)  $E_e = \frac{hc(\lambda_0 - \lambda)}{\lambda_0\lambda}$

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) а, в; 6) б, в.



**3.9.5** В результате комптоновского рассеяния лучей с энергией 0,6 МэВ на свободном электроны длина волны рассеянного излучения изменилась на 20%. Найти в мегаэлектронвольтах энергию электрона отдачи.

Ответы: 1) 0,1; 2) 0,15; 3) 0,37; 4) 0,58; 5) 0,63.

### 3.10 Вариант 10

**3.10.1** О каких свойствах электромагнитного излучения говорит наблюдаемый на опыте эффект Комптона?

- а) о непрерывности спектра электромагнитного излучения.
- б) о волновой природе излучения.
- в) о квантовой природе излучения.
- г) правильного ответа нет.

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) г; 5) а, б.

**3.10.2** При каком угле рассеяния фотона изменение его длины волны будет равно  $3/2$  комптоновской длины волны?

Ответы: 1) 0; 2)  $\pi/4$ ; 3)  $\pi/3$ ; 4)  $\pi/2$ ; 5)  $2/3\pi$ ; 6)  $\pi$ .

**3.10.3** Фотон с энергией 0,3 МэВ рассеялся под углом  $180^\circ$  на свободном электроны. Определить долю энергии фотона, приходящуюся на рассеянный фотон.

Ответы: 1) 0,315; 2) 0,461; 3) 0,512; 4) 0,584; 5) 0,62.

**3.10.4** Какие из приведённых ниже выражений верно отражают закон сохранения энергии при комптоновском рассеянии?

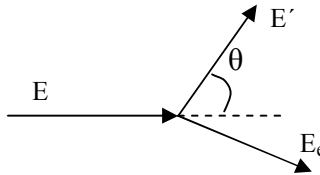
а)  $m_0c^2 + \hbar\omega_0 = \frac{mv^2}{2} + \hbar\omega$ ; б)  $h\nu_0 - c \sqrt{p^2 + m_0c^2} = h\nu - m_0c^2$ ;

в)  $c\sqrt{p^2 + m_0c^2} - m_0c^2 = \hbar\omega - \hbar\omega_0$ ;

г)  $m_0c^2 + \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{hc}{\lambda}$ ;

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г.

**3.10.5** Рентгеновское излучение рассеялось на свободном электроне. Как изменяется энергия рассеянного фотона при увеличении угла рассеяния от  $0^0$  до  $180^0$ ?



- 1) не изменяется;
- 2) увеличивается;
- 3) уменьшается

## 4 КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ. АТОМНЫЕ СПЕКТРЫ

### 4.1 Вариант 1

**4.1.1** В какой области излучения находится серия Пашена?

- 1) в ультрафиолетовой;
- 2) в видимой;
- 3) в инфракрасной;
- 4) в области рентгеновского излучения;
- 5) в области гамма-излучения.

**4.1.2** Вычислить энергию связи электрона в атоме водорода, который находится во втором возбуждённом состоянии. Ответ дать в электронвольтах.

Ответы: 1) 0,85; 2) 1,51; 3) 2,76; 4) 3,4.

**4.1.3** При какой скорости импульс электрона совпадает по величине с импульсом излучения, длина волны которого равна 1 пм? Ответ дать в системе СИ.

Ответы: 1)  $1,5 \cdot 10^8$ ; 2)  $1,74 \cdot 10^8$ ; 3)  $2,06 \cdot 10^8$ ; 4)  $2,7610^8$ ; 5)  $2,9 \cdot 10^8$ .

**4.1.4** Определить величину светового давления  $p$  на зеркальную поверхность, если угол падения лучей равен  $60^\circ$ . Величину светового давления  $p$  выразить через объёмную плотность энергии  $w$ .

Ответы: 1)  $p = 2\langle w \rangle$ ; 2)  $p = \langle w \rangle$ ; 3)  $p = \langle w \rangle / 2$ ; 4)  $p = 0$ .

**4.1.5** Найти второй потенциал возбуждения водородоподобного иона, для которого  $Z = 6$ . Ответ дать в вольтах.

Ответы: 1) 365,4; 2) 435,2; 3) 459,3; 4) 489,6.

## 4.2 Вариант 2

**4.2.1** В каком из опытов была подтверждена гипотеза де Бройля?

- 1) опыт Боте;
- 2) опыт Франка и Герца;
- 3) опыт Резерфорда;
- 4) опыт Дэвиссона и Джермера.

**4.2.2** Определить частоту спектральной линии в спектре водородоподобного иона с  $Z = 4$ . Спектральная линия появилась в результате перехода электрона из четвёртого возбуждённого состояния в основное. Ответ дать в герцах.

Ответы: 1)  $48,6 \cdot 10^{15}$ ; 2)  $49,4 \cdot 10^{15}$ ; 3)  $50,5 \cdot 10^{15}$ ; 4)  $51,8 \cdot 10^{15}$ .

**4.2.3** Параллельный пучок света, падающий по нормали на зеркальную плоскую поверхность, производит давление  $P$ . Если тот же пучок направить на зачёрнённую поверхность под углом  $60^\circ$  к нормали, то световое давление будет равно...

