

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

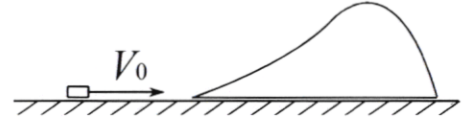
Шифр 16-013

(заполняется секретарём)

Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 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 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.

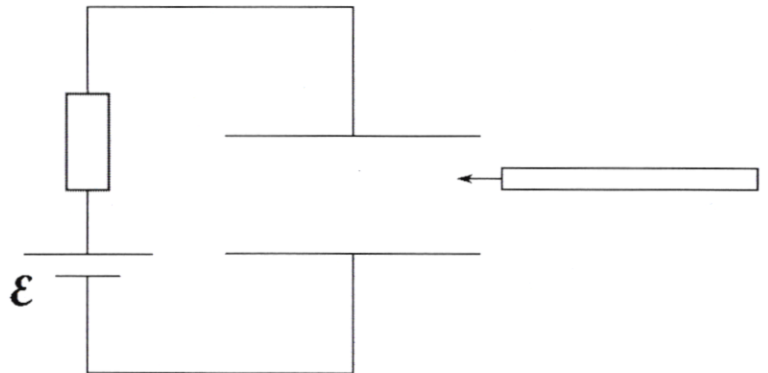


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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°C в количестве $\nu_1 = 0,2$ моль. Во второй части находится гелий при температуре 7°C в количестве $\nu_2 = 0,3$ моль. Перегородка прорывается.

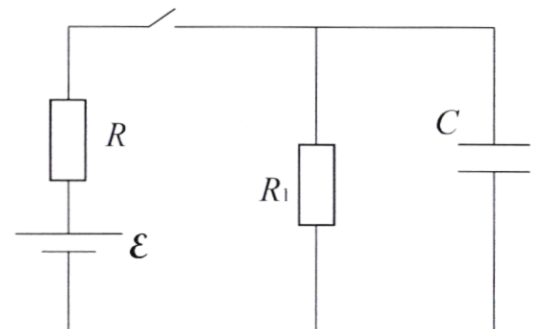
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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.



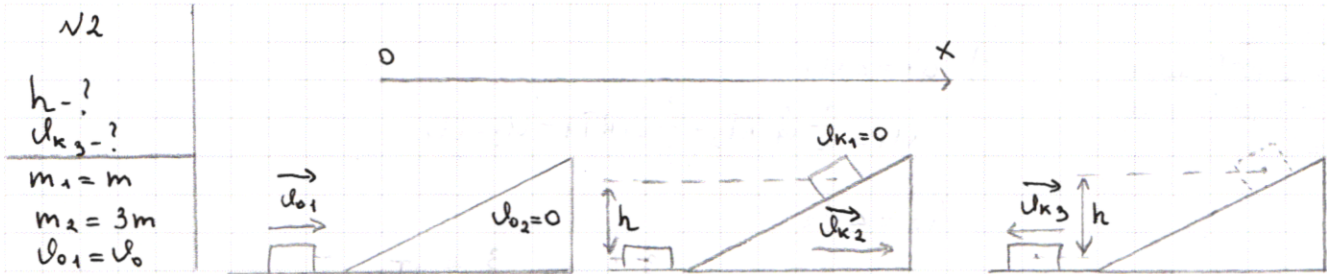
- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

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



1) По закону сохранения энергии

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_1 v_{01}^2}{2} &= \frac{m_1 v_{k1}^2}{2} + \frac{m_2 v_{k2}^2}{2} + m_1 g h \\ m_1 g h &= \frac{m_1 v_{k3}^2}{2} \end{aligned} \right\} \frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v_{k2}^2}{2} + \frac{m_1 v_{k3}^2}{2}$$

2) По закону сохранения импульса

$$\frac{m_1 v_{01}}{2} \quad m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = (m_1 + m_2) v_{k2}$$

