

**A1.** Вспомним что такое система единиц СИ.

СИ (SI, фр. Le Système International d'Unités), (Система Интернациональная) — международная система единиц, современный вариант метрической системы. СИ является наиболее широко используемой системой единиц в мире, как в повседневной жизни, так и в науке и технике.

Существует 7 основных единиц системы СИ:

1. единица измерения длины **метр** (1 м)
2. единица измерения времени **секунда** (1 с)
3. единица измерения массы **килограмм** (1 кг)
4. единица измерения количества вещества **моль** (1 моль)
5. единица измерения температуры **кельвин** (1 К)
6. единица измерения силы электрического тока **ампер** (1 А)
7. единица измерения силы света **кандела** (1 кд, практически не используется при решении задач).

Остальные физические величины – **производные**, то есть любую физическую величину можно выразить через эти семь.

Единицей измерения энергии является Джоуль, который не входит в состав основных единиц измерения в СИ. Поэтому Джоуль выражается через основные единицы СИ. Как? Очень просто. Вспомним, чему равна кинетическая энергия тела

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

А теперь подставим в формулу единицы измерения массы и скорости. Дорешайте пример самостоятельно.

Этот же принцип можно применить к любой другой физической величине.

Ответ: 2.

**A2.** Один из самых сложный и важных разделов физики – «Кинематика». Этот раздел размещен в свободном доступе у меня на сайте [www.repet.by](http://www.repet.by). Обязательно скачайте и внимательно разберите эту тему.

Частота вращения ( $\nu$ ) – количество оборотов, которое совершило тело, двигаясь по окружности, в единицу времени. Единица измерения – 1 об/с или 1 Гц. То есть

$$\nu = \frac{N}{t},$$

где  $N$  – количество оборотов за время  $t$ . Промежуток времени нам дам по условию задачи. Следовательно, нам надо найти количество совершенных оборотов.

Вал совершит один полный оборот когда любая точка его окружности пройдет путь численно равный длине окружности вала. Значит количество оборотов будет равно длине нитки, намотавшейся на вал. Деленной на длину окружности вала

$$N = \frac{l_{\text{нитки}}}{L_{\text{окружности}}} = \frac{l_{\text{нитки}}}{2\pi R}$$

Подставляем количество оборотов в первую формулу. Получим

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{\frac{l_{\text{нитки}}}{2\pi R}}{t} = \frac{l_{\text{нитки}}}{t \cdot 2\pi R}$$

Ответ: 2.

**A3.** Одна из самых важных формул в кинематике – **зависимость координаты тела от времени**

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Эта формула универсальна. При ее помощи мы можем описать любое движение. Применим ее к данной задаче.

Будем считать начальным тот момент времени, когда велосипедист проезжаем мимо мотоциклиста. Так же считаем, что они в этот момент времени находятся в начале системы координат и двигаются в ее положительном направлении.

Для велосипедиста:

$$x_0 = 0, v_0 = 5 \text{ м/с}, a = 0 \Rightarrow x_{\text{вел}} = 5t$$

Для мотоциклиста:

$$x_0 = 0, v_0 = 0, a = a \Rightarrow x_{\text{мото}} = \frac{at^2}{2}$$

Условие встречи велосипедиста и мотоциклиста

$$x_{\text{вел}} = x_{\text{мото}}$$

(велосипедист и мотоциклист находятся в одной точке пространства в один момент времени).

Таким образом получаем

$$5t = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{10}{t} = 0,5 \text{ м/с}^2 = 50 \text{ см/с}^2$$

Ответ: 5.

**A4.** Половину задач как на равноускоренное движение тела так и на свободное падение тела можно решить через формулу для средней скорости тела. С одной стороны средняя скорость тела это (в общем случае)

$$v_{\text{ср}} = \frac{S}{t}.$$

Для равноускоренного движения

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + v_0}{2}.$$

Откуда получаем соотношение

$$\frac{S}{t} = \frac{v + v_0}{2}.$$

Сначала воспользуемся формулой средней скорости для равноускоренного движения

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + v_0}{2}.$$

Начальная скорость тела при свободном падении всегда равна 0. Поэтому

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + 0}{2} \Rightarrow v = 2v_{\text{ср}} = 30 \text{ м/с}.$$

Зная конечную скорость тела найдем время падения

$$v = gt_{\text{падения}} \Rightarrow t_{\text{падения}} = \frac{v}{g} = 3 \text{ с}.$$

А теперь воспользуемся соотношением

$$\frac{S}{t} = \frac{v + v_0}{2} \Rightarrow S = \frac{v + v_0}{2} t$$

Подставляем числа и находим путь пройденный телом

$$S = \frac{v + v_0}{2} t = \frac{30}{2} \cdot 3 = 45 \text{ м}.$$

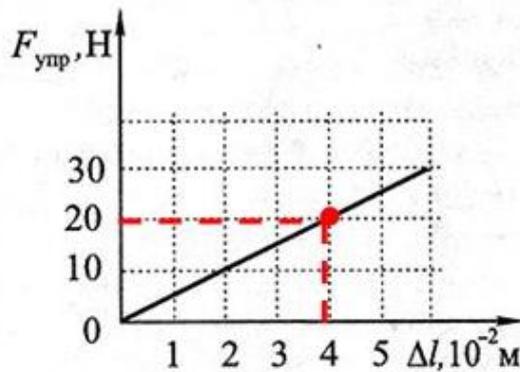
Ответ: 4.