Ответы: 1)  $P/2$ ; 2)  $P/\sqrt{2}$ ; 3)  $P/4$ ; 4)  $P/8$ .

**4.2.4** Атомарный водород, возбуждённый излучением определённой длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определить (в нанометрах) длину волны линии, принадлежащей серии Бальмера.

Ответы: 1) 537,2; 2) 656,3; 3) 685,4; 4) 719; 5) 795,6.

**4.2.5** Определить четвёртый потенциал возбуждения водородоподобного иона, у которого  $Z = 3$ . Ответ дать в системе СИ.

Ответы: 1) 117,5; 2) 128,6; 3) 159,3; 4) 175,8; 5) 192.

### 4.3 Вариант 3

**4.3.1** В чём заключается суть гипотезы де Бройля? Из приведённых ответов найдите верный.

- 1) Свет-это электромагнитное излучение, испускаемое порциями (квантами);
- 2) рентгеновское излучение может иметь как сплошной спектр (тормозное излучение), так и дискретный (характеристическое излучение);
- 3) свет не только излучается, но также распространяется в пространстве и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов электромагнитного излучения - фотонов;
- 4) все частицы, имеющие конечный импульс, обладают волновыми свойствами, и их движение может быть сопоставлено с некоторым волновым процессом.

**4.3.2** Найти частоту фотона, соответствующего излучательному переходу электрона из второго возбуждённого состояния в основное двукратно ионизованного атома лития (водородоподобного иона с  $Z = 3$ ). Ответ дать в петагерцах (1 петагерц =  $10^{15}$  Герца).

Ответы: 1) 22,2; 2) 26,3; 3) 29,8; 4) 32,4.

**4.3.3** По какой из приведённых ниже формул может быть верно рассчитана длина волны, соответствующая второй линии спектра, находящегося в инфракрасной области излучения?

$$1) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{9} \right); \quad 2) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right); \quad 3) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right);$$

$$4) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right); \quad 5) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{25} \right).$$

**4.3.4** Определить третий потенциал возбуждения водородоподобного иона, имеющего  $Z = 2$ .

Ответы: 1) 51; 2) 48,4; 3) 25,5; 4) 24,2; 5) 20,3.

**4.3.5** Какую кинетическую энергию необходимо сообщить протону, чтобы длина волны де Бройля стала равной 1 ангстрем? Ответ дать в системе СИ. ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$ ).

Ответы: 1)  $0,87 \cdot 10^{-20}$ ; 2)  $1,31 \cdot 10^{-20}$ ; 3)  $1,72 \cdot 10^{-20}$ ; 4)  $2,04 \cdot 10^{-20}$ .

#### 4.4 Вариант 4

**4.4.1** Укажите верное утверждение. В опыте Франка и Герца доказывалось:

- 1) наличие волновых свойств у микрочастиц;
- 2) наличие собственного магнитного момента у электрона;
- 3) наличие дискретных энергетических уровней у атома;

**4.4.2** Определить, на какую орбиту с основной перейдёт электрон при поглощении фотона с энергией  $2,089 \cdot 10^{-18}$  Дж.

**4.4.3** По какой из приведённых ниже формул может быть верно рассчитана длина волны, соответствующая третьей линии спектра, находящегося в ультрафиолетовой области излучения?

$$1) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{9} \right); \quad 2) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{16} \right); \quad 3) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right);$$

$$4) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right); \quad 5) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{25} \right).$$

**4.4.4** Электрон, пройдя разность потенциалов 4,9 В, сталкивается с атомом ртути и переводит его в первое возбуждённое состояние. Найти длину волны излучения, испускаемого атомом ртути при переходе в нормальное состояние. Ответ – в единицах СИ.

Ответы: 1)  $2,17 \cdot 10^{-7}$ ; 2)  $2,53 \cdot 10^{-7}$ ; 3)  $3,1810^{-7}$ ; 4)  $3,42 \cdot 10^{-7}$ .

**4.4.5** Определить третий потенциал возбуждения водородоподобного иона с  $Z = 3$ . Ответ дать в вольтах.

Ответы: 1) 114,75; 2) 108,8; 3) 38,2; 4) 36,2.

## 4.5 Вариант 5

**4.5.1** В какой области излучения находится серия Лаймана?

- 1) В ультрафиолетовой;
- 2) в видимой;
- 3) в инфракрасной;
- 4) в области рентгеновского излучения;
- 5) в области гамма-излучения.

**4.5.2** Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой серии спектра водорода. Ответ дать в нанометрах.

Ответы: 1) 121,5; 2) 243; 3) 358,2; 4) 656,3.

**4.5.3** Какая из приведённых ниже формул соответствует групповой скорости?

- 1)  $\omega / k$ ; 2)  $c^2 m \lambda / h$ ; 3)  $E / p$ ; 4)  $d\omega / dk$ ;

**4.5.4** Вычислить частоту (в рад/с), соответствующую  $K_\alpha$  - линии рентгеновского спектра молибдена ( $Z = 42$ ).