ок: $m_1 v_{01} = (m_1 + m_2) v_{k2}$

$$v_{k2} = \frac{m_1 v_{01}}{m_1 + m_2}$$

3) Из 1 и 2

$$\frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) m_1^2 v_{01}^2}{2 \cdot (m_1 + m_2)^2} + \frac{m_1 v_{k3}^2}{2}$$

$$m_1 v_{01}^2 = \frac{m_1^2 v_{01}^2}{m_1 + m_2} + m_1 v_{k3}^2; \quad m_1 v_{k3}^2 = m_1 v_{01}^2 - \frac{m_1^2 v_{01}^2}{m_1 + m_2}$$

$m_1 = m$
 $m_2 = 3m$

$$m v_{k3}^2 = m v_{01}^2 - \frac{m^2 v_{01}^2}{4m}; \quad v_{k3}^2 = v_{01}^2 - \frac{v_{01}^2}{4} = \frac{3}{4} v_{01}^2$$

$$v_{k3} = \frac{v_{01} \sqrt{3}}{2} \quad \left. \begin{aligned} v_{01} = v_0 \\ v_{k3} = \frac{v_0 \sqrt{3}}{2} \end{aligned} \right\}$$

$$4) \left. \begin{aligned} m_1 g h &= \frac{m_1 v_{k3}^2}{2} \\ v_{k3}^2 &= \frac{3}{4} v_{01}^2 \end{aligned} \right\} h = \frac{3 v_{01}^2}{4 \cdot 2 \cdot g} \quad \left. \begin{aligned} h &= \frac{3 v_0^2}{8 \cdot 10} = \frac{3 v_0^2}{80} \\ v_{01} &= v_0 \end{aligned} \right\} \text{Ответ: } v_{k3} = \frac{v_0 \sqrt{3}}{2};$$

N3

$t_3 - ?$
 $P_3 - ?$

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
 $t_1 = 27^\circ \text{C}$
 $T_1 = t_1 + 273 = 300 \text{ K}$
 $T_2 = t_2 + 273 = 280 \text{ K}$
 $t_2 = 7^\circ \text{C}$
 $\nu_1 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ моль}$
 $\nu_2 = 3 \cdot 10^{-1} \text{ моль}$
 $i = 3$

T_1	T_2
ν_1	ν_2

T_3
ν_3
V
P_3

1) $Q_1 = \Delta U_1$
 $\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 = U_3 - U_1$
 $Q_2 = \Delta U_2$
 $\Delta U_2 = U_3 - U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$
 $Q_1 = Q_2$ т.к. сосуд теплоизолированный

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_3 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$
~~$$\frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-1} \cdot 8,31 \cdot T_3 - \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-1} \cdot 8,31 \cdot T_3 = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-1} \cdot 8,31 \cdot 300 - \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-1} \cdot 8,31 \cdot 280$$~~

$$\frac{3}{2} R (\nu_1 T_3 - \nu_2 T_3) = \frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 - \nu_2 T_2)$$

$$2 \cdot 10^{-1} T_3 - 3 \cdot 10^{-1} T_3 = 2 \cdot 10^{-1} \cdot 300 - 3 \cdot 10^{-1} \cdot 280$$

$$-1 \cdot 10^{-1} T_3 = 60 - 84$$

$$-10^{-1} T_3 = -24$$

$$T_3 = 240 \text{ (K)}; t_3 = 240 - 273 = -33 \text{ (}^\circ \text{C)}$$

2) $P_3 = \frac{\nu_3 R \cdot T_3}{V}; P_3 = \frac{5 \cdot 10^{-1} \cdot 8,31 \cdot 240}{8,31 \cdot 10^{-3}} = \frac{1200}{10^{-2}} = 1200 \cdot 10^2 = 120000 \text{ (Па)}$
 $\nu_3 = \nu_1 + \nu_2; \nu_3 = 2 \cdot 10^{-1} + 3 \cdot 10^{-1} = 5 \cdot 10^{-1}$
 Ответ: $t_3 = -33^\circ \text{C}; P_3 = 120000 \text{ Па}$

