

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

Шифр

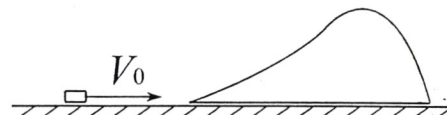
1-015

(заполняется секретарём)

Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарик, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять $g=10 \text{ м/с}^2$.

2. Небольшая монета массой m скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью v_0 к неподвижной незакрепленной горке массой $4m$ (см. рис.). Монета въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

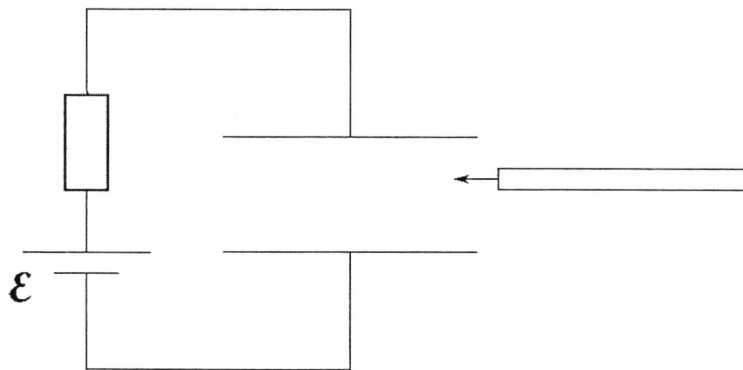


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

3. Теплоизолированный сосуд объемом $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре $127 \text{ }^\circ\text{C}$ в количестве $\nu_1 = 0,1$ моль. Во второй части находится гелий при температуре $7 \text{ }^\circ\text{C}$ в количестве $\nu_2 = 0,4$ моль. Перегородка прорывается.

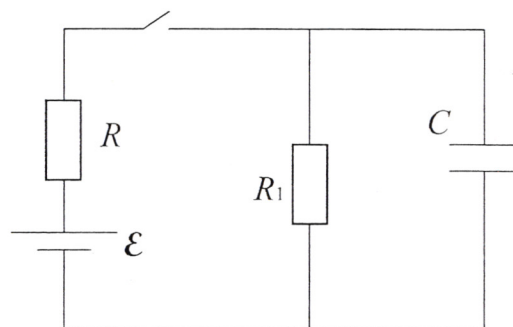
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 подсоединен через резистор к источнику с ЭДС ε (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина пластины в 3 раза меньше расстояния между обкладками.



- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в R , $R_1=4R$. Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать C , ε , R .



- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. Дано:

m - масса монеты

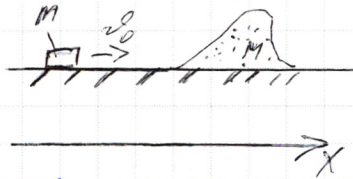
$M = 4m$ - масса горки

v_0 - скорость монеты

1) h_{\max} - ?

2) $v_{\text{свезда}}$ - ?

Решение:



1) а) Горка не закреплена, поэтому она приобретёт скорость. Максимальная высота будет достигнута когда скорость монеты и горки сравняется (монета остановится и дальше будет съезжать, v)

Запишем ЗСЭ и ЗСИ для этого состояния и вычислим высоту:

$$\begin{cases} \text{ЗСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh + \frac{4mv^2}{2} \\ \text{ЗСИ: } mv_0 = mv + 4mv \end{cases} \xrightarrow{m \neq 0} \begin{cases} h = \frac{(v_0^2 - 5v^2)}{2g} \\ v = \frac{v_0}{5} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h = \frac{2v_0^2}{5g} \\ v = \frac{v_0}{5} \end{cases}$$

2) а) Запишем ЗСЭ и ЗСИ для системы после съезда монеты с горки и вычислим $v_{\text{свезда}}$ монеты (учитывая, что скорость монеты после съезда противоположна оси - отрицательна):

$$\begin{cases} \text{ЗСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m(v_{\text{свезда}})^2}{2} + \frac{4m(v_{\text{горки}})^2}{2} \\ \text{ЗСИ: } mv_0 = 4m v_{\text{горки}} - m v_{\text{свезда}} \end{cases} \xrightarrow{m \neq 0} \begin{cases} v_0^2 - v_c^2 = 4v_g^2 \\ v_0 + v_c = 4v_g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 - v_c = v_g \\ v_0 + v_c = 4v_g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_c = \frac{3v_0}{5} \\ v_g = \frac{2v_0}{5} \end{cases}$$

Ответ: 1) $h_{\max} = \frac{2v_0^2}{5g}$; 2) $v_{\text{свезда}} = \frac{3v_0}{5}$

3. Дано:

$$V = 8,31 \cdot 10^3 \text{ м}^3$$

$$T_1 = 129^\circ\text{C}, \rho_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$T_2 = 9^\circ\text{C}, \rho_2 = 0,4 \text{ моль}$$

Решение:

1) а) После прорыва перегородки, газы начнут занимать весь объём. Допустим, газы равномерно заняли весь объём и

- 1) t_k - ?
 2) p_k - ?