Ответы: 1)  $2,61 \cdot 10^{19}$ ; 2)  $3,09 \cdot 10^{19}$ ; 3)  $4,27 \cdot 10^{19}$ ; 4)  $5,22 \cdot 10^{19}$ .

**4.5.5** Атомарный водород, возбуждённый светом определённой длины волны, при переходе в основное состояние испустил 15 спектральных линий. Укажите номер возбуждённого энергетического состояния.

## 4.6 Вариант 6

**4.6.1** Какой из указанных видов излучения имеет сплошной спектр?

- 1) инфракрасное излучение;
- 2) ультрафиолетовое излучение;
- 3) рентгеновское тормозное излучение;
- 4) Рентгеновское характеристическое излучение;

**4.6.2** Электрон в возбужденном атоме водорода спонтанно перешёл с  $10^{\text{й}}$ -орбиты на некоторую орбиту, испустив квант излучения с длиной волны 900 нм. Указать номер орбиты, на которую перешёл электрон.

**4.6.3** Какая из предложенных ниже формул верно отражает частоту излучения, соответствующую третьей линии инфракрасной части спектра?

$$1) \omega = R\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{16}\right) \quad 2) \omega = R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right); \quad 3) \omega = R\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36}\right);$$

$$4) \omega = R\left(\frac{1}{16} - \frac{1}{49}\right);$$

**4.6.4** Найти полную энергию электрона на боровской орбите номер 5 водородоподобного атома, имеющего  $Z = 4$ . Ответ дать в электронвольтах.

Ответы: 1)  $-8,7$ ; 2)  $-10,88$ ; 3)  $-13,6$ ; 4)  $-21,25$ .

**4.6.5** Во сколько раз импульс фотона с длиной волны 500 нм (видимый свет) больше импульса электрона, движущегося со скоростью 1000 м/с?

Ответы: 1) 1,45; 2) 1,85; 3) 2,17; 4) 3,67.

## 4.7 Вариант 7

**4.7.1** К какой области спектра принадлежит излучение, каждый квант которого обладает энергией  $10^{-19}$  Дж?

- 1) к инфракрасной области;
- 2) к видимой области;
- 3) к ультрафиолетовой области;
- 4) к области рентгеновского излучения.



**4.7.2** Найти разность вторых потенциалов возбуждения для водородоподобного иона с  $Z = 3$  и водорода. Ответ дать в вольтах.

Ответы: 1) 108,8; 2) 96,7; 3) 81,7; 4) 24,2.

**4.7.3** Во сколько раз масса фотона рентгеновских лучей с длиной волны 10 пм меньше массы покоя электрона?

Ответы: 1) 1,73; 2) 2,84; 3) 4,12; 4) 5,37.

**4.7.4** При каком наименьшем напряжении на рентгеновской трубке начинают появляться линии серии  $K_{\alpha}$  в характеристическом спектре меди? Порядковый номер элемента в таблице Менделеева равен 29. Ответ дать в киловольтах.

Ответы: 1) 4,2; 2) 5,4; 3) 7,5; 4) 8.

**4.7.5** Согласно первому постулату Бора электроны могут двигаться в атоме только по определённым (стационарным) орбитам. Определить величину момента импульса электрона в атоме водорода, находящегося во втором возбуждённом состоянии. Ответ – в ед. СИ.

Ответы: 1)  $2,1 \cdot 10^{-34}$ ; 2)  $3,15 \cdot 10^{-34}$ ; 3)  $4,2 \cdot 10^{-34}$ ; 4)  $5,3 \cdot 10^{-34}$ .

## 4.8 Вариант 8

**4.8.1** В какой области излучения находится серия Лаймана?

- 1) в инфракрасной;
- 2) в видимой;
- 3) в ультрафиолетовой;
- 4) в области рентгеновского излучения;
- 5) в области гамма-излучения.

**4.8.2** Определить импульс, приобретаемый первоначально покоившимся атомом водорода при испускании им фотона, соответствующего головной (наиболее длинноволновой) линии серии Бальмера. Ответ дать в ед. СИ.

Ответы: 1)  $1,01 \cdot 10^{-27}$ ; 2)  $1,38 \cdot 10^{-27}$ ; 3)  $1,85 \cdot 10^{-27}$ ; 4)  $2,02 \cdot 10^{-27}$ .

**4.8.3** Вычислить длину волны де Бройля для протона, движущегося со скоростью  $v = 0,6c$ . Ответ дать в фемтометрах. (1 фм =  $10^{-15}$  м.  $c$  – скорость света в вакууме).

Ответы: 1) 1,26; 2) 1,57; 3) 1,76; 4) 2,03.

**4.8.4** По какой из приведённых ниже формул может быть верно рассчитана длина волны, соответствующая второй линии спектра, находящегося в видимой области излучения?

$$1) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{9} \right); \quad 2) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right); \quad 3) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right);$$

$$4) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right); \quad 5) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{25} \right).$$

**4.8.5** На каком энергетическом уровне находятся возбуждённые атомы водорода, если они испускают только десять спектральных линий?

