

11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

Набор задач для самостоятельного решения по занятию 9.

Темы: основы СТО, квантовая физика.

Задача 1 (2 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

При освещении фотокатода монохроматическим светом с длиной волны λ_0 максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна E_0 , а работа выхода электронов для материала фотокатода равна $3E_0$. При какой величине длины волны света максимальная кинетическая энергия выбитых электронов достигнет значения $9E_0$? В качестве ответа напишите номер выбранного варианта.

Варианты ответа:

- 1) $\frac{1}{2}\lambda_0$ 2) $\frac{1}{3}\lambda_0$ 3) $\frac{1}{6}\lambda_0$ 4) $\frac{1}{12}\lambda_0$

Подсказка 1: С помощью уравнения Эйнштейна можно связать длину волны света и максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов: $E = h\nu - A = \frac{hc}{\lambda} - A$, то есть

$$\lambda = \frac{hc}{E + A}.$$

Решение:

С помощью уравнения Эйнштейна можно связать длину волны света и максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов: $E = h\nu - A = \frac{hc}{\lambda} - A$, то есть $\lambda = \frac{hc}{E + A}$. Таким

образом, при $A = 3E_0$: $\lambda_0 = \frac{hc}{4E_0}$, и тогда $\lambda = \frac{hc}{9E_0 + A} = \frac{hc}{12E_0} = \frac{1}{3}\lambda_0$.

Ответ: 2.

Задача 2 (3 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

При освещении фотокатода светом от красного лазера при нулевой величине тормозящего напряжения регистрируется фототок. Как изменятся перечисленные в левом столбце величины, если заменить красный лазер зеленым, мощность которого в десять раз меньше, чем у красного? В качестве ответа задания напишите подряд номера ответов для случаев А, Б, В и Г (не разделяя знаками препинания, например: 1324).

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ИЗМЕНЕНИЕ
А) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов	1) уменьшилась 2) увеличилась
Б) величина фототока при нулевой величине тормозящего напряжения	3) не изменилась 4) обратилась в
В) значение запирающего напряжения, при котором фототок исчезает	ноль
Г) красная граница фотоэффекта	

Таблица для ответа:

А	Б	В	Г

Подсказка 1: частота света зеленого лазера больше, чем у красного.

Подсказка 2: величина фототока пропорциональна интенсивности света, а при изменении частоты она меняется существенно слабее.

Решение:

Поскольку частота света зеленого лазера больше, чем у красного, то в соответствии с уравнением Эйнштейна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $E = h\nu - A$ во втором случае увеличивается. Вместе с энергией увеличивается и значение тормозящего напряжения, при котором исчезает фототок ($eU = E$). Величина фототока при нулевой величине запирающего напряжения пропорциональна интенсивности света, а при изменении частоты она меняется существенно слабее, поэтому во втором случае эта величина уменьшается (интенсивность падает в десять раз, а частота увеличивается лишь примерно в два раза). Красная граница фотоэффекта – минимальная частота, либо максимальная длина волны, при которой появляется фототок при нулевой величине тормозящего напряжения $\bar{\nu} = \frac{A}{h}$ зависит от материала фотокатода, но не от характеристик падающего света, поэтому эта величина от замены лазера измениться не может.

Ответ: 2123.

Задача 3 (4 балла) [спектр атома, формула Планка, частоты переходов]

На рисунке 1 представлены энергетические уровни электронной оболочки атома и указаны частоты фотонов, излучаемых или поглощаемых при некоторых переходах между ними. Найти минимальную длину волны фотона, который может быть испущен при переходах между этими уровнями. Известно, что $\nu_{13} = 5 \cdot 10^{15}$ Гц, $\nu_{24} = 3 \cdot 10^{15}$ Гц и $\nu_{32} = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. Ответ записать в нанометрах, округлив до целого значения.