**A5.** Согласно закону Гука при малых деформациях сила упругости пропорциональна деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещения частиц тела при деформации:

$$F_{\text{упр}} = kx.$$

Коэффициент  $k$  называют **жесткостью пружины**.

На графике отменим точку и опустим перпендикуляры на оси координат.



Запишем значения силы упругости  $F_x = 20 \text{ Н}$  и абсолютного удлинения пружины  $\Delta l = 0,04 \text{ м}$  и затем по формуле вычислим коэффициент жесткости

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{\Delta l} = 500 \text{ Н/м.}$$

Ответ: 5.

**А6.** Из-за разности давлений в жидкости на разных уровнях возникает **выталкивающая** или **архимедова** сила, равная

$$F_A = \rho g V$$

где  $V$  – объем **ВЫТЭСНЕННОЙ (!!!)** телом жидкости или объем той части тела, которая погружена в жидкость

По показаниям динамометра на двух рисунках определяем выталкивающую силу. Она будет равна разности показаний динамометра, то есть  $1 \text{ Н}$ . Затем по закону Архимеда определяем объем тела

$$F_A = \rho g V \Rightarrow V = \frac{F_A}{\rho g}$$

Так как объем погруженного тела равен объему вытесненной жидкости, то мы можем их приравнять

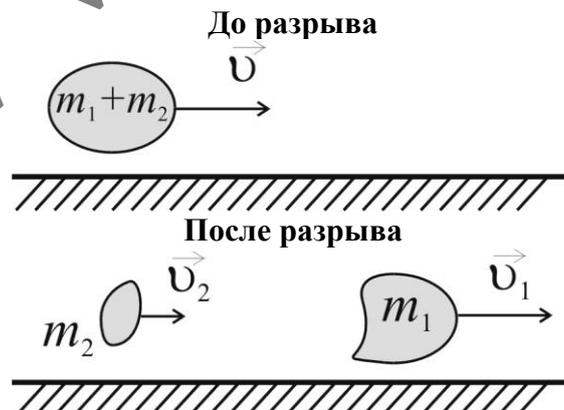
$$V = S \Delta h \Rightarrow \frac{F_A}{\rho g} = S \Delta h$$

Откуда найдем площадь сечения сосуда

$$S = \frac{F_A}{\rho g \Delta h} = 0,0005 \text{ м}^2 = 5 \text{ см}^2.$$

Ответ: 4.

**А7.** До разрыва ядро представляло собой единое целое. После – 2 куска. Сделаем пояснительный рисунок



В условии задачи не сказано в каком направлении (по ходу движения или против) полетел второй осколок. Будем считать, что он полетел в том же направлении, что и первый осколок. Просто если в ответе мы получим отрицательную скорость, то это будет означать, что мы ошиблись с направлением.

Теперь запишем закон сохранения импульса, который гласит, что **в замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.** То есть суммарный импульс до разрыва должен быть равен суммарному импульсу после разрыва

$$(m_1 + m_2) \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Так как все осколки движутся в одном направлении, то в скалярной форме закон сохранения импульса примет вид

$$(m_1 + m_2) v = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Выражаем скорость второго осколка

$$v_2 = \frac{(m_1 + m_2)v - m_1 v_1}{m_2} = \frac{(12 + 6)35 - 12 \cdot 96}{6} = -87 \text{ м/с.}$$

Мы получили отрицательную скорость. Следовательно, второй осколок полетит в противоположном направлении.

Ответ: 1.

**A8.** Рассмотрим аналогичный пример.

**ПРИМЕР.** Провести анализ отдельных газовых процессов (участки 1–2, 2–3, и т. д.). Изобразить процессы в координатах  $p(T)$  и  $V(T)$ .

Проанализируем каждый из участков данного процесса. Для этого нам понадобится объединенный газовый закон

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Участок 1–2:  $p \uparrow$ ,  $V = \text{const}$ , изохорный,  $T \uparrow$ .

**Примеры рассуждений:**

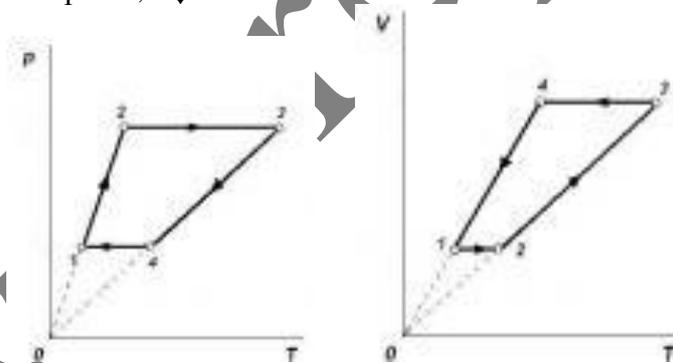
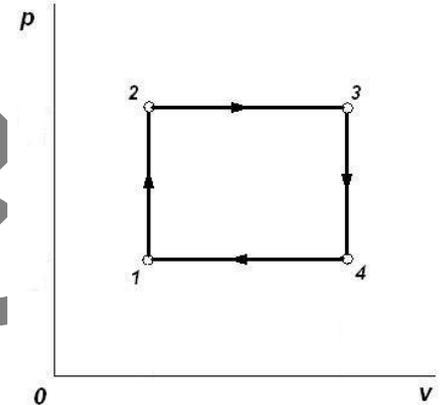
1) давление газа растёт в закрытом сосуде. Это может происходить только за счёт нагревания газа, т.е.  $T \uparrow$ .