## 4.9 Вариант 9

**4.9.1** В чём заключается суть гипотезы де Бройля? Из приведённых ответов найдите верный.

- 1) свет не только излучается, но также распространяется в пространстве и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов электромагнитного излучения – фотонов;
- 2) все частицы, имеющие конечный импульс, обладают волновыми свойствами, и их движение сопровождается некоторым волновым процессом;
- 3) свет-это электромагнитное излучение, испускаемое порциями (квантами);
- 4) рентгеновское излучение может иметь как сплошной спектр (тормозное излучение), так и дискретный (характеристическое излучение).

**4.9.2** Найти четвёртый потенциал возбуждения для водородоподобного иона с  $Z = 2$ . Ответ дать в системе СИ.

Ответы: 1) 25,5; 2) 26,1; 3) 51,0; 4) 52,2.

**4.9.3** По какой из приведённых ниже формул может быть верно рассчитана длина волны, соответствующая второй линии спектра, находящегося в ультрафиолетовой области излучения?

$$1) \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{9}\right); \quad 2) \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1} - \frac{1}{16}\right); \quad 3) \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}\right);$$

$$4) \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{16}\right); \quad 5) \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{25}\right).$$

**4.9.4** Параллельный пучок света, падающий на зачёрнённую плоскую поверхность, под углом  $60^\circ$  (от нормали к поверхности), производит давление  $P$ . Если тот же пучок света направить по нормали на зеркальную поверхность, то световое давление будет...

$$\text{Ответы: } 1) 2P; \quad 2) \frac{\sqrt{3}}{2}P; \quad 3) 4P; \quad 4) 8P.$$

**4.9.5** Вычислить частоту (в герцах), соответствующую  $K_\alpha$ -линии рентгеновского спектра циркония ( $Z = 40$ ).

Ответы: 1)  $3,75 \cdot 10^{18}$ ; 2)  $8,34 \cdot 10^{18}$ ; 3)  $1,57 \cdot 10^{19}$ ; 4)  $2,36 \cdot 10^{19}$ .

## 4.10 Вариант 10

**4.10.1** Найдите верное соотношение между кинетической  $E_k$ , потенциальной  $E_n$  и полной  $E$  энергиями электрона в атоме водорода:

$$1) E_k = -0,5E_n; \quad E = E_k.$$

$$2) E_k = -E; \quad E_n = -2E_k.$$

$$3) E_n = 2E_k; \quad E = -E_k.$$

$$4) E_k = 0,5E_n; \quad E = -E_k.$$

**4.10.2** Найти длину волны фотона (в нм), соответствующего излучательному переходу электрона из второго возбуждённого состояния в основное двукратно ионизованного атома лития ( $Z = 3$ ).

Ответы: 1) 16,3; 2) 13,5; 3) 11,4; 4) 10,8.

**4.10.3** Какой из указанных видов излучения имеет сплошной спектр?

- а) рентгеновское тормозное излучение;
- б) ультрафиолетовое излучение;
- в) инфракрасное излучение;
- г) рентгеновское характеристическое излучение;

**4.10.4** Найти частоту излучения, соответствующего наибольшей длине волны в ультрафиолетовой серии спектра водорода.

Ответы: 1)  $2,47 \cdot 10^{15}$ ; 2)  $1,36 \cdot 10^{15}$ ; 3)  $0,46 \cdot 10^{15}$ ; 4)  $0,16 \cdot 10^{15}$ .

**4.10.5** По какой из приведённых ниже формул может быть верно рассчитана длина волны, соответствующая третьей линии спектра, находящегося в ультрафиолетовой области излучения?

$$1) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{9} \right); \quad 2) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{16} \right); \quad 3) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right);$$

$$4) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right); \quad 5) \frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{25} \right).$$

## 5 ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

### 5.1 Вариант 1

**5.1.1** Какие из приведённых ниже уравнений записаны для квантового гармонического осциллятора?

$$\text{а) } \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0; \quad \text{б) } \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left( E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$\text{в) } E_n = \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega.$$

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) а, в; 6) б, в.

**5.1.2** В однородной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$  находится электрон. Какие из перечисленных ниже физических величин *не могут* быть определены абсолютно точно при бесконечно большом времени измерений?

а) импульс; б) квадрат импульса; в) энергия; г) координата.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) в, г; 6) а, б, в.

**5.1.3** Определить величину спинового момента электрона, находящегося в  $d$  – состоянии.

$$\text{Ответы: 1) } \frac{\hbar\sqrt{2}}{2}; \quad 2) \frac{\hbar\sqrt{3}}{2}; \quad 3) \frac{\hbar\sqrt{5}}{2}; \quad 4) \hbar\sqrt{3}; \quad 5) \frac{\hbar}{2}.$$

**5.1.4** Пользуясь соотношением неопределённостей, оцените по порядку величины скорость движения электрона в атоме урана, исходя из того, что радиус атома имеет величину порядка 0,6 нм. Правую часть соотношения неопределённостей принять равной  $1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж.с.

Ответы: 1)  $10^{-10}$ ; 2)  $10^{-5}$ ; 3)  $10^5$ ; 4)  $10^{10}$ .

