

**Часть 1**

От чего зависит максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, выбиваемых из металла при фотоэффекте?

**A1**

- A) от частоты падающего света
- B) от интенсивности падающего света
- B) от работы выхода электронов из металла

Правильными являются ответы:

- 1) только B
- 2) A и B
- 3) A и B
- 4) A, B и B

Поверхность металла освещают светом, длина волны которого меньше длины волны  $\lambda$ , соответствующей красной границе фотоэффекта для данного вещества. При

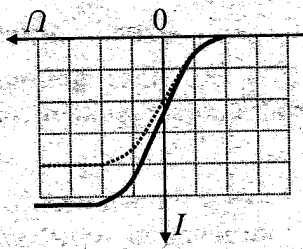
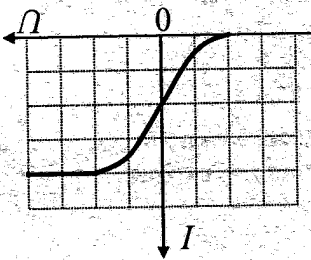
**A2**

увеличении интенсивности света

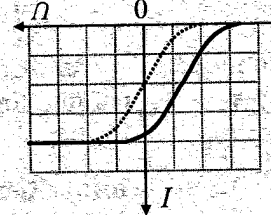
- 1) фотоэффект не будет происходить при любой интенсивности света
- 2) будет увеличиваться количество фотоэлектронов
- 3) будет увеличиваться энергия фотоэлектронов
- 4) будет увеличиваться как энергия, так и количество фотоэлектронов

**A3**

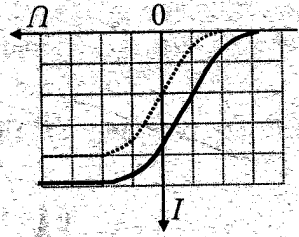
Фотоэлемент освещают светом с определенной частотой. На рисунке справа представлен график зависимости силы фототока в этом фотоэлементе от приложенного к нему напряжения. В случае увеличения частоты без изменения количества фотонов, падающих на фотоэлемент в единицу времени, график изменится. На каком из приведенных рисунков правильно отмечено изменение графика? Будем считать, что отношение числа фотоэлектронов к числу падающих фотонов не зависит от частоты.



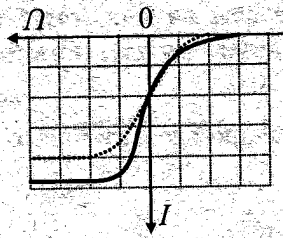
2)



1)

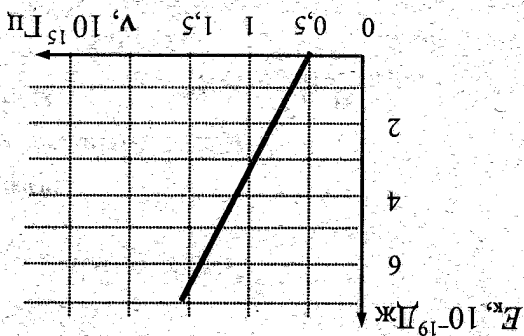


3)



4)

A4 Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график изменения максимальной энергии фотоэлектронов в зависимости от частоты падающего света. Какова работа выхода фотоэлектронов из оксида кальция?



- 1) 0,7 эВ
- 2) 1,4 эВ
- 3) 2,1 эВ
- 4) 2,8 эВ

A5 В опытах по фотоэффекту пластину из металла с работой выхода 3,5 эВ освещали электромагнитным излучением с энергией фотонов 12 эВ. Затем частоту падающего света на пластину излучения увеличили в 2 раза, оставив неизменной его интенсивность. В результате этого максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов

- 1) не изменилась, так как фотоэлектронов не будет
- 2) увеличилась более чем в 2 раза
- 3) увеличилась в 2 раза
- 4) увеличилась менее чем в 2 раза

A6 Частота красного света примерно в 2 раза меньше частоты фиолетового света. Энергия фотона красного света по отношению к энергии фотона фиолетового света