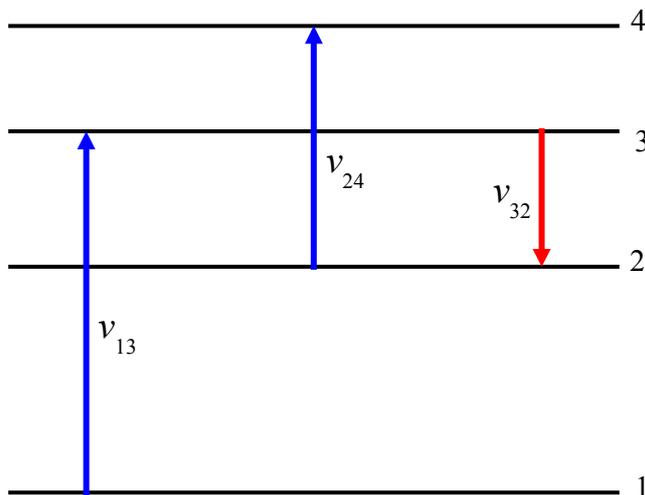


рисунок 1

Подсказка 1: минимальная длина волны отвечает максимальной энергии перехода.

Подсказка 2 поэтому $\lambda_{\min} = \frac{hc}{E_4 - E_1}$.

Подсказка 3: $E_4 - E_1 = E_4 - E_2 + E_2 - E_3 + E_3 - E_1$.

Решение:

Минимальная длина волны отвечает максимальной энергии перехода, то есть переходу с

уровня 4 на уровень 1: $\lambda_{\min} = \frac{hc}{E_4 - E_1}$. Но $E_4 - E_1 = E_4 - E_2 + E_2 - E_3 + E_3 - E_1$. С учетом

того, что $E_n - E_m = h\nu_{nm}$ находим: $\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{24} + \nu_{13} - \nu_{32}} \approx 50$ нм.

Ответ: 50.

Задача 4 (4 балла) [спектр атома, законы сохранения]

Пусть схема нижних энергетических уровней некоторого атома имеет вид, показанный на рисунке 2. Электрон с кинетической энергией $E_e = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж сталкивается с таким

атомом, находящимся в состоянии с энергией E_1 . В результате столкновения энергия передается от атома к электрону. Найти скорость электрона после столкновения с атомом. Ответ выразить в км/с, округлив до целого значения

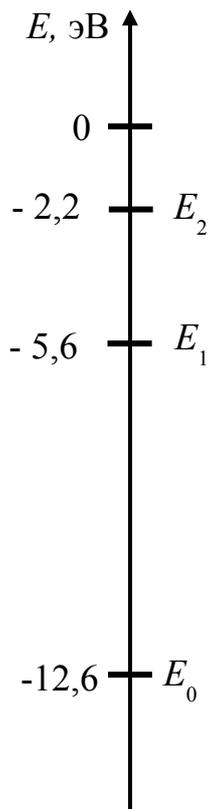


рисунок 2

Подсказка 1: атом должен перейти из состояния с энергией E_1 в состояние с энергией E_0 , так как ниже E_1 других уровней нет.

Подсказка 2: $1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Подсказка 3: из закона сохранения энергии, конечная кинетическая энергия электрона $E'_e = E_e + E_1 - E_0$.

Решение:

Поскольку энергия передается от атома к электрону, то атом должен перейти из состояния с энергией E_1 в состояние с энергией E_0 , так как ниже E_1 других уровней нет. Из закона сохранения энергии, конечная кинетическая энергия электрона $E'_e = E_e + E_1 - E_0$. Численный подсчет дает: $E'_e = (3,2 \cdot 10^{-19} + 7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) \text{ Дж} \approx 1,44 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$. Если электрон нерелятивистский (что в принципе естественно для таких энергий), то его скорость

$$v = \sqrt{\frac{2E'_e}{m}} \approx 1779 \text{ км/с}.$$

Ответ: 1779.

