

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

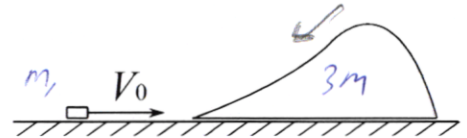
Шифр 7-016

(заполняется секретарём)

Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарика, 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.

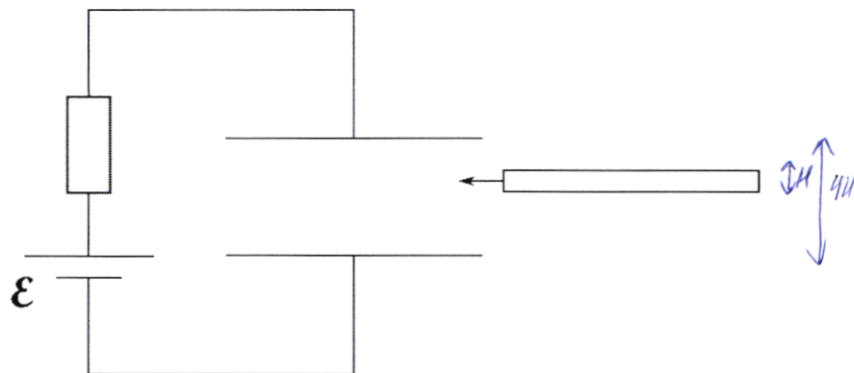


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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.

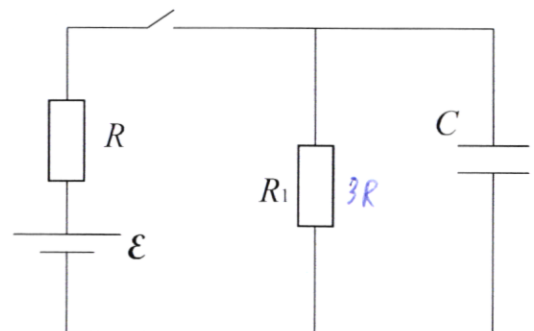
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?

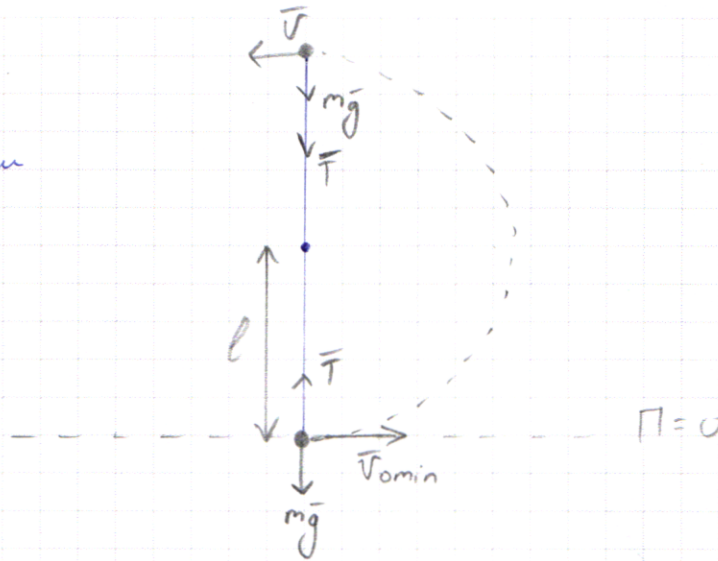
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

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

$v_{\text{min}} = ?$



$$\text{ЗСЭ} : \frac{m v_{\text{min}}^2}{2} = m g \cdot (2l) + \frac{m v^2}{2} \quad (1)$$

2 Закон Ньютона в верхней точке траектории:

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_g$$

$$\vec{T} + m\vec{g} = \frac{m v^2}{r}$$

$$m v^2 = m g l \quad (2)$$

в верхней точке $T=0$, т.к. нужно найти минимальную horiz. скорость.