- 1) больше в 4 раза
- 2) больше в 2 раза
- 3) меньше в 2 раза
- 4) меньше в 4 раза

A7 Импульс фотона имеет наименьшее значение в диапазоне частот

- 1) рентгеновского излучения
- 2) видимого излучения
- 3) ультрафиолетового излучения
- 4) инфракрасного излучения

A8 Один лазер излучает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda_1 = 400$  нм, другой — с длиной волны  $\lambda_2 = 600$  нм. Отношение импульсов фотонов, излучаемых лазерами, равно

- 1)  $\frac{2}{3}$
- 2)  $\frac{3}{2}$
- 3)  $\sqrt{\frac{3}{2}}$
- 4)  $\sqrt{\frac{2}{3}}$

A9 Электрон и  $\alpha$ -частица имеют одинаковые длины волн де Бройля. Импульс какой частицы больше?

- 1) электрона, так как его электрический заряд меньше
- 2)  $\alpha$ -частицы, так как ее масса больше
- 3)  $\alpha$ -частица не обладает волновыми свойствами
- 4) импульсы одинаковы

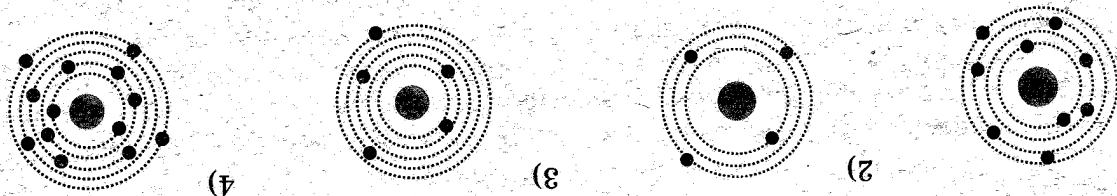
**A10** В опыте Резерфорда  $\alpha$ -частицы рассеиваются

- 1) электростатическим полем ядра атома
- 2) электронной оболочкой атома
- 3) гравитационным полем ядра атома
- 4) поверхностью мишени

**A11** В планетарной модели атома принимается, что число

- 1) электронов на орбитах равно числу протонов в ядре
- 2) протонов равно числу нейтронов в ядре
- 3) электронов на орбитах равно сумме чисел протонов и нейтронов в ядре
- 4) нейтронов в ядре равно сумме чисел электронов на орбитах и протонов в ядре

**A12** На рисунке изображены схемы четырех атомов в модели Резерфорда. Черными точками обозначены электроны. Атому <sup>9</sup>Be соответствует схема



**A13** Атом натрия <sup>23</sup>Na содержит

- 1) 11 протонов, 23 нейтрона и 34 электрона
- 2) 23 протона, 11 нейтронов и 11 электронов
- 3) 12 протонов, 11 нейтронов и 12 электронов
- 4) 11 протонов, 12 нейтронов и 11 электронов

**A14** На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Под названием элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов, нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

4	IV	К калий 39 <sup>93</sup> 41 <sup>67</sup>	Ca кальций 40 <sup>97</sup> 44 <sup>21</sup>	Sc скандий 45 <sup>100</sup>
	V	Cu медь 63 <sup>93</sup> 65 <sup>31</sup>	Zn цинк 64 <sup>96</sup> 66 <sup>28</sup> 68 <sup>36</sup>	Ga галлий 69 <sup>90</sup> 71 <sup>30</sup>
3	III	Na натрий 23 <sup>100</sup>	Mg магний 24 <sup>78</sup> 26 <sup>11</sup> 25 <sup>10</sup>	Al алюминий 27 <sup>100</sup>
	II	Li литий 7 <sup>93</sup> 6 <sup>74</sup>	Be бериллий 9 <sup>100</sup>	B бор 11 <sup>80</sup> 10 <sup>20</sup>

Число протонов и число нейтронов в ядре самого распространённого изотопа цинка соответственно равно