2) Т.к.  $pV/T = \text{const}$ , и числитель растёт, то, чтобы величина дроби не менялась, знаменатель тоже должен увеличиваться, т.е.  $T \uparrow$

Участок 2–3:  $p = \text{const}$ ,  $V \uparrow$ , изобарный,  $T \uparrow$ .

Участок 3–4:  $p \downarrow$ ,  $V = \text{const}$ , изохорный,  $T \downarrow$ .

Участок 4–1:  $p = \text{const}$ ,  $V \downarrow$ , изобарный,  $T \downarrow$ .



Выполнение построения начинается с произвольного изображения точки 1, соответствующей первому состоянию газа. Далее последовательно строятся отдельные участки диаграммы, руководствуясь проведённым анализом. Здесь главное, чтобы Вы не ошиблись, и соотношение температур  $T_1 < T_2 < T_4 < T_3$ , видимое из первой построенной Вами диаграммы  $p(T)$  сохранялось и на следующей диаграмме  $V(T)$  (аналогично с объёмом газа в других заданиях). А соблюдение масштаба не так важно (важно качественное описание).

А теперь самостоятельно проанализируйте график и выберете правильный вариант ответа.

Ответ: 4.

**A9.** Не будем проводить никакого анализа, а тупо решим задачу в лоб. Для этого запишем уравнение состояния для воздуха до и после нагрева. Затем найдем массу воздуха в каждом случае

До нагрева

$$pV = \frac{m_1}{M} RT_1 \Rightarrow m_1 = \frac{pVM}{RT_1}$$

После нагрева

$$pV = \frac{m_2}{M} RT_2 \Rightarrow m_2 = \frac{pVM}{RT_2}$$

Изменение любой физической величины равно разности между конечным и начальным значением величины

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{pVM}{RT_2} - \frac{pVM}{RT_1} = \frac{pVM}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{pVM}{R} \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right)$$

Изменение массы воздуха получается равным  $-2$  кг. Следовательно, масса воздуха в комнате уменьшилась.

Ответ: 2.

www.gerep.by

**A10.** Вспомним первое начало термодинамики и применим его к изобарному процессу. Первое начало гласит, что **количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами**

$$Q = \Delta U + A.$$

В изобарном процессе ( $p = \text{const}$ ) работа, совершаемая газом, выражается соотношением

$$A = p\Delta V.$$

Так как газ одноатомный, то внутренняя энергия будет равна

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T.$$

При помощи уравнения состояния идеального газа

$$p\Delta V = \nu R \Delta T.$$

немного изменим формулу (при этом естественно не изменим смысл)

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} p\Delta V.$$

Первый закон термодинамики для изобарного процесса примет вид

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2} p\Delta V$$

Откуда находим давление

$$Q = \frac{5}{2} p\Delta V \Rightarrow p = \frac{2Q}{5\Delta V} = 500\,000 \text{ Па} = 0,5 \text{ МПа}.$$

Ответ: 3.

**A11. Коэффициент полезного действия (КПД)** – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Он определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% .$$

В нашем случае полезной будет работа, для которой создан электронагреватель – работа, по испарению воды. Затраченной будет работа, которую потребляет электронагреватель – работа электрического тока. Таким образом получим

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\% = \frac{Lm}{I^2 R \Delta t} \cdot 100\% .$$

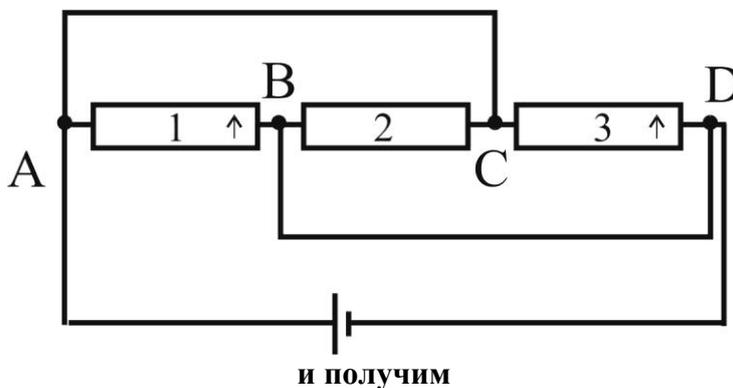
Откуда находим силу тока

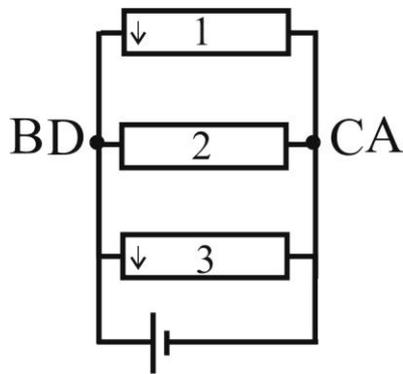
$$I = \sqrt{\frac{Lm}{\eta R \Delta t} \cdot 100\%} = 6 \text{ А}$$