$$(2) \rightarrow (1) : \frac{m v_{\text{min}}^2}{2} = m g \cdot (2l) + \frac{m g l}{2} \quad | \cdot 2$$

$$v_{\text{min}}^2 = 4 g l + g l = 5 g l$$

$$v_{\text{min}} = \sqrt{5 g l} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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

N2

$m, v_0, 3m$

1) $h_{\text{max}} = ?$

2) $v = ?$

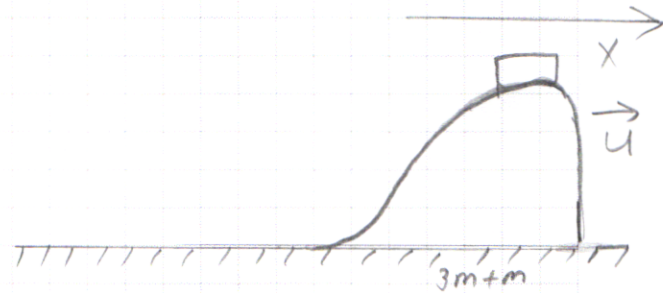
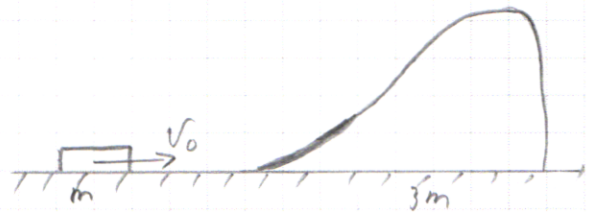
1) Шайба достигает максимальной высоты при относительном покое с горкой (одинаковая скорость шайбы и горки относительно земли)

ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{(3m+m) u^2}{2} + m g h_{\max}$ (1), где u - скорость горки и шайбы.

ЗУ: $m v_0 = (3m+m) u$

$u = \frac{v_0}{4}$

$u = \frac{v_0}{4}$ (2)



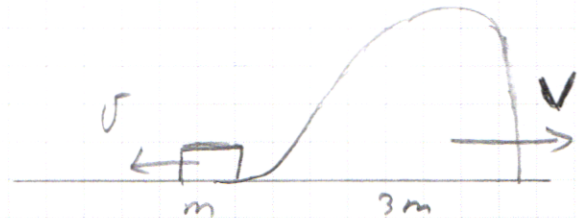
(2) → (1)

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m \frac{v_0^2}{4^2}}{2} + m g h_{\max}$ / · 2

$v_0^2 = \frac{v_0^2}{4} + 2 g h_{\max}$

$h_{\max} = \frac{v_0^2 - \frac{v_0^2}{4}}{2g} = \frac{3v_0^2}{8g}$

2) ЗУ: $(m+3m) u = -m v + 3m V$, где V - скорость горки после того как шайба свернула с ней.
 ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{3m V^2}{2}$ / · 2



$\begin{cases} m v_0^2 = m v^2 + 3m V^2 \\ 4m u = -m v + 3m V \end{cases}$, вместо u пишу $\frac{v_0}{4}$

$\begin{cases} v_0^2 - v^2 = 3V^2 \\ v_0 + v = 3V \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (v_0 - v)(v_0 + v) = 3V^2 \\ (v_0 + v) = 3V \end{cases} \quad \%$

$(v_0 - v) = V$, - подставляю в ЗСУ.

$4m \cdot \frac{v_0}{4} = -m v + 3m (v_0 - v)$

$v_0 = -v + 3v_0 - 3v$

$4v = 2v_0$

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

Ответ: 1) $h_{\max} = \frac{3v_0^2}{8g}$ 2) $v = \frac{v_0}{2}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 3

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

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

$$\nu_1 = 0,2 \text{ моль} = \frac{1}{5} \text{ моль}$$

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

$$\nu_2 = 0,3 \text{ моль} = \frac{3}{10} \text{ моль}$$

удельный
1) θ - ?

2) $P_{\text{кон}}$ - ?