Задача 5 (4 балла) [энергия покоя, закон сохранения энергии, закон сохранения импульса]

Свободный пион (π^0 -мезон) движется со скоростью $v = 0,73 \cdot 10^7 \text{ м/с}$. В результате его распада образовались два γ -кванта, причём один из них распространяется в направлении движения пиона, а другой – в противоположном направлении. На сколько процентов энергия первого γ -кванта больше, чем второго? Ответ округлить до целого значения.

Подсказка 1: как видно из условия, $v \ll c$ (примерно в 50 раз).

Подсказка 2: пион, движущийся со скоростью $v \ll c$, имеет энергию $E \approx mc^2$ и импульс

$$p \approx mv, \text{ где } m \text{ – масса покоя пиона, а для } \gamma \text{-квантов } p_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{c}.$$

Подсказка 3: в соответствии с законами сохранения энергии и импульсы фотонов удовлетворяют соотношениям $E_1 + E_2 \approx mc^2$ и $p_1 - p_2 \approx mv$.

Решение:

Пион, движущийся со скоростью v , имеет энергию $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \approx mc^2$ и импульс $p \approx mv$,

где m – масса покоя пиона. Здесь использовано, что в соответствии с условием $v \ll c$ (примерно в 50 раз). При распаде пиона на два γ -кванта выполняются законы сохранения энергии и импульса, поэтому энергии и импульсы фотонов удовлетворяют соотношениям

$E_1 + E_2 \approx mc^2$ и $p_1 - p_2 \approx mv$. С другой стороны, для каждого из γ -квантов $p_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{c}$ (c – скорость света в вакууме), и второе соотношение можно переписать так: $E_1 - E_2 = mc v$.

Значит, $\frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} = \frac{v}{c} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{c+v}{c-v} \approx 1,05$.

Ответ: 5.

Задача 6 (5 баллов) [энергия покоя, закон сохранения энергии, закон сохранения импульса]

Свободный пион (π^0 -мезон) распадается на два γ -кванта, вылетевших во взаимно-перпендикулярных направлениях. Энергия одного γ -кванта составляет 75% от энергии другого. Чему равнялась скорость пиона до распада? Ответ выразить в процентах от скорости света в вакууме и округлить до целого значения.

Подсказка 1: пион, движущийся со скоростью v , имеет энергию $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ и импульс

$p = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, где m – масса покоя пиона.

Подсказка 2: при распаде пиона выполняются законы сохранения энергии и импульса, поэтому энергии и импульсы фотонов удовлетворяют соотношениям $E_1 + E_2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ и

$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}$.

Подсказка 3: второе соотношение после возведения в квадрат с учетом того, что $\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 = 0$, дает: $p^2 = p_1^2 + p_2^2$, причем импульсы γ -квантов $p_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{c}$.

Решение:

Пион, движущийся со скоростью v , имеет энергию $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ и импульс

$p = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, где m – масса покоя пиона. Заметим, что здесь пион нельзя считать нерелятивистским (в условии на это нет никаких указаний). При распаде пиона на два γ -кванта выполняются законы сохранения энергии и импульса, поэтому энергии и импульсы

фотонов удовлетворяют соотношениям $E_1 + E_2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ и $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}$. Так как

$E_2 = 0,75E_1$, то из первого соотношения можно найти: $E_1 = \frac{4}{7} \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$, $E_2 = \frac{3}{7} \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

. Второе соотношение возведем в квадрат (учитывая, что $\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 = 0$): $p^2 = p_1^2 + p_2^2$. С другой

стороны, для каждого из γ -квантов $p_{1,2} = \frac{E_{1,2}}{c}$ (c - скорость света в вакууме), и это уравнение можно переписать так: $E_1^2 + E_2^2 = \frac{m^2 c^2 v^2}{1 - v^2/c^2}$. Значит,

$$\frac{25 m^2 c^4}{49 (1 - v^2/c^2)} = \frac{m^2 c^2 v^2}{1 - v^2/c^2} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{5}{7} \approx 0,71.$$

Ответ: 71.