$\nu = 0,4 \text{ моль}$	$\nu = 0,1 \text{ моль}$
$t = 27^\circ\text{C} \Leftrightarrow 280\text{K}$	$t = 127^\circ\text{C} \Leftrightarrow 400\text{K}$
He	He

после этого начался теплообмен.
 (процесс сходен с исходным.)
 б) Тогда теплообмен можно считать

изохорным, температуру можно вычислить из уравнения теплового баланса (T_k - температура равновесия)
 $\nu_1 c_{\nu} T_1 + \nu_2 c_{\nu} T_2 = \nu_1 c_{\nu} T_k + \nu_2 c_{\nu} T_k \Leftrightarrow$ (газ одноатомный)
 $\Leftrightarrow T_k = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,1 \text{ моль} \cdot 400\text{K} + 0,4 \text{ моль} \cdot 280\text{K}}{0,1 + 0,4 \text{ моль}} = 304\text{K}$

в) Температура в Цельсиях:
 $t_k = T_k - 273 = 304 - 273 = 31^\circ\text{C}$

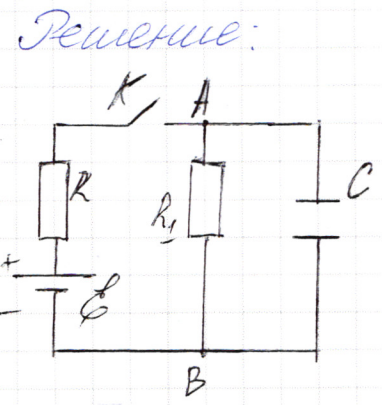
2) а) Запишем уравнение Клапейрона - Менделеева для конечного состояния газа и выразим p_k :

$$p_k V = (\nu_1 + \nu_2) R T_k \Leftrightarrow p_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_k}{V}$$

$$p_k = \frac{(0,1 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль}) \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{K} \cdot \text{моль}} \cdot 304\text{K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ответ: 1) $t_k = 31^\circ\text{C}$; 2) $p_k = 152 \cdot 10^5 \text{ Па}$

5. Дано:
 $R_1 = 4R$
 C, \mathcal{E}, R - известны
 1) I - ? (t_0)
 2) U - ? ($t = \infty$)
 3) Q - ? (к-рабочее кол-во)



1) а) После замыкания ток пойдёт по контуру через ^{конденсатор} резистор, т.к. его сопротивление равно нулю, через R_1 ток не пойдёт.
 б) Тогда ток в цепи по

закону Ома равен:
 $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

2) а) в установившемся режиме ток через конденсатор не идёт, сила тока в цепи, по закону Ома:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$I_{\infty} = \frac{\mathcal{E}}{R + R_1} = \frac{\mathcal{E}}{5R}$$

б) Напряжение на конденсаторе равно разности потенциалов между А-В, рассмотрим участок А-В содержащий только R_1 :

$$\varphi_A - \varphi_B = I_{\infty} R_1 = \frac{\mathcal{E}}{5R} \cdot 4R = \frac{4\mathcal{E}}{5} \quad (U = \varphi_A - \varphi_B)$$

в) Количество теплоты выделившейся в цепи после размыкания ключа равно энергии запасённой в конденсаторе (выделится на R_1)

$$Q = \frac{CU^2}{2} = \frac{C \left(\frac{4\mathcal{E}}{5}\right)^2}{2} = \frac{8C\mathcal{E}^2}{25}$$

Ответ: 1) $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$; 2) $U = \frac{4\mathcal{E}}{5}$; 3) $Q = \frac{8C\mathcal{E}^2}{25}$

4. Дано:

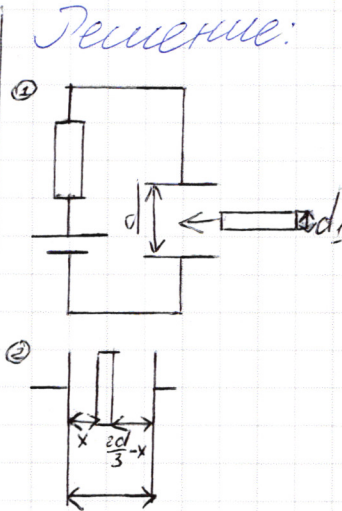
C_0, \mathcal{E} - известны

$$d_1 = d/3$$

1) C ? (с пластиной)

2) q ? (после введения)

Решение:



а) Проводящая пластинка делит конденсатор на два последовательно соединённых проводящих пластиной. Общее сопротивление конденсаторов, выразим (см. рис.)

$$\frac{1}{C} = \frac{x}{\epsilon_0 S} + \frac{\frac{2d}{3} - x}{\epsilon_0 S} \Leftrightarrow C = \frac{3}{2} \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0$$

(т.к. $C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ - ёмкость возд. конденсатора)

б) а) Если вставить пластину достаточно быстро, заряд не успеет измениться. Тогда напряжение на конденсаторе изме-

китая и станет равным (знач, это в установившемся режиме конденсатора равно \mathcal{E} по схеме)

$$\begin{cases} q = C_0 \mathcal{E} \\ q = C U \end{cases} \Leftrightarrow U = \frac{C_0 \mathcal{E}}{C} = \frac{2}{3} \mathcal{E}$$

б) Далее конденсатор зарядится до напряжения \mathcal{E} , источник совершит работу, а энергия конденсатора увеличится:

$$q \mathcal{E} = \frac{C \mathcal{E}^2}{2} - \frac{C \left(\frac{2}{3} \mathcal{E}\right)^2}{2} \Leftrightarrow q = \frac{5 C \mathcal{E}}{18}$$

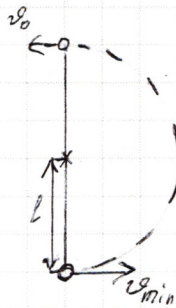
Ответ: 1) $C = \frac{3}{2} C_0$; 2) $q = \frac{5 C \mathcal{E}}{18}$

1. Дано:

$$l = 18 \text{ см} = 0,18 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{\min} = ?$$



Решение:

1) Для полного оборота необходимо, чтобы тело при подъеме на максимальную высоту имело не нулевую скорость, а v_{\min} при $v_0 \rightarrow 0$.

Тогда по ЗСЭ:

$$\frac{m(v_{\min})^2}{2} = mgh \Leftrightarrow (v_{\min}) = 2\sqrt{gl} \quad (h = 2l - \text{макс. точка подъёма})$$

$$v_{\min} = 2 \cdot \sqrt{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,18 \text{ м}} \approx 2,7 \text{ м/с}$$

Ответ: $v_{\min} \approx 2,7 \text{ м/с}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

I.

$a = \frac{v^2}{R}$ $g = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \cdot 0,18} = 1,8$
 $a = \frac{v^2}{R} + g \Rightarrow v =$

$mgh = \frac{mv^2}{2}$ $2gh = v^2$ $v = \sqrt{2gh}$
 $g = \frac{v^2}{R}$

II.

$v_m < v_2$ м. с. к.
 $v_m = v_2$

$m v_0^2 = m v^2 + 4m v^2 = 5m v^2 \Rightarrow v = \frac{v_0}{\sqrt{5}}$
 $mgh = \frac{4m v^2}{2} \Rightarrow h = \frac{3v^2}{2g}$

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + mgh + \frac{4m v^2}{2}$
 $m v_0^2 = m v^2 + 4m v^2$
 $5 \frac{v_0^2}{10} = \frac{5(v^2)}{10} + 2gh$
 $\frac{2v_0^2}{5} = 2gh \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{5g}$

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{4m v_2^2}{2}$
 $m v_0 = 4m v_2 - m v_1$
 $(v_0 - v_1)(v_0 + v_1) = 4v_2^2$
 $v_0 + v_1 = 4v_2$
 $v_0 - v_1 = v_2$
 $v_0 = v_1 + v_2$
 $v_1 + v_2 = v_2 - v_1$ $v_1 = 0$
 $2v_0 = 5v_2$ $v_2 = \frac{2v_0}{5}$
 $v_1 = \frac{3v_0}{5}$

3.