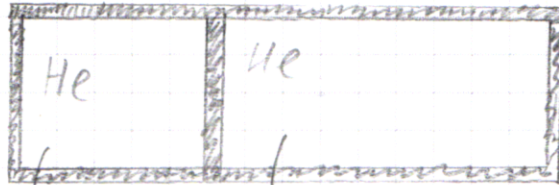
после прогрева:



$\theta, V, P_{\text{кон}}$

до прогрева:

V



T_1, ν_1, P_1

T_2, ν_2, P_2

1) УР-е теплового баланса:

$$\kappa \nu_1 (T_1 - \theta) = \kappa \nu_2 (\theta - T_2)$$

$$\nu_1 T_1 - \nu_1 \theta = \nu_2 \theta - \nu_2 T_2$$

$$\nu_1 \theta + \nu_2 \theta = \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2$$

$$\theta = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{(\nu_1 + \nu_2)} = \frac{\frac{1}{5} \cdot 27 + \frac{3}{10} \cdot 7}{\frac{1}{2}} =$$

$$= \frac{\frac{27}{5} + \frac{21}{10}}{\frac{1}{2}} = \frac{\frac{54 + 21}{10}}{\frac{1}{2}} = \frac{75}{10} \cdot \frac{2}{1} = 15^\circ\text{C}$$

или
288K

2) УР-е М-К.: $P_1' V = \nu_1 R \theta$; $P_2' V = \nu_2 R \theta$

По закону Дальтона: $P_{\text{кон}} = P_1' + P_2' = \frac{\nu_1 R \theta}{V} + \frac{\nu_2 R \theta}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R \theta}{V} =$

$$= \frac{\frac{1}{2} \cdot 8,31 \cdot 288}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 144 \cdot 10^3 \text{ Па} = 1,44 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ответ: 1) $\theta = 15^\circ\text{C}$

2) $P_{\text{кон}} = 144000 \text{ Па} = 1,44 \cdot 10^5 \text{ Па}$

NS

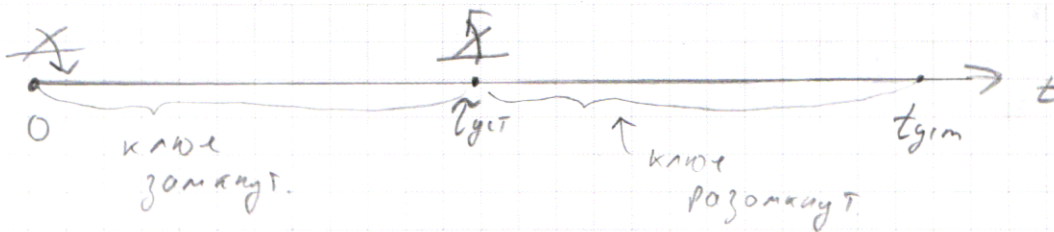
$R_1 = 3R$

C, E, R

1) I - ?

2) $U_C(t_{\text{уст}})$ - ?

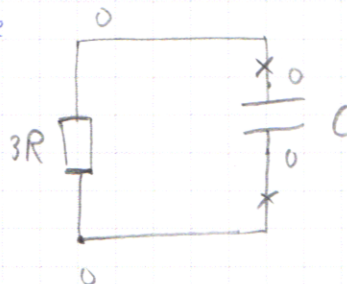
3) Q^+ - ?



• Рассмотрим цепь до замыкания ключа :

т.к. цепь в уст. режиме
то $I_C = 0 \Rightarrow I_{3R} = 0$
 \Downarrow
 $U_{3R} = 0$

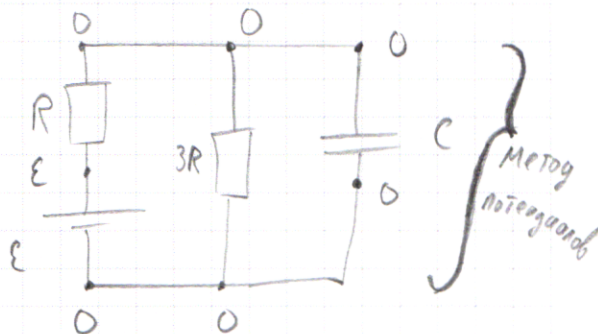
Конденсатор не заряжен.



• Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа :

Напряжение на конденсаторе скачком не изменяется $U_C(0) = 0$.

$I = \frac{E - 0}{R} = \frac{E}{R}$ - ток через источник сразу после замыкания ключа.



• Рассмотрим цепь в уст. состоянии при замкнутом ключе :

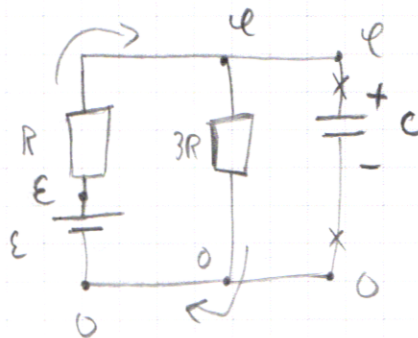
В уст. состоянии $I_C(t_{\text{уст}}) = 0$

$\frac{E - \varphi}{R} = \frac{\varphi - 0}{3R}$

$3E - 3\varphi = \varphi$

$3E = 4\varphi$

$\varphi = \frac{3}{4} E$



Пусть $E > \varphi > 0$
тогда полярность конденсатора как на рис.

$U_C(t_{\text{уст}}) = \varphi - 0 = \frac{3}{4} E$

- установленное напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.

• Рассмотрим цепь сразу после размыкания ключа :

Напряжение на конденсаторе скачком не изменяется $U_C(t_{\text{зам}}) = \frac{3}{4} E$

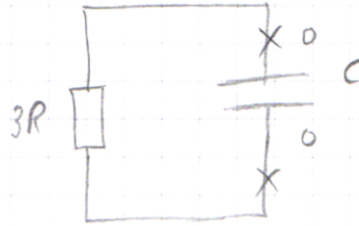
тогда $W_C(t_{\text{зам}}) = \frac{1}{2} C \left(\frac{3}{4} E\right)^2 = \frac{1}{2} C \cdot \frac{9}{16} E^2 = \frac{9CE^2}{32}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- Рассмотрим цепь в уст. режиме после размыкания ключа:

в уст. режиме $I_c(t_{уст}) = 0$

$$\begin{aligned} I_{3R} &= 0 \\ \Downarrow \\ U_{3R} &= 0 \Rightarrow U_c(t_{уст}) = 0 \\ \Downarrow \\ W_c(t_{уст}) &= 0 \end{aligned}$$



ЗСЭ: $\Delta S = \Delta W + Q^*$

$$Q^* = -\Delta W = - (W_c(t_{уст}) - W_c(t_{до})) = W_c(t_{до}) = \frac{9}{32} C \varepsilon^2$$

- кол-во теплоты выделившееся после размыкания ключа.

Ответ: 1) $I = \frac{\varepsilon}{R}$ 2) $U_c(t_{уст}) = \frac{3}{4} \varepsilon$ 3) $Q^* = \frac{9}{32} C \varepsilon^2$

N 4

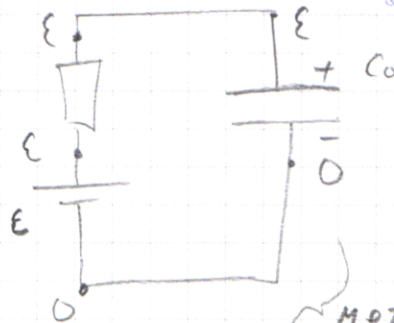


C_0, ε

1) $C_{+ - ?}$ (ёмкость конд. с пластиной)