N5

1) Так как сразу после замыкания ключа конденсатор имеет сопротивление меньше, чем резистор R_1 , то весь ток пойдет через конденсатор, а значит R_1 можно пренебречь

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R + R_1} \Rightarrow I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$I_0 - ?$
 $U - ?$
 $Q - ?$

C
 \mathcal{E}
 R
 $R_1 = 3R$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- 2) U_{R_1} - напряжение на резисторе R_1
 U_C - напряжение на конденсаторе

$U_{R_1} = U_C$, так как соединены последовательно

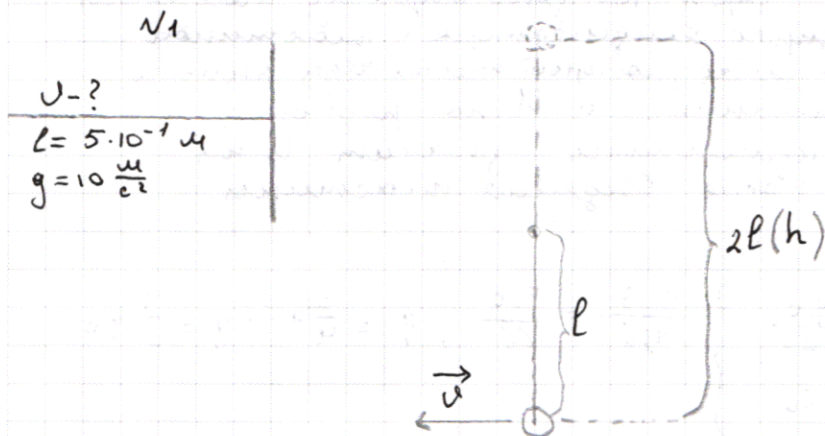
$$\left. \begin{aligned} U_{R_1} &= \gamma \cdot R_1 \\ \gamma &= \frac{\mathcal{E}}{R + R_1} \\ R_1 &= 3R \end{aligned} \right\} U_{R_1} = \frac{\mathcal{E} \cdot 3R}{3R + R} = \frac{3R \cdot \mathcal{E}}{4R} = \frac{3}{4} \mathcal{E}$$

- 3) После размыкания ключа количество теплоты будет выделяться только на конденсаторе, так как сила тока в цепи будет равна нулю

$$Q = \frac{C U_C^2}{2} \quad \left\{ \quad Q = \frac{C \cdot 9 \cdot \mathcal{E}^2}{2 \cdot 16} = \frac{9 C \mathcal{E}^2}{32}$$

Из 2) $U_C = U_{R_1} = \frac{3}{4} \mathcal{E}$

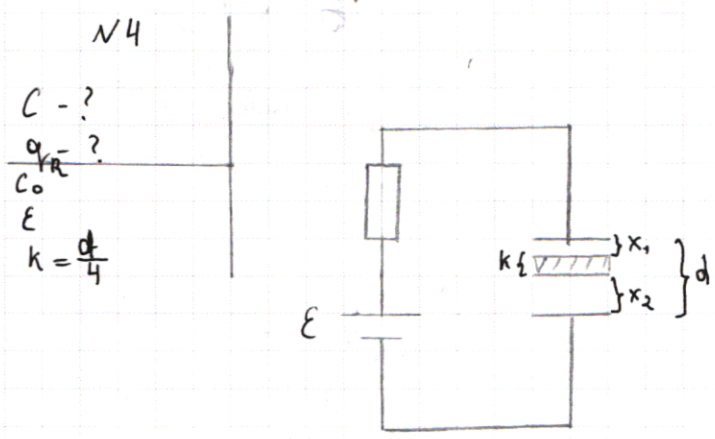
Ответ: 1) $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$; 2) $U_C = \frac{3}{4} \mathcal{E}$; 3) $Q = \frac{9 C \mathcal{E}^2}{32}$