**При расчетах НЕ ЗАБЫВАЕМ ПЕРЕВЕСТИ МИНУТЫ В СЕКУНДЫ!!!**

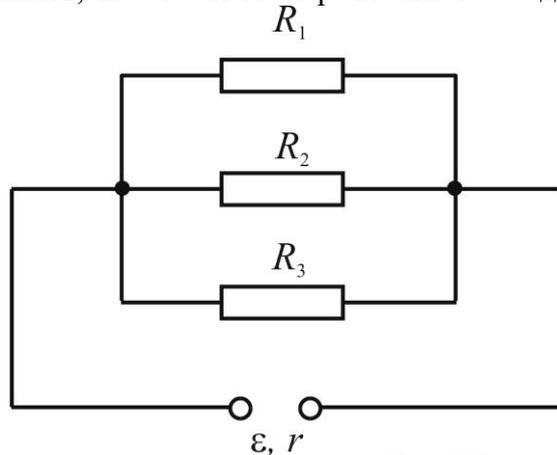
Ответ: 2.

**A12.** Перерисуем схему.





На самом деле у нас самое простое параллельное соединение проводников. Если для Вас это неочевидно – надо просто запомнить, что это схема параллельного соединения трёх проводников.



Так как сопротивления у всех резисторов одинаковы, то внешнее сопротивление цепи будет равно

$$R_0 = \frac{R_1}{3}.$$

Ответ: 2.

**A13.** Вспомним определение силы Ампера.

Для описания магнитного поля необходимо ввести **силовую** характеристику поля, аналогичную вектору **напряженности**  $\vec{E}$  электрического поля. Такой характеристикой является вектор  $\vec{B}$  магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята **1 тесла** (Тл).

Если в магнитное поле с индукцией  $B$  поместить проводник длиной  $\Delta l$  с током  $I$ , то на него будет действовать сила

$$F = IB\Delta l \sin \alpha$$

Это соотношение принято называть **законом Ампера**.

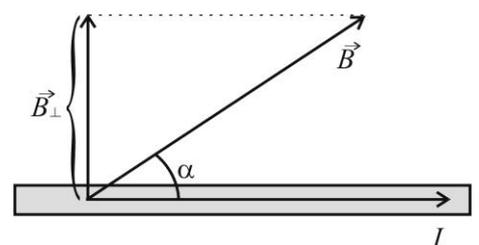
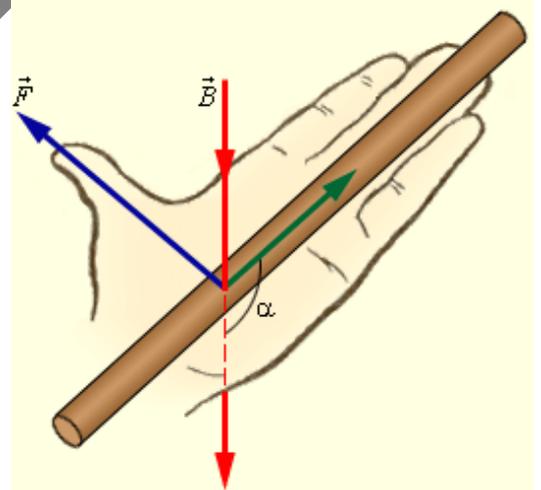
Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока, текущего по проводнику.

Для определения направления силы Ампера обычно используют **правило ЛЕВОЙ РУКИ**: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы, действующей на проводник (см. рисунок).

Если угол  $\alpha$  между направлениями вектора  $\vec{B}$  и тока в проводнике отличен от  $90^\circ$  (то есть ток и магнитное поле не перпендикулярны друг другу), то для определения направления силы Ампера надо взять составляющую магнитного поля, которая **ПЕРПЕНДИКУЛЯРНА** направлению тока (см. рисунок).

Вернемся к нашей задаче.

На рисунке ток идет на нас ( $\odot$  – ток направлен к нам (как бы летящая к нам стрела),  $\otimes$  – ток направлен от нас (как бы летящая от нас стрела)). Линии индукции магнитного поля идут от северного полюса магнита к его южному полюсу. Располагаем левую руку так, чтобы пальцы шли по току, а магнитное



поле пронизывало ладонь. Значит, по правилу левой руки, направление силы Ампера, действующей на проводник, совпадает с направлением, обозначенным цифрой 2.

Ответ: 2.

**A14.** Вспомним понятие магнитного потока и закон Фарадея. Магнитным потоком  $\Phi$  через площадь  $S$  контура называют величину

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где  $B$  – модуль **вектора магнитной индукции**,  $\alpha$  – угол между вектором  $\vec{B}$  и нормалью (перпендикуляром)  $\vec{n}$  к плоскости контура (см. рисунок).