2) $q_R - ?$

- до введения пластины: цепь находится в уст. режиме,



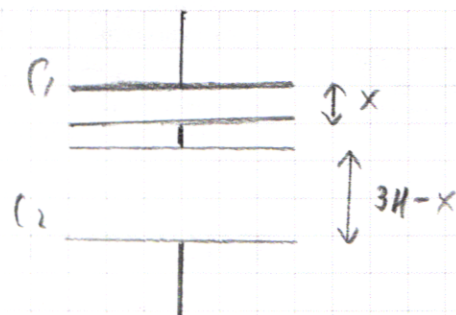
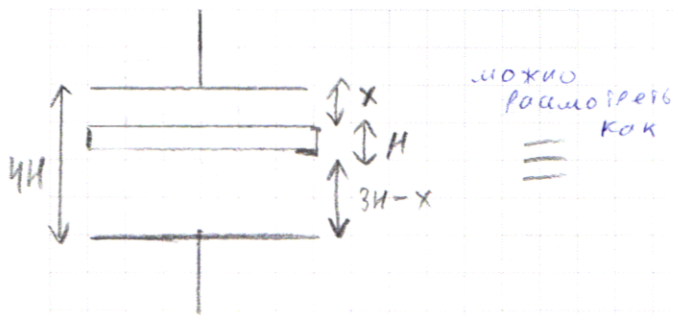
$$\begin{aligned} I_{C_0} &= 0 \\ \Downarrow \\ I_R &= 0 \\ \Downarrow \\ U_R &= 0. \end{aligned}$$

метод потенциалов

$$U_{C_0} = \varepsilon$$

заряд на верхней обложке: $q_1 = C_0 \varepsilon$

- введение пластины:



$$\frac{1}{C_{\pm}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} ; \quad C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3H-x}$$

$$\frac{1}{C_{\pm}} = \frac{x}{\epsilon \epsilon_0 S} + \frac{3H-x}{\epsilon \epsilon_0 S} = \frac{3H}{\epsilon \epsilon_0 S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{\pm} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3H} ; \quad C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{4H}$$

$$\frac{C_{\pm}}{C_0} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3H} \cdot \frac{4H}{\epsilon \epsilon_0 S} = \frac{4}{3} \Rightarrow 3C_{\pm} = 4C_0 \Rightarrow$$

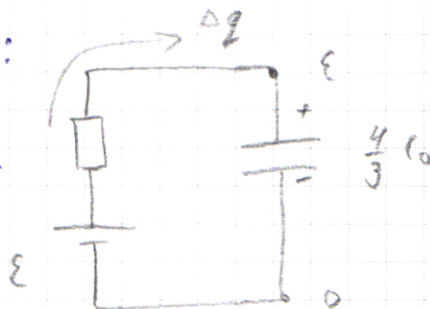
$$C_{\pm} = \frac{4}{3} C_0$$

- емкость конденсатора с пластиной.

• после введения пластины:

Напряжения на конденсаторе скачком не изменяется: $U_{\pm} = \epsilon$

Меняется только заряд на обкладках. (перетекает)



$$\text{заряд на верхней обкладке} : q_2 = \frac{4}{3} C_0 \epsilon$$

Изменение заряда на обкладках конденсатора говорит нам о движении заряда через резистор.

$$\text{Было} : +q_1 = +C_0 \epsilon \quad \text{Теперь} : +q_2 = +\frac{4}{3} C_0 \epsilon$$

$$\Delta q = q_R = \frac{4}{3} C_0 \epsilon - C_0 \epsilon = \frac{1}{3} C_0 \epsilon \Rightarrow q_R = \frac{1}{3} C_0 \epsilon$$

- заряд протекший через резистор после начала введения пластины.

Ответ: 1) $C_{\pm} = \frac{4}{3} C_0$ 2) $q_R = \frac{1}{3} C_0 \epsilon$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

$v_{\text{min}} - ?$

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



$\frac{1}{2} m v_0^2 = mgl$
 $mgl = -mgl + \frac{1}{2} m v^2$
 $2mgl = \frac{1}{2} m v^2$
 $v = \frac{v_0 + v}{3}$

1) ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2} = 2mgl + \frac{m v^2}{2}$

2) З.Н.: $T + mg = \frac{m v^2}{l} \Rightarrow m v^2 = (T + mg) l$

3) $\frac{m v_0^2}{2} = 2mgl + \frac{(T + mg) l}{2}$ 1-2

$m v_0^2 = 4mgl + (T + mg) l$; $T = 0$ в верхней точке.