По закону сохранения энергии

$$\left. \begin{aligned} \frac{m v^2}{2} &= m g h \\ h &= 2l \end{aligned} \right\} \frac{v^2}{2} = 2lg; \quad v^2 = 4lg; \quad v = \sqrt{4lg} = 2\sqrt{lg}$$

$v = 2 \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-1} \cdot 10} = 2\sqrt{5}$; Ответ: $v = 2\sqrt{5}$



k - толщина стержня
 x_2, x_1 - расстояние между пластинками и стержнем
 d - расстояние между пластинками конденсатора

$$1) C_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \quad ; \quad d = \frac{\varepsilon_0 S}{C_0}$$

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$, где C - емкость конденс. с пластиной

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{x_2} \quad ; \quad C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{x_1}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{x_1}{\varepsilon_0 S} + \frac{x_2}{\varepsilon_0 S} = \frac{x_1 + x_2}{\varepsilon_0 S} \\ x_1 + x_2 &= d - k = d - \frac{3}{4} \frac{d}{4} = \frac{3}{4} d \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{3d}{4\varepsilon_0 S} \\ d &= \frac{\varepsilon_0 S}{C_0} \end{aligned} \right\} C = \frac{4\varepsilon_0 S}{3d} = \frac{4\varepsilon_0 S \cdot \varepsilon_0 C_0}{3 \cdot \frac{\varepsilon_0 S}{C_0}} = \frac{4}{3} C_0$$

2) $q_R = q_f - q_0$, где q_0 - заряд конденсатора без пластины
 q_f - заряд конденсатора с пластиной
 q_R - заряд, который прошел через резистор

Поскольку U на источнике и U на резисторе ~~остались~~ не изменились, значит U на конденсаторе до и после введения пластины одинаковы

$$\left. \begin{aligned} U &= U_0 \\ U &= \frac{q}{C} \\ U_0 &= \frac{q_0}{C_0} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} \frac{q}{C} &= \frac{q_0}{C_0} \\ C &= \frac{4}{3} C_0 \end{aligned} \right\} \frac{q \cdot 3}{4C_0} = \frac{q_0}{C_0} \quad ; \quad q_0 = \frac{3}{4} q \quad ; \quad q = \frac{4}{3} q_0$$

$$q_R = \frac{4}{3} q_0 - \frac{3}{3} q_0 = \frac{q_0}{3}$$

$$q_0 = C_0 U_0$$

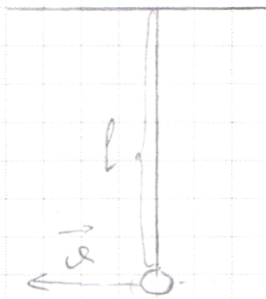
$$U_{обш.} = U_0 + U_R$$

$$U_R = I \cdot R$$

Ответ: $C = \frac{4}{3} C_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1



$$m\vec{a} = \vec{F}_R$$

$$a = \frac{v^2}{R}$$

$$R = l$$

$$l = 5 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \quad \left. \begin{array}{l} \frac{mv^2}{2} = 2mgl \\ h = 2l \end{array} \right\} \frac{mv^2}{2} = 2mgl$$

$$h = 2l$$

$$v^2 = 4gl$$

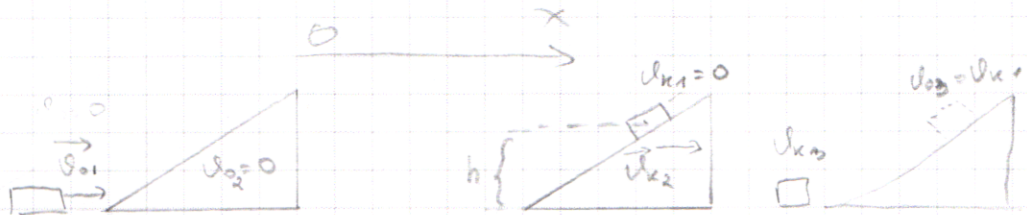
$$v = 2\sqrt{gl}, \quad v = 2\sqrt{10 \cdot 5 \cdot 10^{-1}} = 2\sqrt{5}$$

