Заключительный этап Олимпиады «Я – бакалавр»
для обучающихся 5-11 классов 2022/2023 уч. год

76

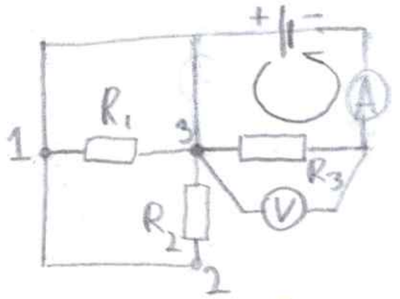
Физика — предмет

ШИФР 61-Ф-11-02

№3

Дано:
$R_1 = R_2 = R_3 = R$
$r_A = 0$
$r = 0$

R – ?



Решение

Потенциалы точек 1, 2 и 3 одинаковы, а сопротивление амперметра равно нулю, поэтому ток через сопротивления R_1 и R_2 течь не будет. Ток будет протекать в замкнутой цепи, состоящей из идеальных источника тока, амперметра и вольтметра и R_3.

20б

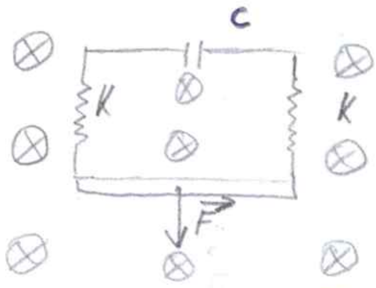
Вольтметр, подключенный параллельно сопротивлению R_3 покажет ε источника тока, т.к $r = 0$.
По закону Ома для участка цепи: $R = \frac{\varepsilon}{I}$

№4.

Дано:
$C = 2 \cdot 10^{-4}$ Ф
$K_1 = K_2 = K = 10^3 \frac{Н}{м}$
$B = 100$ Тл
$m = 2 \cdot 10^{-2}$ кг
$l = 0{,}2$ м

T – ?

Решение



Решение

1. медный стержень и две параллельные пружины – это пружинный маятник. При параллельном соединении двух одинаковых пружин $K = 2K$, т.к. $2Kx = K_{ж}x$

2. Стержень на пружинах в отсутствии внешнего магнитного поля будет совершать малые колебания относительно положения равновесия, ~~по второму закону Ньютона уравнение движения~~ когда ~~согласно~~ пружины растянуты под действием силы тяжести. Пусть x – это малое смещение относительно положения равновесия, тогда согласно второму закону Ньютона уравнение движения стержня имеет вид:
$ma = -2Kx$, a - ускорение стержня, а период колебаний $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2K}}$

3. В магнитном поле на маятник кроме силы упругости будет действовать ещё и сила Ампера, направленная к положению равновесия, т.к. в цепи будет течь переменный ток. Этот ток будет вызван тем, что в медном проводнике при его колебаниях в магнитном поле будет индуцироваться под действием силы Лоренца электродвижущая сила $\mathcal{E}$, что приведёт к зарядке конденсатора ёмкостью C до величины q.

$\mathcal{E} = e\vartheta Bl$, e-заряд электрона, ϑ-скорость стержня, $|e| = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$q = C\mathcal{E}$

Сила переменного тока $\mathcal{I}$ будет равна

$\mathcal{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = eCBl\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}$

$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = a$ - ускорение стержня

Сила Ампера: $F_A = IBl = eCB^2l^2a$

4. Запишем уравнение колебаний маятника с учетом силы Ампера:

$ma = -2kx - eCB^2l^2a$

$ma + eCB^2l^2a = -2kx$

$a(m + eCB^2l^2) = -2kx$

Если обозначить $m_{эф} = m + eCB^2l^2$, то получим:

$m_{эф}a = -2kx$, т.е. уравнение малых колебаний пружинного маятника с массой $m_{эф}$

Поэтому период гармонических колебаний пружинного маятника имеет вид:

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_{эф}}{2k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m + eCB^2l^2}{2k}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{2\cdot10^{-2} + 1{,}6\cdot10^{-19}\cdot2\cdot10^{4}\cdot10^{4}\cdot4\cdot10^{-2}}{2\cdot10^{3}}} \approx 20$ мс

Ответ: период колебаний $T = 20$ мс.