$m v_{\text{min}}^2 = 4mgl + mgl$

$v_{\text{min}} = \sqrt{5gl}$

Ответ: $v_{\text{min}} = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N2

m, v_0

$3m$

1) $h_{\text{max}} - ?$

2) $v - ?$

ЗСЭ: $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{(m + 3m) v^2}{2} + mgh_{\text{max}}$

шайба достигает максимальной высоты при относительном покое с горкой (одинаковые скорости относительно земли)

~~ЗСЭ~~
ЗСЭ: $m v_0 = (m + 3m) v \Rightarrow v = \frac{m v_0}{4m} = \frac{v_0}{4}$

$$\frac{m V_0^2}{2} = \frac{4m \left(\frac{V_0}{4}\right)^2}{2} + mgh_{\max} \quad | \cdot 2$$

$$V_0^2 = \frac{V_0^2}{4} + 2gh_{\max} \quad | \cdot 4$$

$$4V_0^2 = V_0^2 + 8gh_{\max}$$

$$8gh_{\max} = 3V_0^2$$

$$h_{\max} = \frac{3V_0^2}{8g}$$

$$4mV = -mV + 3mV \quad | \cdot 2$$

$$4mV = -mV + 3mV$$

$$V = \frac{4mV + mV}{3m}$$

$$4mV = -mV + 3mV$$

$$4mV = -mV + 3mV$$

$$4mV = -mV + 3mV$$

$$2) \quad 3(CU): (m+3m)u = -mV + 3mu_1$$

$$3(CJ): \frac{(m+3m)u^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{3mu_1^2}{2}$$

$$4mu^2 = mV^2 + 3mu_1^2$$

$$4mu = -mV + 3mu_1 \Rightarrow u_1 = \frac{4u+V}{3}$$

$$4mu^2 - mV^2 = 3mu_1^2$$

$$4mu + mV = 3mu_1$$

$$2u - V = 2u_1 - V = 3mu_1^2$$

$$4mu^2 = mV^2 + 3m \cdot \frac{(4u+V)^2}{9} \quad | \cdot 3$$

$$12mu^2 = mV^2 + m(16u^2 + V^2 + 8uV)$$

$$12mu^2 = mV^2 + 16mu^2 + mV^2 + 8muV$$

$$2V^2 + 4u^2 + 8uV = 0$$

$$V^2 + 4uV + 2u^2 = 0$$

$$V_1 \cdot V_2 = 2u^2$$

$$V_1 + V_2 = -4u$$

$$V_0^2 - V^2 = 3V^2$$

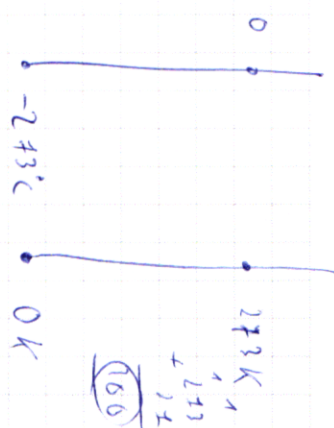
$$mV_0 + mV = 3mV$$

$$(V_0 - V)(V_0 + V) = 3V^2$$

$$(V_0 + V) = 3V$$

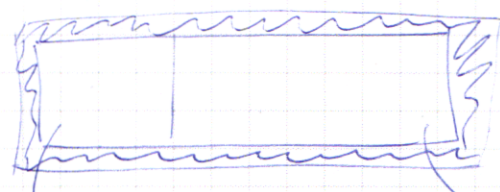
$$V_0 - V = V$$

$$\begin{array}{r} 288 \\ -213 \\ \hline 15 \end{array}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
 $n_1 = 0,2 \text{ моля}$
 $n_2 = 0,3 \text{ моля}$
 $T_1 = 300 \text{ К}$
 $T_2 = 280 \text{ К}$



