

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

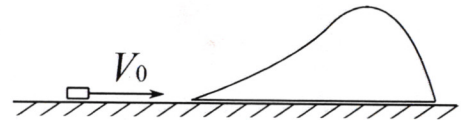
Шифр 23-002

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

2. Небольшая шайба массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $3m$  (см. рис.). Шайба въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

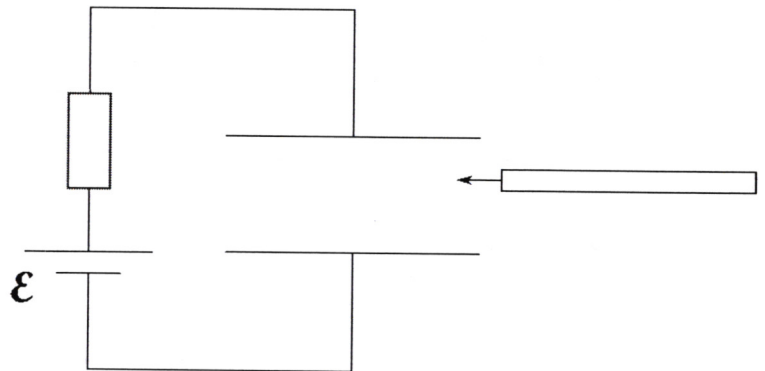


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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  $27^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,2$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,3$  моль. Перегородка прорывается.

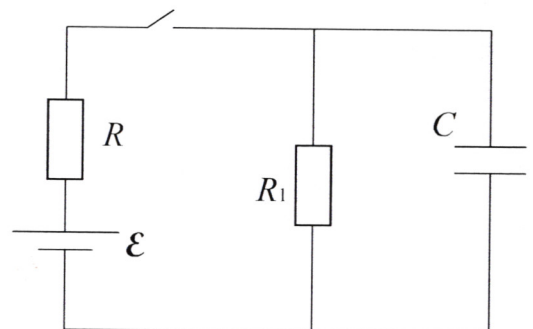
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$  (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 4 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  $R$ ,  $R_1=3R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$ .



- 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

### Задание №3.

Дано:

$$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t_1 = 27^\circ \text{C} = 300 \text{ K}$$

$$\nu_1 = 0,2 \text{ моль}$$

$$t_2 = 7^\circ \text{C} = 280 \text{ K}$$

$$\nu_2 = 0,3 \text{ моль}$$

Найти:

1)  $t$

2)  $P$

Решение:

1)

$V_1$	$V_2$
$T_1 = 300 \text{ K}$	$T_2 = 280 \text{ K}$
$\nu_1 = 0,2 \text{ моль}$	$\nu_2 = 0,3 \text{ моль}$
He	He

2)

$V$
$T$
$\nu = \nu_1 + \nu_2 = 0,5 \text{ моль}$
He

Основное уравнение термодинамики:

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

Рассмотрим его для (1) части и для  $V_1$ :

$$Q_1 = A_1 + \Delta U_1; \quad \Delta V = 0 \Rightarrow Q_1 = \Delta U_1,$$

$$Q_1 = \Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R (T - T_1)$$

Рассмотрим его для (2) части и для  $V_2$ :

$$Q_2 = A_2 + \Delta U_2; \quad \Delta V = 0 \Rightarrow Q_2 = \Delta U_2$$

$$Q_2 = \Delta U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R (T_2 - T)$$

Т.к.  $T_1 > T_2$ , то для баланса

$Q_1$  - отданное тепло

$Q_2$  - полученное тепло

По закону сохранения видно, что

$$Q_1 = Q_2$$

$$\nu_1 R (T - T_1) = \nu_2 R (T_2 - T)$$

$$\nu_1 R T - \nu_1 R T_1 = \nu_2 R T_2 - \nu_2 R T$$

$$T (\nu_1 R + \nu_2 R) = \nu_2 R T_2 + \nu_1 R T_1,$$

$$T = \frac{R (\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1)}{R (\nu_1 + \nu_2)} = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 300 \text{ К} + 0,3 \text{ моль} \cdot 280 \text{ К}}{0,2 \text{ моль} + 0,3 \text{ моль}} = 288 \text{ К}$$