Единица магнитного потока в системе СИ называется **вебером** (Вб). Магнитный поток, равный 1 Вб, создается магнитным полем с индукцией 1 Тл, пронизывающим по направлению нормали плоский контур площадью 1 м<sup>2</sup>:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2.$$

Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta BS}{\Delta t} \right| = S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|.$$

В нашем случае напряжение на обкладках конденсатора будет равно ЭДС, возникающей в витке при изменении магнитного потока. С другой стороны напряжение на обкладках конденсатора можно вычислить зная емкость и заряд конденсатора

$$U = \frac{q}{C}$$

Приравняем ЭДС и напряжение

$$S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = \frac{q}{C}$$

и найдем заряд на конденсаторе

$$q = CS \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Ответ: 3.

**A15.** Напряжение на резисторе, подключенном в цепь переменного тока, изменяется по закону

$$U = U_0 \sin(\omega t).$$

Сравнивая эту формулу с условием, находим, что максимальное (или амплитудное) значение напряжения есть  $U_0 = 184 \text{ В}$ . По закону Ома теперь можно найти амплитудную силу тока в резисторе:

$$I_0 = \frac{U_0}{R} = 1,84 \text{ А.}$$

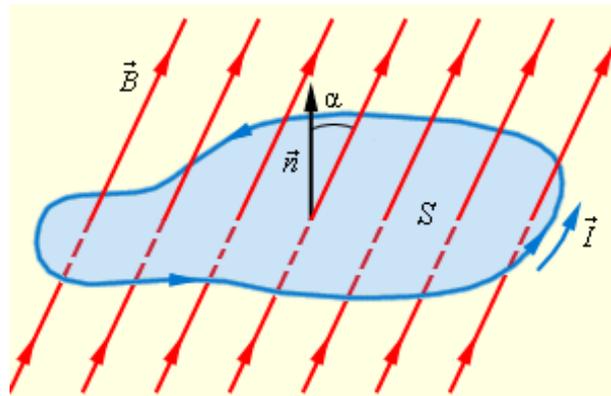
Действующие значения силы тока и напряжения связаны с амплитудными формулами

$$I_{\text{д}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{д}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

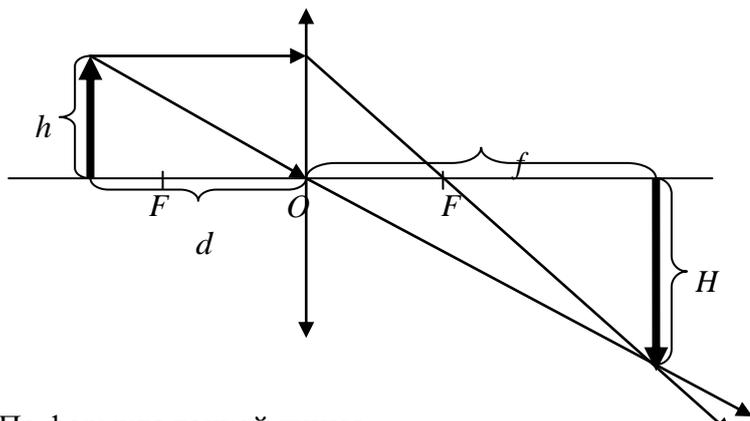
Тогда

$$I_{\text{д}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 1,30 \text{ А.}$$

Ответ: 1.



**A16.** Сделаем пояснительный рисунок. Построим изображение предмета в линзе. По условию, так как оптическая сила линзы положительна, понятно, что линза собирающая.



По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D.$$

Отсюда

$$f = \frac{d}{dD - 1}.$$

Из подобных треугольников

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d} = \frac{1}{dD - 1} = 2$$

Ответ: 1.

**A17.** Колебаниями тела называется такой процесс, при котором его состояние по определенному закону повторяется во времени. Периодическими называются колебания, при которых состояние тела повторяется через определенный промежуток времени, называемый периодом. Период – это наименьшее время, через которое повторяется состояние системы, то есть система возвращается в первоначальное положение. Проиллюстрируем, что такое период колебаний на примере движения маятника.



Пружина максимально сжата, тело начинает движение.



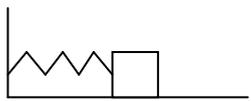
Тело проходит через положение равновесия.



Пружина максимально растянута, тело начинает движение назад.



Тело проходит через положение равновесия в обратную сторону.



Пружина максимально сжата, тело начинает новое колебание.

Период – это время, за которое тело последовательно проходит через все изображенные картинки. По условию дано время движения тела от одного до другого крайнего положения, это время равно половине периода. Тогда период колебаний равен 0,4 с, а частота колебаний

$$\nu = \frac{1}{T} = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: 3)

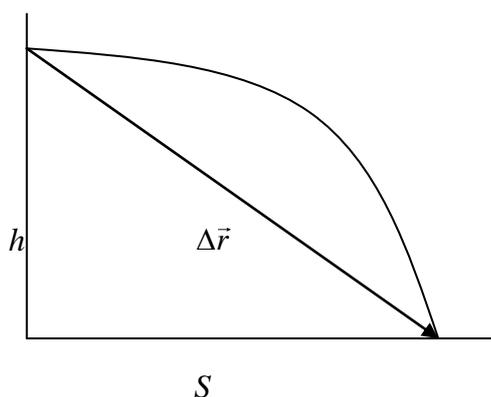
**A18.** Ядра химических элементов обозначают их химическим символом с двумя индексами  ${}^A_ZX$ . Здесь  $Z$  называется зарядовым числом, совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева и равно числу протонов в ядре. Число  $A$  называется массовым числом и равно числу нуклонов (то есть протонов и нейтронов) в ядре. Нужно помнить, что в нейтральном атоме число электронов равно числу протонов в ядре.