- 1) Θ - ?
- 2) $P_{\text{общ}}$

$$\begin{aligned}
 1) \quad & \kappa n_1 (T_1 - \Theta) = \kappa n_2 (\Theta - T_2) \\
 & n_1 T_1 - n_1 \Theta = n_2 \Theta - n_2 T_2 \\
 & \Theta = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_2}{n_1 + n_2} = \frac{\frac{1}{5} \cdot 300 + \frac{3}{10} \cdot 280}{\frac{1}{2}} = \frac{60 + 84}{\frac{1}{2}} = 144 \cdot 2 = 288 \text{ К}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad & P_1 V = n_1 R \Theta \\
 & P_2 V = n_2 R \Theta
 \end{aligned}$$

Закон Дальтона:
 $P = P_1' + P_2'$

~~$$P_1' = \frac{n_1 R \Theta}{V}$$~~

$$\begin{aligned}
 P_1' V &= n_1 R \Theta & P_1' &= \frac{n_1 R \Theta}{V} \\
 P_2' V &= n_2 R \Theta & P_2' &= \frac{n_2 R \Theta}{V}
 \end{aligned}$$

По формуле

$$P = \frac{n_1 R \Theta}{V} + \frac{n_2 R \Theta}{V} = \frac{(n_1 + n_2) R \Theta}{V}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 8,31 \cdot 288 = 1195,2 \text{ Па}$$

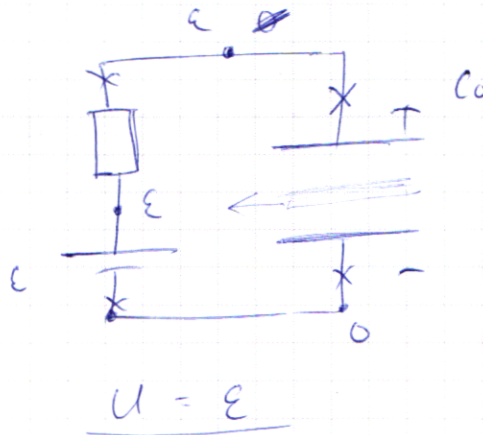
N4

C_0, \mathcal{E}

го. введем платину!

1) $C - ?$

2) Зар $q_R - ?$



$I_C = 0$ т.к. уст. соед.

~~Всего!!~~

$I_R = 0$

$U_R = 0$

~~$C = \frac{\mathcal{E} \epsilon_0 S}{d}$~~

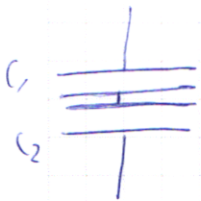
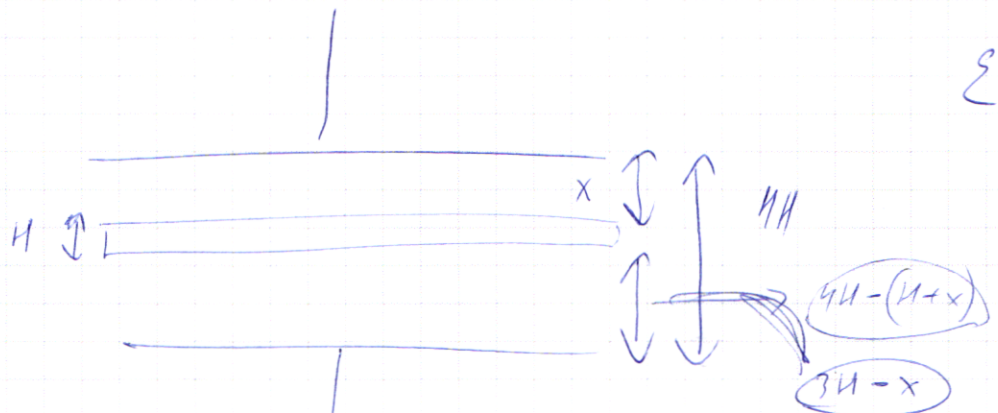


начальный заряд:

$q = C_0 \mathcal{E}$

(

поле того как введем ϵ , ищем заряд на верхней обложке, затем смотрим сколько уменьше заряда, Δq и есть заряд протекший через резистор!