**5.1.5** Частица массой  $0,67 \cdot 10^{-26}$  кг находится в одномерной потенциальной яме шириной 7 нм с бесконечно высокими вертикальными стенками. Найти энергию частицы, если она находится в третьем возбуждённом состоянии. Ответ дать в электронвольтах.

Ответы: 1)  $0,93 \cdot 10^{-5}$ ; 2)  $1,66 \cdot 10^{-5}$ ; 3)  $2,34 \cdot 10^{-5}$ ; 4)  $1,66 \cdot 10^{-6}$ ; 5)  $9,3 \cdot 10^{-6}$ .

## 5.2 Вариант 2

**5.2.1** Что является решением уравнения Шрёдингера?

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0;$$

- а) значение полной энергии частицы  $E$ ;
- б) значение потенциальной энергии частицы  $U$ ;
- в) значение кинетической энергии частицы  $(E - U)$ ;
- г) пси-функция частицы  $\Psi$ .

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г.

**5.2.2** Каким из опытов подтверждается гипотеза де-Бройля?

- 1) опыт Боте;
- 2) опыт Франка и Герца;
- 3) опыт Джермера и Дэвиссона;
- 4) опыт Эйнштейна.

**5.2.3** Используя соотношение неопределённостей, оцените ширину энергетического уровня в атоме водорода, находящегося в состоянии с главным квантовым числом  $n = 3$ . Правую часть соотношения неопределённостей принять равной  $1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж.с. Ответ – в электронвольтах.

Ответы: 1)  $3,28 \cdot 10^{-8}$ ; 2)  $6,56 \cdot 10^{-8}$ ; 3)  $13,02 \cdot 10^{-8}$ ; 4)  $19,68 \cdot 10^{-8}$ .

**5.2.4** Используя принцип Паули, указать, какое максимальное число электронов в атоме могут иметь одинаковое главное  $n = l$  и орбитальное  $l = 0$  квантовые числа.

**5.2.5** Атом водорода поглотил фотон и перешёл во второе возбуждённое состояние. Во сколько раз уменьшится полный максимальный момент импульса атома, когда он вернётся в основное состояние?

Ответы: 1) 1,87; 2) 2,24; 3) 3,42; 4) 4,17; 5) 4,63.

### 5.3 Вариант 3

**5.3.1** Уравнение Шрёдингера для атома водорода имеет вид

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0;$$

Укажите правильное утверждение:

- а) уравнение имеет требуемые решения при любых значениях полной энергии  $E$ ;
- б) уравнение имеет требуемые решения при любых положительных значениях энергии,  $E > 0$ ;
- в) уравнение имеет требуемые решения при дискретных отрицательных значениях полной энергии

$$E_n = - \frac{me^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \frac{Z^2}{n^2} .$$

Ответы: 1) а; 2) б; 3) в; 4) а, б; 5) а, в; 6) б, в.

**5.3.2** Электрон с энергией 25 эВ встречается на своём пути потенциальный барьер высотой 9 эВ. Определить коэффициент преломления волн де Бройля ( $\lambda_1 / \lambda_2$ ) на границе барьера.

Ответы: 1) 0,2; 2) 0,4; 3) 0,6; 4) 0,8.

**5.3.3** Исходя из соотношения неопределённостей Гейзенберга, оценить порядок величины неопределённости минимальной кинетической энергии нуклона в ядре в ед. СИ. Линейные размеры ядра принять равными  $10^{-14}$  м. Нуклон имеет массу порядка  $10^{-27}$  кг.

Ответы: 1)  $10^{-8}$ ; 2)  $10^{-10}$ ; 3)  $10^{-12}$ ; 4)  $10^{-14}$ ; 5)  $10^{-16}$ .

**5.3.4** Вычислить значение спин-орбитального взаимодействия (фактор Ланде) для электрона, находящегося в возбуждённом состоянии и имеющего максимальный магнитный момент.

Ответы: 1) 1,83; 2) 1,47; 3) 1,33; 4) 1,26; 5) 1,08.

**5.3.5** Микрочастица массой  $0,5 \cdot 10^{-30}$  кг находится в одномерной потенциальной яме с вертикальными стенками. Найти отношение разности энергии второго и первого энергетических уровней к энергии частицы в состоянии с квантовым числом  $n = 1$ .

## 5.4 Вариант 4

**5.4.1** Что определяют из уравнения Шрёдингера для стационарных состояний?

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0;$$

- а) полную энергию;
- б) координаты электрона;
- в) волновую функцию;
- г) производную от волновой функции электрона по времени.

Ответы: 1) а, б; 2) б, в; 3) а, в; 4) а, г; 5) б, г;



**5.4.2** Вынужденное излучение вещества возникает в результате...

- 1) вынужденных переходов атомов из основного состояния в состояние с некоторой энергией  $E$ ;
- 2) самопроизвольных переходов атомов из состояния с большей энергией в основное состояние;
- 3) самопроизвольных переходов атомов из основного состояния в состояние с некоторой энергией  $E$ ;
- 4) вынужденных переходов из состояния с некоторой энергией  $E$  в основное состояние.

**5.4.3** Атом, кроме заполненных оболочек, имеет три электрона  $s$ ,  $p$ ,  $d$  и находится в состоянии с максимально возможным для этой конфигурации полным моментом импульса. Определить соответствующее этому моменту квантовое число.