$$t = T - 273 = \underline{15^\circ \text{C}}$$

2) Ровну. по закону Дальтона:

$$P_0 V = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$P_0 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R \cdot (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{(\nu_1 + \nu_2) \cdot V} =$$

$$= \frac{R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V} = \frac{8,31 \cdot (0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280)}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 144 \cdot 10^3 \text{ Па} =$$

$$= 144 \text{ кПа}$$

Ответ: 1)  $t = 15^\circ \text{C}$

2)  $P = 144 \text{ кПа}$

№4.

Дано:

$C_0$ ,

$\epsilon$ ,

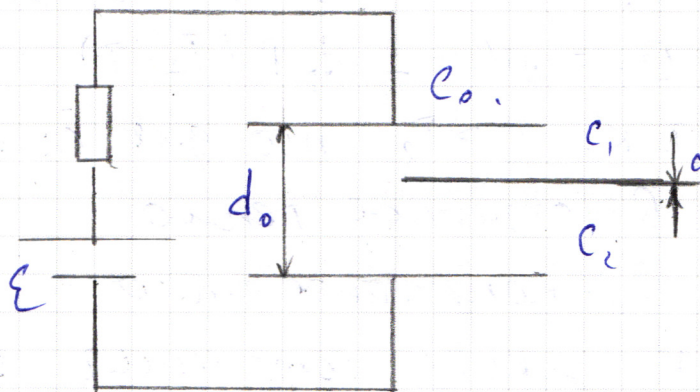
$$d = \frac{1}{4} d_0$$

Найти:

1)  $C$ ,

2)  $q_k$

Решение:



Конденсатор заряжен, тока больше нет, значит  $U$  на конденсаторе равно  $\epsilon$ .

$q_0 = C_0 \cdot \epsilon$  - заряд на конденсаторе.

После введения пластины, у нас получается 2 конденсатора, соединенных

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

последовательно, значит  $C_0 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ , где  
 $C_1$  - емкость части конденсатора выше пластины,  
 $C_2$  - емкость части конденсатора выше пластины.

$$C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_0}, \text{ где } d_0 - \text{расстояние между пластинами.}$$

Пусть  $d_1$  - расстояние между пластинами в  $C_1$ ,  
 $d_2$  - расстояние между пластинами в  $C_2$

Тогда по общей формуле имеем:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} \cdot \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2}}{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2}} =$$

$$= \frac{(\epsilon \epsilon_0 S)^2}{\epsilon \epsilon_0 S \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + d_2 \left( \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + d_2}$$

$$d_1 + d_2 = d_0 - \frac{1}{4} d_0 = \frac{3}{4} d_0, \text{ значит}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{3}{4} d_0} = \frac{4}{3} \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_0} = \frac{4}{3} C_0.$$

$$\text{При новой емкости: } q = C E = \frac{4}{3} C_0 E$$

$$q_k = q - q_0 = \frac{4}{3} C_0 E - \epsilon_0 E = \frac{1}{3} C_0 E.$$

$$\text{Ответ: 1) } C = \frac{4}{3} C_0$$

$$2) q_k = \frac{1}{3} C_0 E.$$

# Задача №5.

Дано:

$$z = 0$$

$R_1$

$$R_1 = 3R$$

$\mathcal{E}$

$C$

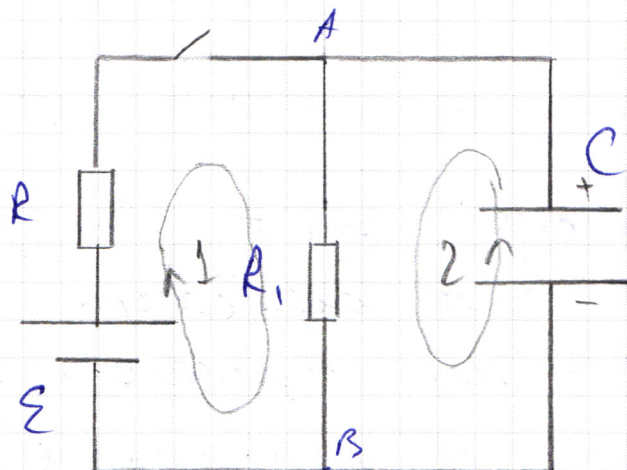
Найти:

$J$

$U_C$

$Q$

Решение:



В начальный момент при замыкании ключа конденсатор разряжен, ток через него не идет

По закону Ома для полной цепи:

$$J = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{общ}}} \Rightarrow \frac{\mathcal{E}}{R + R_1} = \frac{\mathcal{E}}{4R}$$

$R_{\text{общ}} = R + R_1$ , т.к. они последовательно соединены.

Напряжение на конденсаторе такое же, как и на  $R_1$ , то есть на  $AB$ , т.к. они параллельны.

~~$$U_{R_1} = J_1 R_1 = J \cdot 3R = 3JR$$~~

~~$$U_C = U_{R_1} = 3JR$$~~

~~$$W_{\text{конд.}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{C \cdot 9J^2 R^2}{2} = \frac{9}{2} CJ^2 R^2$$~~

$$\mathcal{E} = JR + JR_1 = JR + U_{R_1} \Rightarrow U_{R_1} = \mathcal{E} - JR$$

$$U_{R_1} = \mathcal{E} - \frac{\mathcal{E}R}{4R} = \frac{3}{4}\mathcal{E}$$

$$U_C = U_{R_1} = \frac{3}{4}\mathcal{E}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{C \cdot 9E}{2 \cdot 16} = \frac{9}{32} CE; \quad q = \frac{3}{4} CE.$$

После размыкания ключа ток пойдёт по 2 кругу, значит  $Q$  выделится на  $R$ .

Допустим, что вся энергия конденсатора перешла в  $Q$ , тогда

$$Q = W_c = \frac{9}{32} CE.$$

Ответ:

1)  $\eta = \frac{E}{4R}$

2)  $U_c = \frac{3}{4} E$

3)  $Q = \frac{9}{32} CE.$

Задача №2.

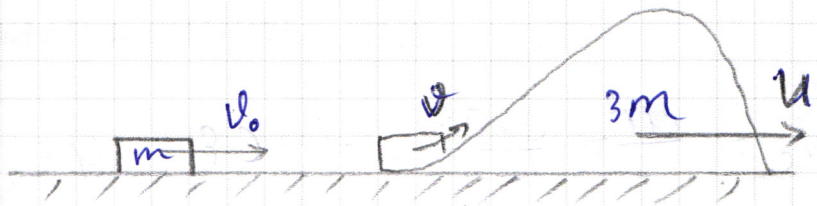
Решение:

Дано:

$$m_1 = m;$$

$$m_2 = 3m;$$

$$v_0;$$



Найти:

$$h_{\max};$$

$$v$$

При въезде на горку рассмотрим закон сохранения импульса:

$$\vec{p}_I = m\vec{v}_0$$

$$\vec{p}_{II} = m\vec{v} + 3m\vec{u}.$$

$$p_I = p_{II} \Rightarrow m\vec{v}_0 = m\vec{v} + 3m\vec{u}$$

$$v_0 = v + 3u$$

Закон сохранения энергии (кинетич.):

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{3mu^2}{2}$$

$$\begin{cases} v_0^2 = v^2 + 3u^2 \\ v_0 = v + 3u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0^2 = v_0^2 - 3u^2 \\ v = v_0 - 3u \end{cases}$$

$$(v_0 - 3u)^2 = v_0^2 - 3u^2$$

$$v_0^2 - 6uv + 9u^2 = v_0^2 - 3u^2$$

$$12u^2 = 6uv \quad | : 6u$$

$$2u = v$$

$$v_0 = v + 3u = 2u + 3u = 5u \Rightarrow u = \frac{v_0}{5}; v = \frac{2v_0}{5}$$

Закон сохранения энергии на горке:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{2v_0^2}{25g}$$

Ответ:  $h_{\max} = \frac{2v_0^2}{25g}; v = \frac{2v_0}{5}.$

скорость в начале подъема равна скорости после спуска в идеальной системе

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №1.