Тогда в нашем ядре  ${}^{222}_{86}Rn$  находится 86 протонов,  $222 - 86 = 136$  нейтронов, а вокруг ядра атома вращаются 86 электронов. Нейтроны электрически нейтральны, протоны заряжены положительно, а электроны – отрицательно. Поэтому заряженными частицами в атоме являются протоны и электроны, которых в нашем атоме  $86 + 86 = 172$ .

Ответ: 5.

**B1.** К моменту падения тело совершит перемещение по горизонтали

$$S = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$



Полное перемещение тела есть по теореме Пифагора

$$\Delta r = \sqrt{h^2 + S^2} = \sqrt{h^2 + v_0^2 \cdot \frac{2h}{g}} = 599 \text{ см.}$$

Ответ: 599.

**B2.** Поскольку брусок двигали медленно, то его кинетическая энергия не менялась и была равна нулю. Тогда сила совершила работу, которая пошла на энергию деформации пружины и на работу против силы трения. Значит,

$$A = FS = \frac{kS^2}{2} + \mu mgS = 12 \text{ Дж.}$$

Задачу можно решить и по-другому. При движении бруска сила  $F$  вначале равна силе трения (сила, необходимая для того, чтобы сдвинуть брусок с места)

$$F_1 = \mu mg.$$

А в конце движения сила  $F$  равна сумме силы трения и силы упругости

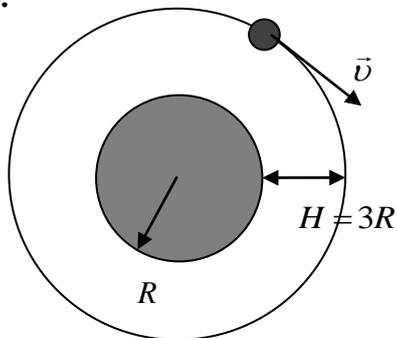
$$F_2 = \mu mg + kS.$$

Поскольку при движении бруска сила тяги меняется линейно, то ее работа есть произведение ее среднего значения на перемещение:

$$A = \langle F \rangle S = \frac{F_1 + F_2}{2} S = \frac{kS^2}{2} + \mu mgS = 12 \text{ Дж.}$$

Ответ: 12.

**В3.**



На спутник при движении действует сила всемирного тяготения

$$F = G \frac{Mm}{(R+H)^2}$$

(здесь  $M$  есть масса Земли), сообщающая ему центростремительное ускорение

$$a = \frac{v^2}{R+H}.$$

По второму закону Ньютона

$$G \frac{Mm}{(R+H)^2} = m \frac{v^2}{R+H},$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}.$$

Если бы спутник двигался на нулевой высоте над поверхностью Земли, то его скорость называлась бы первой космической и определялась бы по формуле:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}.$$

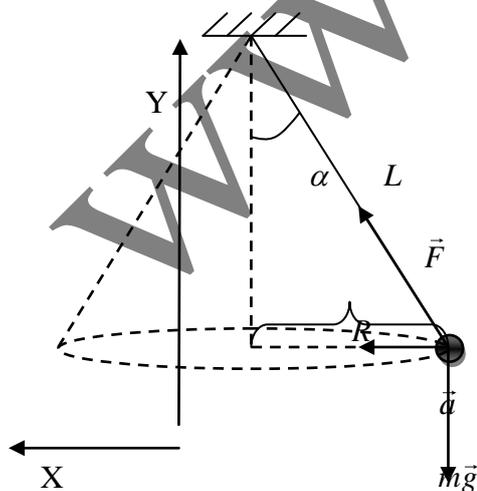
Разделив одну формулу на другую, получаем:

$$\frac{v}{v_1} = \sqrt{\frac{R}{R+H}} = \sqrt{\frac{R}{R+3R}} = \frac{1}{2}.$$

Тогда  $v = \frac{v_1}{2} = 4$  км/с.

Ответ: 4.

**В4.** Изобразим рисунок.



Запишем проекции сил на координатные оси:

$$\begin{cases} F \cos \alpha = mg, \\ F \sin \alpha = ma. \end{cases}$$

Из кинематики известно, что центростремительное ускорение при движении по окружности есть

$$a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Отсюда радиус окружности равен:

$$R = \frac{aT^2}{4\pi^2}.$$

Искомая длина нити есть

$$L = \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{RF}{ma} = \frac{T^2 F}{4\pi^2 m} \approx 73 \text{ см.}$$

Ответ: 73.