**5.4.4** Пользуясь соотношением неопределённостей Гейзенберга, оцените по порядку величины минимальную кинетическую энергию (в электронвольтах) электрона, движущегося в области размером  $0,1$  нм. Укажите номер ответа, в котором наиболее точно приведён порядок полученной Вами величины.

Ответы: 1)  $10^{-10}$ ; 2)  $10^{-5}$ ; 3)  $10^0$ ; 4)  $10^5$ ; 5)  $10^{10}$ .

**5.4.5** Частица находится в бесконечно глубокой потенциальной яме с вертикальными стенками. Найти ширину ямы, если максимальная плотность вероятности нахождения в ней частицы равна  $0,4 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$ .

Ответы: 1)  $6,8 \cdot 10^{-11}$ ; 2)  $5 \cdot 10^{-11}$ ; 3)  $2,24 \cdot 10^{-11}$ ; 4)  $1,18 \cdot 10^{-11}$ .

### 5.5 Вариант 5

**5.5.1** Задана пси-функция частицы  $\Psi(x,y,z)$ . По какой из приведённых ниже формул можно рассчитать вероятность  $p$  того, что частица будет обнаружена в области пространства  $V$ ?

$$1) p = \frac{\Psi}{V}; \quad 2) p = \frac{\Psi^2}{V}; \quad 3) p = |\Psi|^2; \quad 4) p = \int_V |\Psi|^2 dV; \quad 5) p = \frac{d\Psi}{dV}.$$

**5.5.2** В одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$  находится электрон. Какие из перечисленных ниже величин не могут быть определены абсолютно точно при бесконечно большом времени измерения?

- а) координата;
- б) энергия;
- в) импульс;
- г) квадрат импульса.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) а, в, г; 6) а, б, в;

**5.5.3** Укажите, по какой(им) из приведённых ниже формулам можно верно рассчитать модуль полного магнитного момента электрона в атоме? ( $\mu_B$  – магнетон Бора;  $j$  – полное квантовое число)

$$1) |P_m| = \mu_B \sqrt{j(j+1)}; \quad 2) |P_m| = \mu_B \sqrt{l(l+1)};$$

$$3) |P_m| = \mu_B \sqrt{s(s+1)}; \quad 4) |P_m| = \mu_B \cdot g \sqrt{j(j+1)}.$$

**5.5.4** Заполненный электронный слой характеризуется главным квантовым числом  $n = 3$ . Указать возможное число электронов в этом слое, которые могут иметь одинаковое магнитное  $m_l = 1$  и  $m_s = 1/2$  квантовые числа.

**5.5.5** Возбуждённый атом испускает фотон в течение 0,01 мкс. Найдите, с какой точностью может быть определена (по порядку величины) энергия фотона. Ответ дать в электронвольтах.

Ответы: 1)  $10^8$ ; 2)  $10^4$ ; 3)  $10^0$ ; 4)  $10^{-4}$ ; 5)  $10^{-8}$ .

## 5.6 Вариант 6

**5.6.1** Укажите номер ответа, где неверно отражён смысл волновой  $\psi$  - функции, представленной в виде  $\int_V |\psi|^2 dV = 1$ . Это выражение

описывает:

- а) условие нормировки  $\psi$ -функции;
- б) плотность вероятности нахождения частицы в соответствующем месте пространства;
- в) вероятность того, что частица находится в одной из точек пространства объёма  $V$ ;
- г) состояние частицы.

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г.

**5.6.2** В области потенциального барьера ...  
Укажите верное проолжение:

- а) скорость и импульс частицы уменьшаются;
- б) скорость и импульс частицы увеличиваются;
- в) дебройлевская длина волны частицы уменьшается;
- г) дебройлевская длина волны частицы увеличивается.

Ответы: 1) а, в; 2) б, в; 3) б, г; 4) а, г.

**5.6.3** Используя принцип Паули, указать, какое максимальное число электронов в атоме могут иметь одинаковые главное  $n = 5$  и спиновое  $s = +1/2$  квантовые числа.

**5.6.4** Атом, кроме заполненных оболочек, имеет три электрона  $s$ ,  $p$ ,  $d$  и находится в состоянии с максимально возможным для этой конфигурации полным моментом импульса. Вычислить (в ед. СИ) значение полного момента импульса.

Ответы: 1)  $5,22 \cdot 10^{-34}$ ; 2)  $6,17 \cdot 10^{-34}$ ; 3)  $7,34 \cdot 10^{-34}$ ; 4)  $8,25 \cdot 10^{-34}$ .

**5.6.5** Частица находится в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Найти ширину ямы, если максимальная плотность вероятности нахождения в ней частицы равна  $4 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$ .

Ответы: 1)  $5 \cdot 10^{-11}$ ; 2)  $2 \cdot 10^{-10}$ ; 3)  $5 \cdot 10^{-10}$  4)  $2 \cdot 10^{-9}$ ; 5)  $5 \cdot 10^{-9}$ .