20

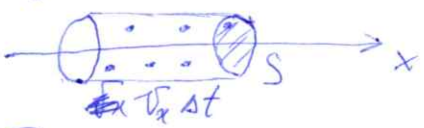
№2.

Дано:
Ar
$P_1 = P_2 = 10^5$ Па
$T_1 = 300$ К
$T_2 = 4T_1 = 1200$ К

T_3-? P_3-?

Решение

1. Найдем выражение для определения числа частиц аргона, проходящих через площадь S за время Δt вдоль оси x.



Площадку S пересекут все частицы, которые будут в объёме $V = \frac{1}{2}S\vartheta_x\Delta t$.

Если концентрация частиц n, то число частиц $N = \frac{1}{2}n\vartheta_x S\Delta t$

2. Когда равновесие установится в третьем сосуде, то число частиц, уходящих из третьего сосуда будет равно числу частиц, приходящих в него из первого и второго сосуда соответственно.

$N_1 + N_2 = N_3$

$N_1 = \frac{1}{2}n_1\vartheta_{x_1}S\Delta t$; $N_2 = \frac{1}{2}n_2\vartheta_{x_2}S\Delta t$.

Физика
предмет

ШИФР 61-Ф-11-02

$N_3 = n_3 v_{x_3} S \Delta t$.

$\frac{1}{2} n_1 v_{x_1} + \frac{1}{2} n_2 v_{x_2} = \frac{1}{2} n_3 v_{x_3}$?

Средняя квадратичная скорость $v_x = \sqrt{\frac{3KT}{m}}$.

$v_{x_1}, v_{x_2}, v_{x_3}$ – это скорости переноса, которые будут меняться пропорционально средней квадратичной скорости. С учётом этого, а также, используя формулу $P = nKT$, где K – постоянная Больцмана, m – масса частицы, получим:

$n_1 v_{x_1} + n_2 v_{x_2} = 2 n_3 v_{x_3}$

$n_1 = \frac{P}{KT_1}$; $n_2 = \frac{P}{KT_2}$; $n_3 = \frac{P_3}{KT_3}$

$v_{x_1} = \alpha \sqrt{\frac{3KT_1}{m}}$; $v_{x_2} = \alpha \sqrt{\frac{3KT_2}{m}}$; $v_{x_3} = \alpha \sqrt{\frac{3KT_3}{m}}$

α – коэффициент пропорциональности между скоростью переноса и средней квадратичной скоростью.

$$\frac{P}{KT_1} \alpha \sqrt{\frac{3KT_1}{m}} + \frac{P}{KT_2} \alpha \sqrt{\frac{3KT_2}{m}} = 2 \frac{P_3}{KT_3} \alpha \sqrt{\frac{3KT_3}{m}}$$

$$\frac{P}{\sqrt{T_1}} + \frac{P}{\sqrt{T_2}} = 2 \frac{P_3}{\sqrt{T_3}} ; \quad \frac{P}{\sqrt{T_1}} + \frac{P}{2\sqrt{T_1}} = 2 \frac{P_3}{\sqrt{T_3}}$$

$$\frac{3P}{2\sqrt{T_1}} = 2 \frac{P_3}{\sqrt{T_3}}$$

Т.к. у нас два неизвестных P_3 и T_3 запишем ещё закон сохранения энергии в третьем сосуде: энергия, которую частицы принесли в третий сосуд, равна энергии, которую частицы уносят из сосуда, т.е.

$N_1 \varepsilon_1 + N_2 \varepsilon_2 = N_3 \varepsilon_3$, здесь $\varepsilon_1 = \frac{3}{2} KT_1$, $\varepsilon_3 = \frac{3}{2} KT_3$, $\varepsilon_2 = \frac{3}{2} KT_2$ – средняя кинет. энергия частицы в сосудах.