Дано:

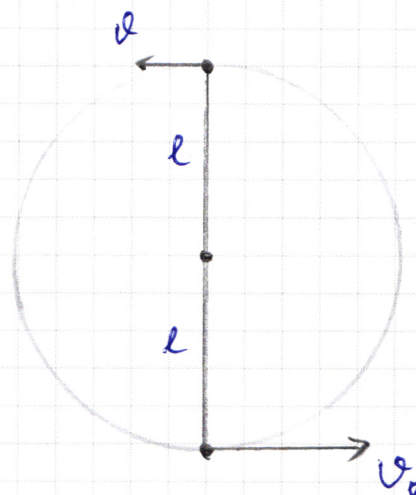
$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м};$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Найти:

$$v_{\min}.$$

Решение:



Используем закон сохранения энергии, учитывая условие:

$$\frac{mv^2}{2} = mg \cdot 2l + mg \frac{l}{2}$$

$$v_0^2 = 5gl \quad \left[ \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right]$$

$$v = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $v_{\min} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

$$v = v_0 - 3u$$

$$v^2 = v_0^2 - 3u^2$$

$$v_0^2 - 6uv_0 + 9u^2 = v_0^2 - 3u^2$$

$$12u^2 = 6uv_0$$

$$2u^2 = uv_0$$

$$2u = v_0 \Rightarrow v = 2u$$

$$v_0 = v + 3u = 2u + 3u = 5u. \Rightarrow u = \frac{v_0}{5}; v = \frac{2v_0}{5}$$

~~$$v_0 = \frac{v}{2}$$~~

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{4v_0^2}{2 \cdot g \cdot 25} = \frac{2v_0^2}{25g}$$

~~$$v^2 + 6uv_0 + 9u^2 = v^2 + 3u^2$$~~

~~$$6u^2 = -6uv_0$$~~

~~$$u = 0.$$~~

при  $v = 2\sqrt{gl}$  в нижней точке  $v = 0$ .

$$v^2 = 5gl$$

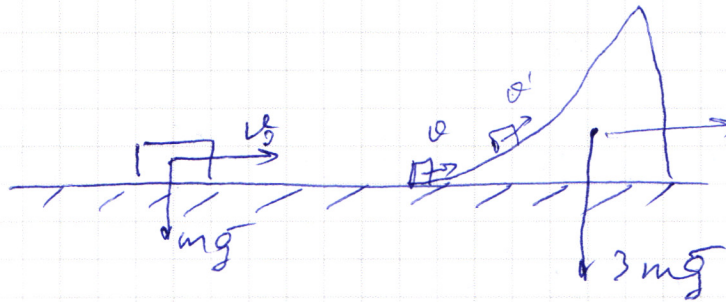
$$mv^2 = 2,5 \cdot 2mgl$$

$$\frac{mv^2}{2} = 2,5mgl.$$

$$\frac{mv^2}{2} = mg2l + \frac{mgl}{2}$$

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$P_1 = m\vec{v}_0$$

$$P_2 = m\vec{v} + 3m\vec{u}$$

$$m\vec{v}_0 = m\vec{v} + 3m\vec{u}$$

$$v_0 = v + 3u.$$

З.С.У:  $m v_0 = m v + 3 m u.$

$$v_0 = v + 3 u$$

$$v = v_0 - 3 u.$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{4 m u^2}{2}.$$

$$v^2 = 3 u^2$$

$$v = u \sqrt{3}$$

$$u = \frac{v \sqrt{3}}{3}.$$

З.С.Э:  $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{3 m u^2}{2}.$

$$\begin{cases} v_0^2 = v^2 + u^2 \\ v_0 = v + 3 u \end{cases}$$

$$v^2 + 9 u^2 + 6 v u = v^2 + u^2$$

$$8 u^2 = -6 v u$$

$$8 u = -6 v.$$

u - скорость горки.