0,1 моль	0,4 моль
400K	280K
He	He

1) $\frac{+273}{400}$

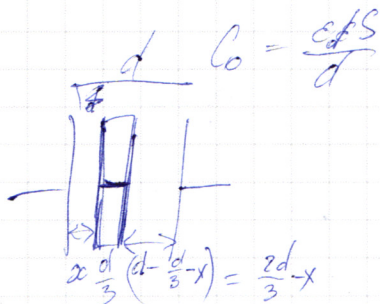
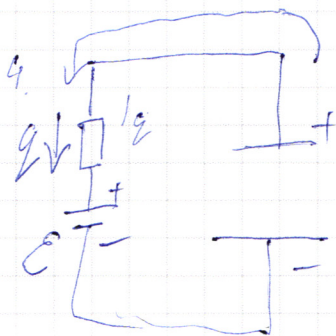
$$n_1 C_V T_1 + n_2 C_V T_2 = n_1 C_V T + n_2 C_V T$$

$$T = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_2}{n_1 + n_2} = \frac{0,1 \cdot 400K + 0,4 \cdot 280K}{0,5 \text{ моль}} = \frac{1520}{5} = 304K$$

$$t = 304 - 273 = 31^\circ C$$

2. $pV = (n_1 + n_2) RT$

$$p = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 304K}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па}$$



$$\frac{1}{C} = \frac{x}{\epsilon_0 S} + \frac{2d-x}{\epsilon_0 S} = \frac{2d}{3\epsilon_0 S} = \frac{2}{3\epsilon_0}$$

$$C = \frac{3\epsilon_0}{2}$$

$$E_{k,1} = \frac{C_0 U_0^2}{2} \quad E_{k,2} = \frac{3\epsilon_0 U_0^2}{4}$$

$$\Delta E_k = \frac{3\epsilon_0 U_0^2}{4} - \frac{C_0 U_0^2}{4} = \frac{C U_0^2}{2}$$

$$A = -qE$$

Заряд на пластинках сохранился.

$$E_{k,1} = \frac{q_0^2}{2\epsilon_0} - E_{k,2} = \frac{q_0^2}{3\epsilon_0} \quad \Delta E_k = \frac{q_0^2}{6\epsilon_0}$$

$$\frac{q_0^2}{6\epsilon_0} =$$

$$E_k = \frac{q_0^2}{6\epsilon_0} \quad E_k = \frac{C_0 U_0^2}{2}$$

$$q = C U = C_0 E$$

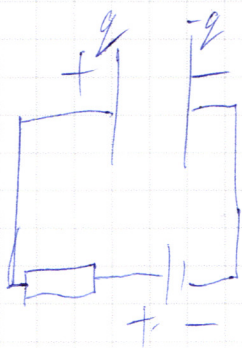
$$U = \frac{2\phi}{3\epsilon_0}$$

$$\frac{5}{9} \frac{C E^2}{2}$$

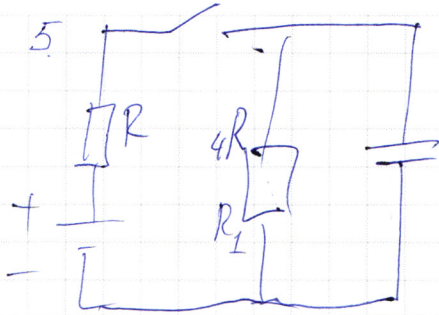
$$Q = q U$$

$$q E = q U_{\text{соз}} + \frac{C E^2}{2} - \frac{C_0 E^2}{2}$$

$$q = \frac{5 C E}{18}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



После замыкания ток пойдёт через конденсатор $R_{конд} = 0$

$$1) \quad \underline{\underline{I = \frac{E}{R}}}$$

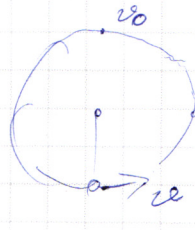
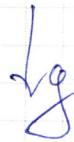
В установившемся режиме I через конденсатор не идёт

$$2) \quad U = E - IR = E - \frac{E}{5} = \frac{4E}{5}$$

$$I = \frac{E}{R+4R} = \frac{E}{5R}$$

При разрядке выделится $E = \frac{CU^2}{2}$

$$3) \quad \underline{\underline{= \frac{C \cdot (\frac{4E}{5})^2}{2} = \frac{8CE}{100}}}$$



$$a_{ц.с} = \text{const} = \frac{\omega^2}{R}$$

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

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,36}$$

$$\begin{array}{r} \times 13 \\ 13 \\ \hline 169 \end{array}$$

$$\sqrt{4,2}$$

$$\sqrt{3,6}$$

$$\times 27$$

$$\frac{27}{189}$$

$$7,29$$

$$\times 0,9$$

$$\frac{0,9}{1,9}$$

$$\frac{3,61}{1}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

7-015

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)