Задача 7 (2 балла) [ядерные реакции, массовое число, зарядовое число]

Определить неизвестное ядро (X), образовавшееся в реакции деления ядра протактиния ${}^1_0n + {}^{228}_{91}\text{Pa} \rightarrow {}^{123}_{50}\text{Sn} + X + {}^4_2\text{He} + 8 {}^1_0n$, вызванном попаданием в него нейтрона. В качестве ответа напишите номер выбранного варианта.

Варианты ответа:

- 1) ${}^{94}_{39}\text{Y}$ 2) ${}^{92}_{39}\text{Y}$ 3) ${}^{94}_{40}\text{Zr}$ 4) ${}^{92}_{40}\text{Zr}$

Подсказка 1: надо использовать уравнения законов сохранения массового и зарядового чисел.

Подсказка 2: для массового числа $1 + 228 = 123 + A_X + 4 + 8 \cdot 1$.

Решение:

Запишем уравнения законов сохранения массового и зарядового чисел:

$$1 + 228 = 123 + A_X + 4 + 8 \cdot 1 \Rightarrow A_X = 94,$$

$$0 + 91 = 50 + Z_X + 2 + 8 \cdot 0 \Rightarrow Z_X = 39.$$

Таким образом (в соответствии с таблицей химических элементов), неизвестное ядро – нестабильный изотоп иттрия: $X = {}^{94}_{39}\text{Y}$.

Ответ: 1.

Задача 8 (4 балла) [фотоэффект, работа выхода, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта]

Металлическая пластина облучается светом, который выбивает из нее электроны. Вылетающие из пластины электроны попадают в однородное электрическое поле напряженностью $E = 180$ В/м, причем вектор \vec{E} направлен перпендикулярно поверхности пластины от нее. Максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины, оказалось равно $s_1 = 2,0$ см. При увеличении частоты света на 20% это расстояние увеличилось до $s_2 = 2,8$ см. Найти работу выхода электронов из металла, из которого сделана пластина. Ответ запишите в эВ.

Подсказка 1: В соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $W = h\nu - A$.

Подсказка 2: Максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины соответствует тому, что работа силы $\vec{F} = -e\vec{E}$, действующей на электрон со стороны электрического поля, уменьшает их кинетическую энергию до нуля.

Подсказка 3: Таким образом, $eE \cdot s = W \Rightarrow eEs = h\nu - A$.

Решение:

В соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $W = h\nu - A$, где ν - частота света, A - искомая работа выхода, а h - постоянная Планка. Изменение кинетической энергии тела всегда равно работе действующих на него сил. Поэтому максимальное расстояние, на которое фотоэлектроны удаляются от пластины соответствует тому, что работа силы $\vec{F} = -e\vec{E}$, действующей на электрон со стороны электрического поля, уменьшает их кинетическую энергию до нуля. Таким образом, $eE \cdot s = W \Rightarrow eEs = h\nu - A$. Запишем такие соотношения для первого и

второго опыта и выразим из них работу выхода:

$$\begin{cases} eEs_1 = h\nu_1 - A \\ eEs_2 = 1,2 \cdot h\nu_1 - A \end{cases} \Rightarrow A = eE(5s_2 - 6s_1) = 3,6 \text{ эВ.}$$

Ответ: 3,6.

Задача 9 (4 балла) [радиоактивный распад, активность, уравнение теплового баланса]

Радиоактивный препарат поместили в медный контейнер массой $m = 0,5$ кг. Через 1 час после этого температура контейнера увеличилась на 6 К. Известно, что этот препарат испускает α -частицы с энергией $E = 5$ МэВ. Найти активность препарата, то есть количество α -распадов за 1 с. Считать, что энергия α -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Удельная теплоемкость меди $c = 380$ Дж/(кг·К). Ответ выразить в единицах $A_0 = 10^9 \text{ с}^{-1}$ (обратных наносекундах), округлив до целого значения.