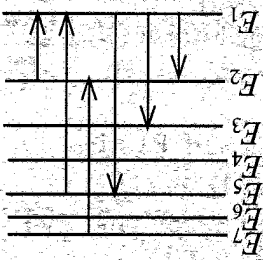
- 1) 49 протонов, 30 нейтронов
- 2) 64 протона, 49 нейтронов
- 3) 30 протонов, 34 нейтрона
- 4) 34 протона, 30 нейтронов

Согласно постулатам Бора, частота электромагнитного излучения, возникающего при переходе атома из возбужденного состояния с энергией  $E_1$  в основное состояние с энергией  $E_0$ , вычисляется по формуле ( $c$  — скорость света,  $h$  — постоянная Планка)

$$1) \frac{E_1 + E_0}{h} \quad 2) \frac{E_1 - E_0}{h} \quad 3) \frac{E_1 - E_0}{hc} \quad 4) \frac{E_1 + E_0}{hc}$$

A16

На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой из отмеченных стрелками переходов между энергетическими уровнями сопровождается поглощением кванта минимальной частоты?



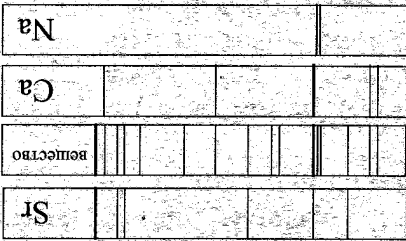
- 1) с уровня 1 на уровень 5
- 2) с уровня 1 на уровень 2
- 3) с уровня 5 на уровень 1
- 4) с уровня 2 на уровень 1

Электрон внешней оболочки атома сначала переходит из стационарного состояния с энергией  $E_1$  в стационарное состояние с энергией  $E_2$ , поглощая фотон частотой  $\nu_1$ . Затем он переходит из состояния  $E_2$  в стационарное состояние с энергией  $E_3$ , поглощая фотон частотой  $\nu_2 > \nu_1$ . Что происходит при переходе электрона из состояния  $E_3$  в состояние  $E_1$ ?

- 1) излучение света частотой  $\nu_2 + \nu_1$
- 2) излучение света частотой  $\nu_2 - \nu_1$
- 3) поглощение света частотой  $\nu_2 - \nu_1$
- 4) поглощение света частотой  $\nu_2 + \nu_1$

A17

На рисунке приведены спектры поглощения атомарных паров неизвестного вещества и трех известных элементов. По виду спектров можно утверждать, что неизвестное вещество содержит в заметном количестве атомы



- 1) только стронция (Sr) и кальция (Ca)
- 2) только натрия (Na) и стронция (Sr)
- 3) только стронция (Sr), кальция (Ca) и натрия (Na)
- 4) стронция (Sr), кальция (Ca), натрия (Na) и других элементов

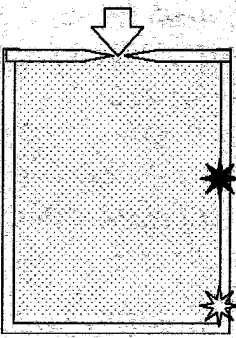
A18

A19 Гамма-излучение — это

- 1) поток ядер гелия
- 2) поток протонов
- 3) поток электронов
- 4) электромагнитные волны

A19

Неизвестная частица, являющаяся продуктом некоторой ядерной реакции, влетает в камеру с магнитным полем, направленным перпендикулярно направлению ее движения (перпендикулярно плоскости рисунка). Белой звездочкой на рисунке показано место, где частица ударилась в экран. Черной звездочкой показано место, в которое на экран попадают протоны с той же скоростью. Неизвестная частица, скорее всего, является



- 1) электроном
- 2) нейтроном
- 3) позитроном
- 4)  $\alpha$ -частицей

A20

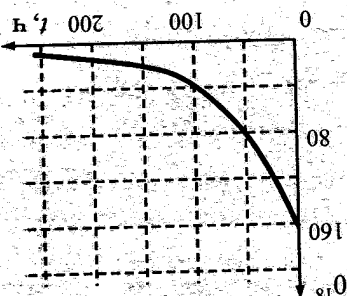
A21 Период полураспада ядер атомов некоторого вещества составляет 17 с. Это означает, что

- 1) за 17 с атомный номер каждого ядра уменьшится вдвое
- 2) одно радиоактивное ядро распадается каждые 17 с
- 3) все изначально имевшиеся ядра радиоактивного вещества распадутся через 34 с
- 4) половина изначально большого числа имевшихся ядер распадется за 17 с

A22 Период полураспада изотопа натрия  $^{22}_{11}\text{Na}$  равен 2,6 года. Если изначально было 104 мг этого изотопа, то сколько примерно его будет через 5,2 года?