**В5.** КПД любого теплового двигателя можно найти как

$$\eta = \frac{A}{Q_1},$$

где  $A$  – работа двигателя за один цикл, а  $Q_1$  – теплота, полученная от нагревателя. Среди всех тепловых двигателей максимальный КПД имеет двигателя, работающий по циклу Карно. Его КПД не зависит от радио используемого топлива и конструктивных особенностей двигателя, а определяется только температурами нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$ :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Приравняем две формулы для КПД и получим:

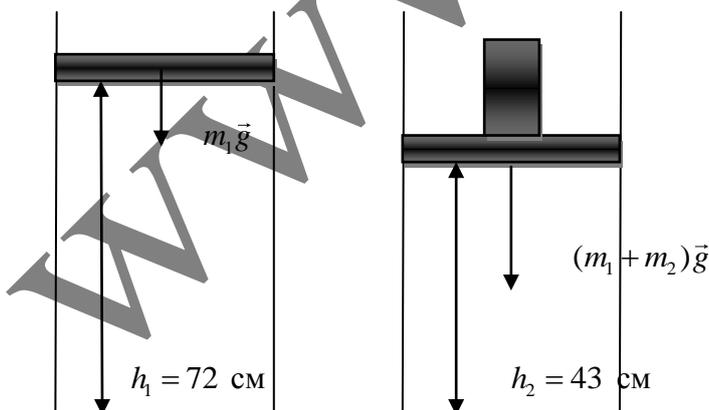
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_1},$$

$$A = Q_1 \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = 900 \text{ Дж.}$$

Ответ: 900.

**В6.** Поскольку масса газа под поршнем неизменна, то для него выполняется универсальный газовый закон (закон Клапейрона):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$



Распишем все необходимые величины:

$$p_1 = p + \frac{m_1 g}{S} = 110000 \text{ Па, } V_1 = Sh_1 = 5760 \text{ см}^3, T_1 = 280 \text{ К.}$$

$$p_2 = p + \frac{(m_1 + m_2) g}{S} = 200000 \text{ Па, } V_2 = Sh_2 = 3440 \text{ см}^3.$$

Подставляем эти данные в закон Клапейрона и получаем:

$$T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1} \approx 304 \text{ K} = 31 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Ответ: 31.

**В7.** По условию треть кинетической энергии пули пошла на плавление льда, то есть

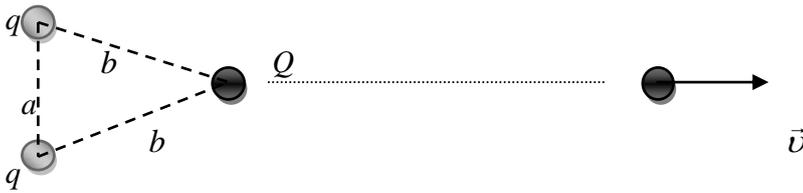
$$\frac{1}{3} \cdot \frac{m_1 v^2}{2} = \lambda m_2,$$

откуда

$$m_2 = \frac{m_1 v^2}{6\lambda} \approx 40 \text{ г.}$$

Ответ: 40.

**В8.** Задача рассчитана на применение закона сохранения энергии в электростатике.



В первоначальном состоянии система обладает только потенциальной энергией взаимодействия зарядов

$$E_1 = \frac{kq^2}{a} + \frac{kqQ}{b} + \frac{kqQ}{b}.$$

В конечном состоянии энергия системы состоит из потенциальной энергии взаимодействия закрепленных зарядов и кинетической энергии улетевшей частицы

$$E_2 = \frac{kq^2}{a} + \frac{mv^2}{2}.$$

Тогда

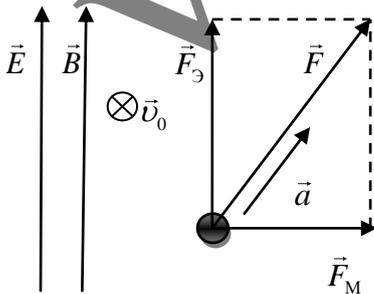
$$\frac{kq^2}{a} + \frac{kqQ}{b} + \frac{kqQ}{b} = \frac{kq^2}{a} + \frac{mv^2}{2},$$

откуда

$$Q = \frac{mv^2 b}{4kq} = 25 \text{ нКл.}$$

Ответ: 25.

**В9.** На частицу будут действовать две силы: кулоновская сила  $F_3 = qE$  со стороны электрического поля и сила Лоренца  $F_M = qv_0 B \sin \alpha$  со стороны магнитного поля. По условию начальная скорость частицы перпендикулярна индукции магнитного поля, поэтому  $\alpha = 90^\circ$  и  $F_M = qv_0 B$ . Теперь важно понять, как направлены две эти силы. Для этого сделаем пояснительный рисунок. Скорость частицы в начальный момент направлена от нас.



Поскольку заряд частицы положителен, то сила  $F_3 = qE$  направлена в сторону напряженности электрического поля. Направление силы  $F_M = qv_0 B$  найдем по правилу левой руки. Для этого мысленно

вонзим вектор  $\vec{B}$  в ладонь левой руки, четыре пальца направим по скорости частица, а отогнутый большой палец укажет направление силы Лоренца. Поскольку две действующих на частицу силы взаимно перпендикулярны, то их равнодействующая есть

$$F = \sqrt{F_{\text{Э}}^2 + F_{\text{М}}^2} = \sqrt{q^2 E^2 + q^2 v_0^2 B^2} = q \sqrt{E^2 + v_0^2 B^2}.$$

По второму закону Ньютона ускорение частицы направлено в сторону равнодействующей силы и равно

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q \sqrt{E^2 + v_0^2 B^2}}{m}.$$

Отсюда

$$B = \sqrt{\frac{m^2 a^2}{q^2} - E^2} = \frac{\sqrt{m^2 a^2 - q^2 E^2}}{q v_0} = 400 \text{ мТл.}$$

Ответ: 400.