$n_1 v_{x_1} T_1 + n_2 v_{x_2} T_2 = 2 n_3 v_{x_3} \cdot T_3$

$$\frac{P}{KT_1} \sqrt{\frac{3KT_1}{m}} \cdot T_1 + \frac{P}{KT_2} \sqrt{\frac{3KT_2}{m}} \cdot T_2 = \frac{2P_3}{KT_3} \sqrt{\frac{3KT_3}{m}} \cdot T_3$$

$P\sqrt{T_1} + 2P\sqrt{T_1} = 2P_3\sqrt{T_3}$

$$\begin{cases} 3P\sqrt{T_1} = 2P_3\sqrt{T_3} \\ \frac{3P}{2\sqrt{T_1}} = \frac{2P_3}{\sqrt{T_3}} \end{cases}$$

разделим почленно до и после знака равенства и получим: $T_3 = 2T_1$

$T_3 = 600\,K$; $P_3 = \frac{3P}{2\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot 10^5}{2\sqrt{2}} = 1{,}06 \cdot 10^5$ ПА

Ответ: температура $T_3 = 600\,K$;
давление $P_3 = 1{,}06 \cdot 10^5$ ПА

18

№1.

Дано:
$v^* = 5\cdot10^3$ м/с
$g_м = 3{,}8$ м/с^2
$\frac{R_м}{R_з} = 0{,}53$

Δv - ?
$\frac{\Delta m}{m}$ - ?

Решение

1) Для максимального сближения с Марсом зонд должен сбросить свою скорость за счёт торможения до первой космической скорости.

$\frac{m v_1^2}{R_м} = g_м\cdot m$; $v_1 = \sqrt{R_м g_м}$

$R_з = 6400$ км; $R_м = R_з\cdot0{,}53$

$v_1 = \sqrt{0{,}53\cdot6400\cdot3{,}8\cdot10^3} = 3{,}590\cdot10^3$ м/с

2. Теперь найдём скорость, с которой зонд подлетал к Марсу до торможения.
В момент сближения $E = E_к + E_п$, $E_к = \frac{m v_0^2}{2}$ - кинет. энергия.

$E_п = -G\frac{mM_м}{R_м} = 0$; $v_0 = \sqrt{\frac{2GM_м}{R_м}}$

$\cancel{m} g_м = G\cdot\frac{M_м \cancel{m}}{R_м^2} \Rightarrow GM_м = g_м\cdot R_м^2$

$v_0 = \sqrt{2R_м g_м} = 1{,}42\sqrt{R_м g_м}$

(148)

3. $\Delta v = v_0 - v_1 = 1{,}42\sqrt{R_м g_м} - \sqrt{R_м g_м} = 0{,}42\sqrt{R_м g_м} = 0{,}42\cdot v_1 = 1{,}51\cdot10^3$ м/с

√ По закону сохранения импульса можно записать:

$m v_0 (m-\Delta m) v_1 + \Delta m(v^* + v_0)$

$(m-\Delta m)(v_0 - v_1) = \Delta m v^*$

$\Delta m = \frac{\Delta v}{v^* + \Delta v} m = 0{,}23 m$

Ответ: $1{,}51\cdot10^3$?; $m = 0{,}23m$?

№5.

Дано:
$R = 0{,}025$ м

OA - ?

Решение

1. Так как солнце находится бесконечно далеко, то лучи, падающие на линзу, параллельны и $\sin\alpha \approx \alpha$. Точка A — это фокус линзы.
На границе по закону Снеллиуса $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n$, n - показатель преломления стекла шара.

2. Из $\Delta O2A$ по т. синусов:

$\frac{OA}{\sin\varphi} = \frac{R}{\sin\delta}$ $\quad OA = \frac{R\sin\varphi}{\sin\delta}$

(28)

$\sin\varphi = \sin(\pi-\alpha) = \sin\alpha$

~~$\sin\delta = \sin(\alpha-\beta)$~~