- 1) 13 мг
- 2) 26 мг
- 3) 39 мг
- 4) 52 мг

A23 Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер  $^{172}_{68}\text{Er}$  от времени. Каков период полураспада этого изотопа эрбия?



- 1) 25 часов
- 2) 50 часов
- 3) 100 часов
- 4) 200 часов

A24 Нарядный газ утлерод  $^{15}\text{C}$  излучает свет. Этот изотоп испытывает  $\beta$ -распад с периодом полураспада 2,5 с. Как изменится спектр излучения всего газа за 5 с?

- 1) спектр утлерода  $^{15}\text{C}$  исчезнет и заменится спектром азота  $^{7}\text{N}$
- 2) спектр станет ярче из-за выделяющейся энергии
- 3) спектр сдвинется в красную область из-за уменьшения числа атомов утлерода
- 4) спектр утлерода станет менее ярким, но добавятся линии азота  $^{7}\text{N}$

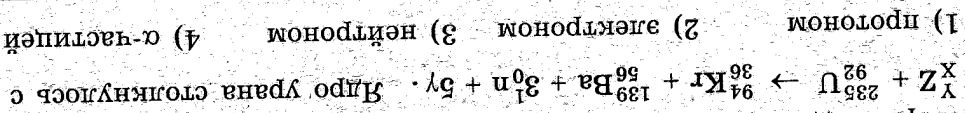
A25 Ядро бария  $^{143}_{56}\text{Ba}$  в результате испускания нейтрона, а затем электрона превратилось в изотоп

- 1)  $^{145}_{56}\text{Ba}$
- 2)  $^{142}_{57}\text{La}$
- 3)  $^{143}_{58}\text{Ba}$
- 4)  $^{144}_{55}\text{Cs}$

A26 Радиоактивный свинец  $^{212}_{82}\text{Pb}$ , испытав один  $\alpha$ -распад и два  $\beta$ -распада, превратился в изотоп

- 1) свинец  $^{212}_{82}\text{Pb}$
- 2) полоний  $^{212}_{82}\text{Po}$
- 3) висмут  $^{212}_{83}\text{Bi}$
- 4) таллия  $^{208}_{81}\text{Tl}$

A27 В результате столкновения ядра урана с частицей произошло деление ядра урана, сопровождающееся излучением нейтронов и  $\gamma$ -квантов в соответствии с уравнением



**A28** В результате реакции синтеза ядра дейтерия с ядром  ${}^X_Z$  образуется ядро бора и нейтрон в соответствии с реакцией:  ${}^1_2\text{H} + {}^X_Z \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$ . Каковы массовое число  $X$  и заряд  $Y$  (в единицах элементарного заряда) ядра, вступающего в реакцию с дейтерием?

- 1)  $X = 11$   $Y = 5$   
 2)  $X = 10$   $Y = 5$   
 3)  $X = 9$   $Y = 4$   
 4)  $X = 10$   $Y = 4$

## Часть 2

Ответом к заданиям этой части (B1–B2) является последовательность цифр.

**B1**

Для некоторых атомов характерной особенностью является возможность захвата атомным ядром одного из ближайших к нему электронов. Как ведут себя перечисленные ниже характеристики атомного ядра при захвате ядром электрона: массовое число, заряд и число нейтронов в ядре?

- Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:
- 1) увеличивается
  - 2) уменьшается
  - 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Массовое число ядра	Заряд ядра	Число нейтронов в ядре

**B2**

Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими фотон длиной волны  $\lambda$ , и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- A) энергия фотона  
 B) импульс фотона

- ФОРМУЛЫ
- 1)  $hc/\lambda$
  - 2)  $h\lambda/c$
  - 3)  $\lambda/c$
  - 4)  $h/\lambda$

A	B

Часть 1

**A1** Какова энергия фотона, соответствующего длине электромагнитной волны  $\lambda = 6$  мкм?

- 1)  $3,3 \cdot 10^{-40}$  Дж  
 2)  $4,0 \cdot 10^{-39}$  Дж  
 3)  $4,0 \cdot 10^{-19}$  Дж  
 4)  $3,3 \cdot 10^{-20}$  Дж

**A2** В опытах по фотоэффекту пластину из металла с работой выхода  $3,4 \cdot 10^{-19}$  Дж освещали светом с частотой  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. Затем частоту света уменьшили в 2 раза, одновременно увеличив в 1,5 раза число фотонов, падающих на пластину за 1 с. В результате этого максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов

- 1) стала равной нулю  
 2) увеличилась в 1,5 раза  
 3) уменьшилась в 2 раза  
 4) уменьшилась менее чем в 2 раза

**A3** Работа выхода фотоэлектронов для материала катода вакуумного фотоэлемента равна 1,5 эВ. Катод освещается монохроматическим светом, у которого энергия фотона равна 3,5 эВ. Каково запирающее напряжение, при котором фототок прекратится?

- 1) 1,5 В  
 2) 2,0 В  
 3) 3,5 В  
 4) 5,0 В

**A4** В некоторых опытах по изучению фотоэффекта фотоэлектронные тормозятся электрическим полем. Напряжение, при котором поле останавливает и возвращает назад все фотоэлектроны, назвали запирающим напряжением. В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении пластины и той же пластины.

Задерживающее напряжение $U$ , В	Частота $\nu$ , $10^{14}$ Гц
0,4	5,5
0,6	6,1

Постоянная Планка по результатам этого эксперимента равна

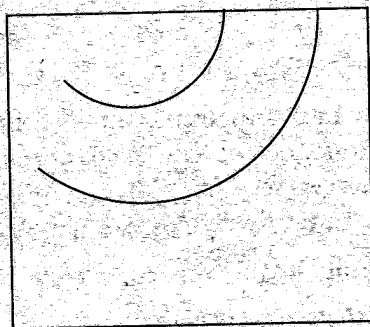
- 1)  $4,6 \cdot 10^{-34}$  Дж · с  
 2)  $5,3 \cdot 10^{-34}$  Дж · с  
 3)  $7,0 \cdot 10^{-34}$  Дж · с  
 4)  $6,3 \cdot 10^{-34}$  Дж · с

**A5** Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны  $\lambda_{кр} = 600$  нм. При освещении этого металла светом длиной волны  $\lambda$  максимальная кинетическая энергия выбитых из него фотоэлектронов в 3 раза меньше энергии падающего света. Какова длина волны падающего света?

- 1) 133 нм  
 2) 300 нм  
 3) 400 нм  
 4) 1200 нм

Часть 2

На рисунке показаны два трека заряженных частиц в камере Вильсона, помещенной в однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости рисунка. Трек I принадлежит протону.



Какой из частиц (протону, электрону или  $\alpha$ -частице) принадлежит трек II? Известно, что частицы влетели в камеру Вильсона в плоскости рисунка с одинаковыми скоростями. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

Полное правильное решение каждой из задач C2-C4 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численными данными и при необходимости рисунок, поясняющий решение.

C2

Радиоактивный препарат помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы с энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех  $\alpha$ -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата А, то есть количество  $\alpha$ -частиц, покидающих в нем за 1 с. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

C3

Образец, содержащий радий, за 1 с испускает  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц. За 1 ч выделилась энергия 100 Дж. Каков средний импульс  $\alpha$ -частицы? Масса  $\alpha$ -частицы равна  $6,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Энергией отдачи ядер,  $\gamma$ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

C4

В вакууме находится два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью  $C = 8000$  пФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе накапливается заряд  $q = 11 \cdot 10^{-9}$  Кл. Работа выхода электронов из кальция  $A = 4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж. Определите длину волны  $\gamma$  света, освещающего катод.