$$\begin{array}{r|l} 300 & 80 \\ \hline 240 & 0,037 \\ \hline 60 & \\ \hline 56 & \\ \hline 4 & \end{array}$$

N2

$$m_1 = m$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 3$$



$$1) \frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{m_1 v_{к2}^2}{2} + \frac{m_2 v_{к2}^2}{2} + m_1 gh$$

$$2) m_1 gh = \frac{m_1 v_{к2}^2}{2}$$

$$\frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v_{к2}^2}{2} + \frac{m_1 v_{к2}^2}{2}$$

$$3) m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}_{к2}$$

$$m_1 v_{01} = (m_1 + m_2) v_{к2}$$

$$v_{к2} = \frac{m_1 v_{01}}{m_1 + m_2}$$

$$v_{к2}^2 = v_{01}^2 - \frac{v_{01}^2}{4}$$

$$v_{к2}^2 = \frac{3}{4} v_{01}^2, \quad v_{к3} = \frac{v_{01} \sqrt{3}}{2}, \quad h = \frac{m \cdot 3 v_{01}^2}{4 \cdot 2 \cdot 10 g} = \frac{3 v_{01}^2}{8 \cdot 10}$$

$$\frac{m_1 v_{01}^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot m_1^2 v_{01}^2}{2 (m_1 + m_2)^2} +$$

$$+ \frac{m_1 v_{к2}^2}{2}$$

$$m_1 v_{к2}^2 = m_1 v_{01}^2 - \frac{m_1^2 v_{01}^2}{m_1 + m_2}$$

$$m_1 v_{к2}^2 = m_1 v_{01}^2 - \frac{m^2 v_{01}^2}{4m}$$

N5

$$1) \gamma = \frac{E}{R}$$

$$2) U_{R1} = U_C$$

$$U_{R1} = \gamma \cdot R_1 \quad \left. \begin{array}{l} U_{R1} = \frac{E \cdot R_1}{R + R_1} = \frac{E \cdot 3R}{4R} = \frac{3}{4} E \\ \gamma = \frac{E}{R + R_1} \end{array} \right\}$$

$$3) Q = Q_R + Q_{R1} + Q_C$$

$$Q_R = \gamma^2 \cdot R \cdot t$$

$$\gamma = \frac{E}{4R}$$

$$Q_R = \frac{E^2 \cdot R \cdot t}{16R^2} = \frac{E^2 \cdot t}{16R}$$

$$Q_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R_1} \cdot t$$

$$U_{R1} = \frac{3}{4} E$$

$$Q_{R1} = \frac{3 \cdot 9 E^2 \cdot t}{16 \cdot 3R} = \frac{3 E^2 \cdot t}{16R}$$

$$Q_C = \frac{C U^2}{2} = \frac{C \cdot 9 E^2}{16 \cdot 2} = \frac{9 E^2 C}{32}$$

$$Q = \frac{E^2 \cdot t}{16R} + \frac{3 E^2 \cdot t}{16R} + \frac{9 E^2 C}{32}$$

$$= \frac{4 E^2 t}{16R} + \frac{9 E^2 C}{32}$$

$$= \frac{E^2 t}{4R} + \frac{9 E^2 C}{32}$$

$$\gamma = \frac{q}{t}; \quad t = \frac{q}{\gamma}$$

$$q = C U = C \cdot \frac{3}{4} E$$

$$\gamma = \frac{E}{4R}$$

$$t = \frac{3 C E \cdot 4R}{4 \cdot E} = 3 C R$$

$$Q = \frac{E^2 \cdot 3 C R}{4R} + \frac{9 E^2 C}{32} = \frac{3 E^2 \cdot 3 C + 9 E^2 \cdot C}{32} = \frac{24 E^2 C + 9 E^2 C}{32} = \frac{33 E^2 C}{32}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