Подсказка 1: за время t в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot Et$, где A - искомая активность препарата.

Подсказка 2: $5 \text{ МэВ} \approx 8 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Подсказка 3: так как все выделившееся тепло идет на нагрев контейнера, то $Q = cm \cdot \Delta T$.

Решение:

За время t в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot Et$, где A - искомая активность препарата. Это количество теплоты идет на нагрев контейнера, то есть $Q = cm \cdot \Delta T$. Значит, $A = \frac{cm\Delta T}{Et} \approx 0,396 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Отметим, что энергию α -частицы надо

выразить в Джоулях: $5 \text{ МэВ} \approx 8 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Ответ: 396.

Задача 10 (4 балла) [фотоны, давление света]

Источник, создающий монохроматический пучок параллельных лучей, за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи пучка падают нормально на площадку площадью $S = 0,7 \text{ см}^2$ и создают давление $p = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения. Ответ приведите в нанометрах. Постоянная Планка $h \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Подсказка 1: Каждый из фотонов имеет импульс $q = \frac{h}{\lambda}$.

Подсказка 2: Поглощенный фотон передает площадке свой импульс, а отраженный при взаимодействии передает ей в два раза больший импульс.

Подсказка 3: Сила давления света на площадку $pS = \frac{\Delta P}{\Delta t}$, где ΔP и – импульс, переданный площадке за время Δt .

Решение:

Каждый из фотонов имеет импульс $q = \frac{h}{\lambda}$. Поглощенный фотон передает площадке свой импульс, а отраженный при взаимодействии передает ей в два раза больший импульс (импульс фотона не изменяется по величине, но меняет направление на противоположное).

За время Δt площадке передается импульс $\Delta P = 0,6N \cdot q + 0,4N \cdot 2q = 1,4N \frac{h}{\lambda}$. Сила давления

света на площадку $pS = \frac{\Delta P}{\Delta t} = 1,4 \frac{Nh}{\Delta t \lambda}$. Отсюда $\lambda = 1,4 \frac{Nh}{pS\Delta t} \approx 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 550 \text{ нм}$.

ОТВЕТ: 550.

Задача 11 (5 баллов) [радиоактивный распад, активность, период полураспада]

Пациенту ввели внутривенно 2 см^3 раствора, содержащего радиоактивный изотоп ${}_{11}^{24}\text{Na}$. Известно, что активность 1 см^3 этого раствора равна $A_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада этого изотопа равен $T \approx 15,3$ часа. Через время $t \approx 7 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ у пациента взяли пробу крови объемом $v = 1 \text{ см}^3$. Какова будет активность этой пробы, если общий объем крови пациента $V \approx 6 \text{ л}$? Ответ запишите в распадах в секунду, в виде десятичной дроби, округлив до сотых.

Подсказка 1: Общая активность введенного раствора равна $2A_0$.

Подсказка 2: Активность изотопа, попавшего в кровь пациента, убывает из-за распада части ядер: $A(t) = 2A_0 \cdot 2^{-t/T}$.

Подсказка 3: В пробу крови попадет часть изотопа, пропорциональная объему этой пробы.

Решение:

Общая активность введенного раствора равна $2A_0$. Далее активность изотопа, попавшего в кровь пациента, убывает из-за уменьшения общего числа ядер: $A(t) = 2A_0 \cdot 2^{-t/T}$. Отметим,

что $\frac{t}{T} = \frac{460 \text{ мин}}{918 \text{ мин}} \approx 0,501$. В пробу крови попадет часть изотопа, пропорциональная объему

пробы, поэтому активность пробы $a = \frac{v}{V} A(t) = \frac{2v}{V} A_0 \cdot 2^{-t/T} \approx \frac{\sqrt{2}v}{V} A_0 \approx 0,47$ распадов в секунду.

ОТВЕТ: 0,47.