## 5.7 Вариант 7

**5.7.1** Укажите верный ответ в приведённых ниже определениях туннельного эффекта. Туннельный эффект – это:

- 1) прохождение микрочастицы через потенциальный барьер в случае, когда её *полная энергия* меньше высоты барьера;
- 2) прохождение микрочастицы через потенциальный барьер в случае, когда её *кинетическая энергия* меньше высоты барьера;
- 3) прохождение микрочастицы через потенциальный барьер в случае, когда её *потенциальная энергия* меньше высоты барьера.

**5.7.2** Электрон с кинетической энергией, равной 15 эВ, находится в металлической пылинке диаметром 1 мкм. Оценить по порядку величины относительную неопределённость, с которой может быть определена скорость электрона. Правую часть соотношения неопределённостей принять равной  $1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Ответы: 1)  $10^{-2}$ ; 2)  $10^{-3}$ ; 3)  $10^{-4}$ ; 4)  $10^{-6}$ ; 5)  $10^{-8}$ .

**5.7.3** Заполненный электронный слой характеризуется главным квантовым числом  $n = 3$ . Указать максимальное число электронов в этом слое, которые имеют одинаковое спиновое  $m_s = +1/2$  и орбитальное  $l = 2$  квантовое число.

Ответы: 1) 18; 2) 9; 3) 7; 4) 5; 5) 3.

**5.7.4** Частица находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $l = 1,5 \cdot 10^{-10}$  м. Вычислить плотность вероятности нахождения частицы в возбуждённом состоянии в точке, отстоящей от края ямы на  $1/3 l$ .

Ответы: 1)  $0,33 \cdot 10^{+10}$ ; 2)  $0,66 \cdot 10^{+10}$ ; 3)  $10^{+10}$ ; 4)  $3,3 \cdot 10^{+10}$ .

**5.7.5** Каким выражением определяется проекция момента импульса  $L_Z$  атома водорода на заданное направление  $Z$  в квантовой механике?

$$1) L_Z = P_{mz} \frac{e}{2m}; \quad 2) L_Z = m_l \hbar;$$

$$3) L_Z = \hbar \sqrt{l(l+1)}; \quad 4) L_Z = -\frac{e\hbar}{2m} \sqrt{l(l+1)}.$$

## 5.8 Вариант 8

**5.8.1** Укажите уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.

$$а) i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U\psi \qquad б) -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U\psi = E\psi$$

$$в) -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi = E\psi \qquad г) -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}.$$

Ответы: 1) а, б, г; 2) б, в, г; 3) а, в; 4) б, в; 5) в, г

**5.8.2** Какова размерность волновой функции  $\psi$ , входящей в уравнение Шрёдингера

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi = 0$$

1)  $\psi$  - безразмерная величина; 2)  $m^{-3}$ ; 3)  $m^{-1/2}$ ; 4)  $m^{-3/2}$ ; 5)  $m^{3/2}$ .

**5.8.3** Найти возможные комбинации главного  $n$ , орбитального  $l$  и магнитного  $m_l$  квантовых чисел для атома, находящегося в состоянии с главным квантовым числом  $n = 2$ .

$n$	$l$	$m_l$
2	0	0

а)

$n$	$l$	$m_l$
2	1	-1
2	1	0
2	1	+1

в)

$n$	$l$	$m_l$
2	0	+1
2	0	-1

б)

$n$	$l$	$m_l$
2	1	-2
2	1	0
2	1	+2

г)

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г

**5.8.4** Вычислить абсолютное значение собственного магнитного момента электрона, находящегося в атоме водорода в  $2P$ -состоянии. Ответ дать в ед. СИ.

Ответы: 1)  $1,6 \cdot 10^{-23}$ ; 2)  $3,58 \cdot 10^{-23}$ ; 3)  $1,6 \cdot 10^{-22}$ ; 4)  $3,58 \cdot 10^{-22}$ .

**5.8.5** Частица находится во втором возбуждённом состоянии в одномерной потенциальной яме шириной  $l$ . Определить вероятность нахождения частицы в первой половине ширины ямы  $0 \leq x \leq l/2$ .

## 5.9 Вариант 9

**5.9.1** Среди предложенных ниже утверждений имеется **ошибочное**. Укажите его.

- 1) решение уравнения Шрёдингера позволяет определить полную энергию частицы;
- 2) решение уравнения Шрёдингера позволяет определить волновую функцию частицы;
- 3) в области потенциального барьера при замедлении микрочастицы уменьшается длина волны де Бройля;
- 4) спин является врождённой характеристикой частицы, подобно массе и заряду;
- 5) инверсия населённостей энергетических уровней в веществе приводит к преобладанию вынужденных излучательных переходов над поглощательными.

**5.9.2** Электрон находится в атоме водорода. Найти возможные комбинации главного  $n$ , орбитального  $l$  и магнитного  $m_l$  квантовых чисел для случая  $n = 3$

$n = 3; l = 0;$ $m_l = 0$	$n = 3; l = 1$ $m_l = +1;$	$n = 3;$ $l = 2;$ $m_l = 0;$	$n = 3; l = 2;$ $m_l = 2;$
	$n = 3; l = 1;$ $m_l = 0$	$n = 3; l = 2;$ $m_l = -1;$	$n = 3; l = 2;$ $m_l = 1$
	$n = 3; l = 1;$ $m_l = -1;$	$n = 3; l = 2;$ $m_l = -2$	
а)	б)	в)	г)

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г; 7) а, б, в, г

**5.9.3** Найти модуль максимальной проекции собственного магнитного момента на ось  $Z$  для электрона, находящегося в  $d$  – состоянии. Ответ дать в ед. СИ.