V

$T_1 = 300^\circ\text{K}$ $\nu_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$	$T_2 = 280^\circ\text{K}$ $\nu_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$	T_3 $\nu_3 = \nu_1 + \nu_2$
---	---	----------------------------------

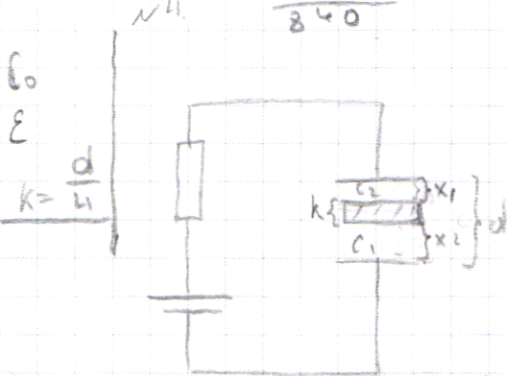
1) $Q_1 = \Delta U_1$
 $\Delta U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$

$Q_1 = Q_2$
 $\frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$
 $\frac{3}{2} \nu_1 R T_3 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_3 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 - \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$
 $P_3 = \frac{\nu_3 R T_3}{V_3}$

$\frac{3 \cdot 280}{2} =$

$\frac{3 \cdot 280}{2} =$

$\frac{5 \cdot 240}{2} =$



1) $C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S \cdot (n-1)}{d} = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{d}$, $d = \frac{\epsilon_0 S}{C_0}$

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

$C_1 = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{x_2}$, $C_2 = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{x_1}$

$\frac{1}{C} = \frac{x_2}{\epsilon_0 S} + \frac{x_1}{\epsilon_0 S}$

$x_2 + x_1 = d - k$

$\frac{1}{C} = \frac{x_2 + x_1}{\epsilon_0 S}$

$x_2 + x_1 = \frac{3}{4} d$

$\frac{1}{C} = \frac{3d}{4 \epsilon_0 \cdot S}$, $C = \frac{4 \epsilon_0 S}{d}$

$C = \frac{4 \epsilon_0 S}{d} \cdot C_0 = 4 C_0$

2) $C_0 = \frac{q_0}{U_0}$, $q_0 = C_0 U_1$
 $C = \frac{q}{U}$, $q = C U_2$

заряд через резистор.
 $q - q_0 = q_k$

(Источники и Резистора одинак. $\Rightarrow U_1 = U_2$, $\frac{q}{C} = \frac{q_0}{C_0} =$)

$$\frac{q}{4CS} = \frac{q_0}{\epsilon_0}; \quad q = 4q_0; \quad q_k = 3q_0$$

$$q_0 = C_0 \cdot U_1$$

$$q_0 = \frac{q_k}{3}$$

$$U_{\text{общ.}} = U_1 + U_A$$

$$C_0 = \frac{q_0}{U_0}$$

$$U_0 = U_{\text{общ.}} - U_A$$

$$U_1 = U_2$$

$$\frac{q_1}{C_1}$$

$$\frac{q_0}{C_0} = \frac{3q}{4CS}; \quad q_0 = \frac{3}{4} q; \quad q = \frac{4}{3} q_0$$

$$q_k = \frac{q_0}{3}$$

$$y = \frac{\rho}{R+n}; \quad \epsilon = \rho \cdot R + 7 \cdot n^{-0}$$

$$q_0 = C_0 \cdot U$$

$$U = U_R + U_0$$

$$U_0 = U - U_R$$

$$U_0 = U - \rho \cdot R$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

15-013.

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)