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h + \frac{3 m u^2}{2}.$$

$$v_0^2 = 2 g h + 3 u^2$$

$$m g h = \frac{m u^2}{2}$$

$$u = \sqrt{2 g h}$$

горка ровная, движется, значит

$$v_0^2 = 2 g h + 3 u^2$$

$$2 g h = \frac{v_0^2 - 3 u^2}{2 g} = \frac{v_0^2 - 3 u^2}{g}.$$

$$m v_0 = m v + 3 m u$$

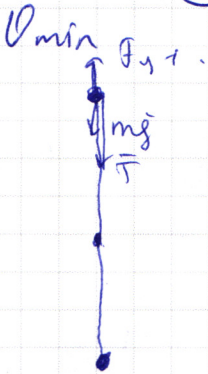
$$\begin{cases} v_0 = v + 3 u. \\ v_0^2 = v^2 + 3 u^2 \end{cases}$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$l = 50 \text{ см};$$

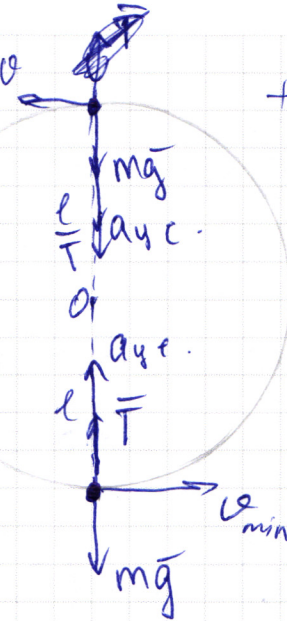
$$g = 10.$$

найти:  $m$



$$\sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = v$$

$$= \sqrt{25} = 5.$$



$$T - mg = ma_{цс}.$$

$$T + mg = -ma_{цс}.$$

$$2T = 0.$$

$$T + mg = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{mv^2}{2} = mg2l$$

$$v = 2\sqrt{gl}$$

$$v^2 = 4gl$$

$$v = 2\sqrt{gl}$$

$$\frac{v^2}{r} = \frac{F_k}{m} = \frac{mg}{m}$$

$$\frac{v^2}{r} = 10.$$

$$v^2 = 10r$$

$$v = \sqrt{10r}$$

$$= \sqrt{5}.$$

З.С.У:  $F = m \cdot a$

$$P_{II} = m v' + 3m u$$

$$m v_0 = m v' + 3m u.$$

$$v_0 = v' + 3u.$$

З.С.Э:  $E_I = \frac{m v_0^2}{2}$

$$E_2 = mgh$$

$$m v_0^2 = 2mgh$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$m v_0^2 = m v'^2 + 3m u^2$$

$$v_0^2 = v'^2 + 3u^2$$

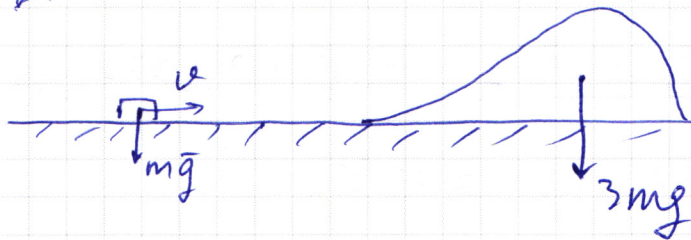
$$v_0 = v' + 3u$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{3u^2}{g}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{3u^2}{g}$$

$$v^2 = 6u^2$$

$$v = \sqrt{6}u.$$



$$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$T_1 = 273^\circ\text{C} + 27^\circ\text{C} = 300\text{K}$$

$$T_2 = 273^\circ\text{C} + 7^\circ\text{C} = 280\text{K}$$

$V_1$	$V_2$
He	He
$t_1 = 27^\circ\text{C}$	$t_2 = 7^\circ\text{C}$
$\nu_1 = 0,2$	$\nu_2 = 0,3$