**В10.** По условию задачи понятно, что цепь замкнута уже в течение некоторого времени. Тогда в цепи отсутствуют всякие переходные процессы, колебания силы тока и заряда, конденсатор полностью заряжен.

Во-первых, надо догадаться, что постоянный ток через конденсатор не течет. Поэтому ток протекает только через ветвь цепи с катушкой и резистором  $R_1$ . Силы тока в этой цепи найдем по закону Ома:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1} = \frac{14}{2} = 7 \text{ А.}$$

Ток, протекающий через катушку, создает в ней магнитное поле, энергия которого есть

$$W_{\text{МП}} = \frac{LI^2}{2} = 0,098 \text{ Дж.}$$

Поскольку конденсатор подключен последовательно с резистором  $R_2$ , то ток через этот резистор равен нулю. Значит, напряжение на этом резисторе тоже равно нулю. Тогда можно утверждать, что напряжение на конденсаторе равно ЭДС источника (так как ветка цепи с конденсатором и резистором подключена параллельно источнику). Значит, конденсатор заряжен до напряжения  $U = 14 \text{ В}$ .

В заряженном конденсаторе создается электрическое поле с энергией

$$W_{\text{ЭП}} = \frac{CU^2}{2} = 0,294 \text{ Дж.}$$

После размыкания ключа источник становится отключенным от цепи, а цепь трансформируется в последовательно соединенные конденсатор, два резистора и катушку. В ней возникают весьма непростые затухающие электромагнитные колебания заряда на обкладках конденсатора и силы тока в катушке. Важно понять, что энергия этих колебаний со временем уменьшается из-за выделения по закону Джоуля–Ленца теплоты в резисторах. Спустя большое время колебания прекратятся, а вся запасенная системой энергия будет выделена в виде теплоты в резисторах.

Итак, мы установили, что всего на резисторах выделится теплота

$$Q = W_{\text{МП}} + W_{\text{ЭП}} = 0,392 \text{ Дж.}$$

Теперь важно понять, что в любой момент времени при затухающих колебаниях сила тока во всех точках цепи одинакова (ведь все элементы соединены последовательно). Значит, в любой момент времени силы тока в обоих резисторах равны. Тогда теплоты, выделяющиеся в резисторах, пропорциональны их сопротивлениям

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}.$$

Но мы знаем, что

$$Q_1 + Q_2 = Q = 0,392 \text{ Дж.}$$

Объединяем два последних уравнения в систему, решаем и получаем, что  $Q_1 = 98 \text{ мДж}$ .

Ответ: 98.

**В11.** При попадании света на поверхность металла происходит явление внешнего фотоэффекта, состоящее в том, что фотон испытывает абсолютно неупругое столкновение со свободным электроном металла, передает ему свою энергию и исчезает. Энергия фотона расходуется на совершение электроном работы по преодолению сил притяжения со стороны остального металла (она называется работой выхода), а остаток передается электрону в виде кинетической энергии. В результате электрон покидает поверхность металла. По закону сохранения энергии

$$E_{\text{фотона}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}.$$

Для того, чтобы фотоэффект произошел, необходимо, чтобы энергии фотона было достаточно хотя бы для совершения работы выхода, то есть

$$E_{\text{фотона}} \geq A_{\text{вых}}.$$

Это утверждение отражает закон красной границы фотоэффекта, согласно которому для каждого металла существует максимальная длина волны света (длина волны красной границы), вызывающего фотоэффект. При больших значениях длины волны света фотоэффект не происходит. Длину волны красной границы находят из соотношения

$$E_{\text{фотона}} = \frac{hc}{\lambda_k} = A_{\text{вых}}.$$

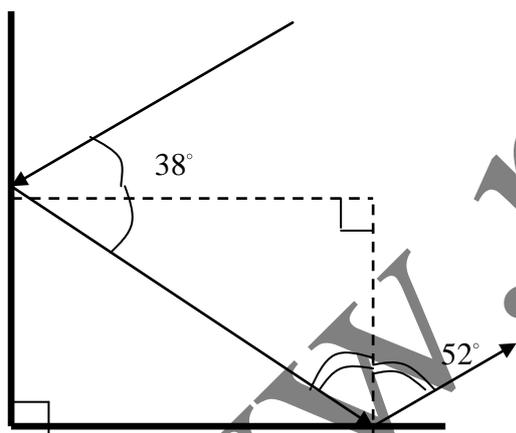
Тогда

$$\lambda_k = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} \approx 270 \text{ нм.}$$

Не забудьте при расчетах перевести электрон-вольты в джоули!

Ответ: 270.

**В12.** Изобразим рисунок.



Вспомним, что по закону отражения света угол падения равен углу отражения, причем все углы в оптике отсчитываются от перпендикуляра до луча! На рисунке изображен угол падения луча на первое зеркало. Рисунок должно быть достаточно, чтобы найти угол отражения от второго зеркала.

Ответ: 52.