Ответы: 1)  $9,27 \cdot 10^{-24}$ ; 2)  $4,63 \cdot 10^{-24}$ ; 3)  $2,31 \cdot 10^{-24}$ ; 4)  $1,16 \cdot 10^{-24}$ .

**5.9.4** В потенциальной яме бесконечной глубины движется электрон. Во сколько раз изменится кинетическая энергия электрона при уменьшении ширины потенциальной ямы вдвое?

Ответы: 1) не изменится; 2) увеличится в 2 раза; 3) увеличится в 4 раза; 4) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.

**5.9.5** Какова размерность волновой функции  $\psi$ , входящей в

уравнение Шрёдингера 
$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0$$

Ответы: 1)  $\psi$ -функция – безразмерная величина;

2)  $m^{-1/2}$ ; 3)  $m^{-3/2}$ ; 4)  $m^{-3}$ ; 5)  $m^{3/2}$ .

## 5.10 Вариант 10

**5.10.1** Какие из перечисленных утверждений справедливы?

- а) направление распространения индуцированного излучения совпадает с направлением распространения вынуждающего излучения;
- б) частота вынужденного излучения совпадает с частотой вынуждающего излучения;
- в) вынужденное и вынуждающее излучение когерентны;
- г) интенсивность индуцированного излучения зависит от населённости энергетических уровней, между которыми осуществляется переход.

Ответы: 1) а, б, в; 2) а, в, г; 3) б, в, г; 4) а, б, в, г.

**5.10.2** Укажите уравнение Шрёдингера для стационарных состояний

$$\begin{array}{ll} \text{а) } -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dt^2} = i\hbar \frac{d\Psi}{dt}; & \text{б) } -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi = E\Psi \\ \text{в) } -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi + U\Psi = E\Psi & \text{г) } i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi + U\Psi. \end{array}$$

Ответы: 1) а, б; 2) а, в; 3) а, г; 4) б, в; 5) б, г; 6) в, г.

**5.10.3** Атом находится в состоянии со спиновым квантовым числом  $S$  и орбитальным квантовым числом  $L$ , равными, соответственно, 2 и 3. Определить максимальное значение результирующего механического момента импульса атома.

Ответы: 1) 5,48  $\hbar$ ; 2) 3,89  $\hbar$ ; 3) 3,16  $\hbar$ ; 4) 2,74  $\hbar$ .



**5.10.4** В потенциальной яме с бесконечно высокими вертикальными стенками движется электрон. Во сколько раз изменится минимальное значение кинетической энергии электрона при уменьшении ширины потенциальной ямы в 3 раза? Из предложенных ответов выберите правильный.

- 1) кинетическая энергия не изменится;
- 2) энергия увеличится в 3 раза;
- 3) энергия увеличится в 9 раз;
- 4) энергия уменьшится в 3 раза;
- 5) энергия уменьшится в 9 раз.

**5.10.5** Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $L$  имеет вид:

$\psi = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$ . Какое из выражений соответствует импульсу частицы, находящейся во втором возбуждённом состоянии?

Ответы: 1)  $\frac{2\pi\hbar}{L}$ ; 2)  $\frac{\pi\hbar}{2L}$ ; 3)  $\frac{\pi\hbar}{3L}$ ; 4)  $\frac{3\pi\hbar}{L}$

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Основные физические постоянные

Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м <sup>2</sup> /кг <sup>2</sup>
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )
Постоянная Вина	$b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	$R(\lambda) = 1,097 \cdot 10^7$ м <sup>-1</sup>
	$R(\nu) = 3,29 \cdot 10^{15}$ с <sup>-1</sup>
	$R(\omega) = 2,07 \cdot 10^{16}$ с <sup>-1</sup>
Комптоновская длина волны (для электрона)	$\lambda_C = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Первый боровский радиус	$a_0 = 5,28 \cdot 10^{-11}$ м
Магнетон Бора	$\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>
Молярная газовая постоянная	$R = 8,31$ Дж/(моль·К)
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Энергия ионизации атома водорода	$E_i = 13,6$ эВ

### Десятичные приставки к названиям единиц

Т – тера (10 <sup>12</sup> )	д – деци (10 <sup>-1</sup> )	н – нано (10 <sup>-9</sup> )
Г – гига (10 <sup>9</sup> )	с – санти (10 <sup>-2</sup> )	п – пико (10 <sup>-12</sup> )
М – мега (10 <sup>6</sup> )	м – милли (10 <sup>-3</sup> )	ф- фемто (10 <sup>-15</sup> )
к – кило (10 <sup>3</sup> )	мк – микро (10 <sup>-6</sup> )	а – атто (10 <sup>-18</sup> )