He	тобу
$\nu = \nu_1 + \nu_2$	

$$\begin{matrix} 2 \\ 28 \\ \times 5 \\ \hline 84 \end{matrix}$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = \frac{0,2 \cdot 300}{0,3 \cdot 280}$$

$$Q = A + \Delta U_1$$

$$\Delta V_1 = 0 \Rightarrow A_1 = 0 \Rightarrow Q_1 = \Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R \Delta T_1$$

$$Q_2 = \Delta U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R \Delta T_2$$

$$\frac{300}{5} = 60$$

$$\frac{280 \cdot 3}{10} = 84$$

$$8 \cdot 144$$

$$\nu_1 R (T - T_1) = \nu_2 R (T_2 - T)$$

$$0,2 T_2 - 0,2 T_1 = 0,3 T_2 - 0,3 T$$

$$2 T_2 - 2 T_1 = 3 T_2 - 3 T$$

$$5 T = 3 T_2 + 2 T_1$$

$$T = \frac{3 T_2 + 2 T_1}{5} = \frac{3 \cdot 280 + 2 \cdot 300}{5} = 288 \text{ K}$$

$$t = 288 \text{ K} - 273 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ \uparrow 3 \\ + 840 \\ \hline 600 \\ \hline 1440 \quad | 5 \\ \hline 10 \quad 44 \quad 288 \\ \quad 40 \quad 273 \\ \quad \quad 40 \quad 15 \end{array}$$

$$P_0 V = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$P_0 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 288 \cdot 10^3}{8,31} = 144 \cdot 10^3 \text{ Па} = 144 \text{ кПа}$$

$$\varepsilon, C, R; \quad J = \frac{\varepsilon}{R_{\text{обш}}} = \frac{\varepsilon}{4R}$$

$$Q = J^2 R$$

$$U_c = U_R = J R = J \cdot 4R = 4 J R$$

$$Q = J^2 R \quad W = \frac{C U^2}{2} = \frac{C \cdot 9 J^2 R^2}{2} = \frac{9}{2} C J^2 R^2$$

$$Q =$$

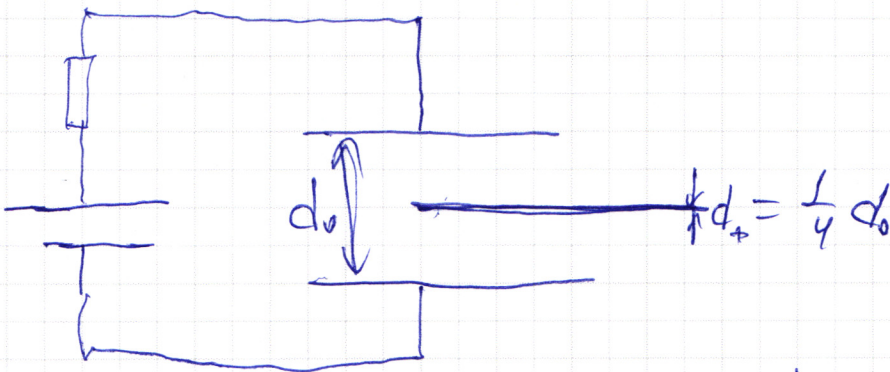
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$R_{II} \rightarrow R_{II} \rightarrow \rightarrow$

3. с.у:  $m\vec{v}_0 = m\vec{v} + 3m\vec{U}$   
 $v_0 = v + 3U.$

$\frac{mv_0^2}{2} = mgh \rightarrow h = \frac{v_0^2}{2g}$

н.ч.



$q = cU$   
 $c = \frac{q}{U}$

$C_0 = q/U$

1)  $c = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$

$$c = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} \cdot \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2}}{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 d_2 \left( \frac{d_2 + d_1}{d_1 d_2} \right)} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + d_2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_0 - \frac{1}{4} d_0} =$$

$$= \frac{4}{3} \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_0} = \frac{4}{3} C_0.$$

2)  $q_1 = C_0 U$   
 $q_2 = c U$

$\Rightarrow \Delta q = cU - C_0 U = U(c - C_0) = \frac{1}{3} U C_0 =$   
 $= \frac{1}{3} C_0 \epsilon$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)