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

~~$C_0 = \frac{3}{4} C_t$~~

$C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x}$; $C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3H - x}$

$\frac{1}{C_t} = \frac{x}{\epsilon \epsilon_0 S} + \frac{3H - x}{\epsilon \epsilon_0 S} = \frac{3H}{\epsilon \epsilon_0 S}$

$\frac{C_0}{C_t} = \frac{3}{4}$

$C_t = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3H}$

$C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{4H}$

$= \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{4H} \cdot \frac{3H}{\epsilon \epsilon_0 S}$

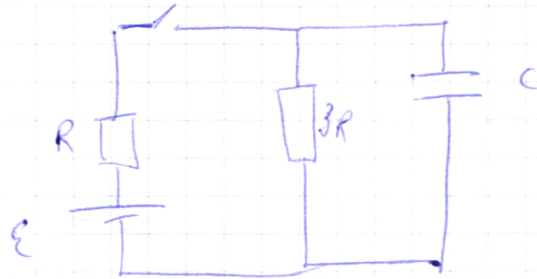
$3C_t = 4C_0 \Rightarrow C_t = \frac{4}{3} C_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5

C, ϵ, R

1) Ток через источник сразу после замыкания

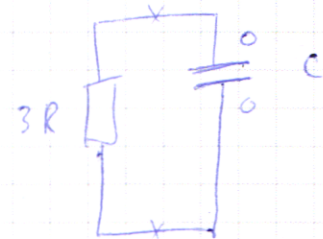


2) $U_C(t)$ - ?

3) Q - ?

Рассмотрим цепь до замыкания ключа.

Конденсатор не заряжен
напряжение равно нулю.

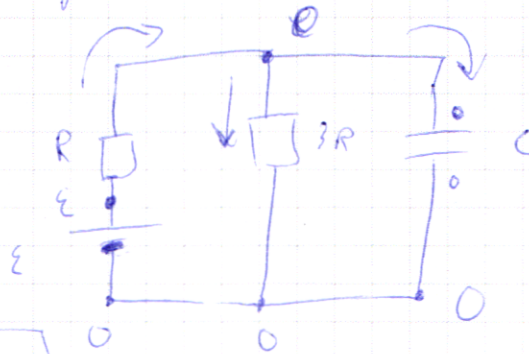


Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа.

Напряжение на конденсаторе скачком не изменяется $\Rightarrow U_C(0) = 0$.

$U_C(0) = 0$.

Метод потенциалов



Т.к. $U_C(0) = 0$

то потенциалы

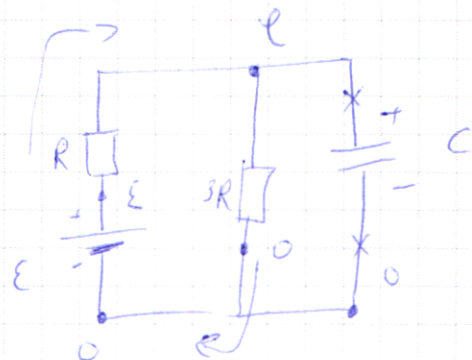
на ~~плоскостях~~

с двух сторон от конденсатора равны.

$$1) I = \frac{\epsilon - 0}{R} = \frac{\epsilon}{R}$$

Рассмотрим цепь в уст. состоянии:

в уст. сост. $I_C = 0$



Пусть $\epsilon > \phi > 0$ тогда полярности на обкладках как на рисунке.

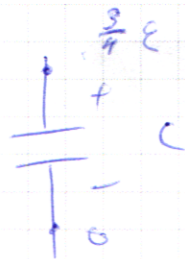
$$\frac{\epsilon - e}{R} = \frac{e - 0}{3R}$$

$$\epsilon = 3\epsilon - 3e$$

$$3\epsilon = 4e$$

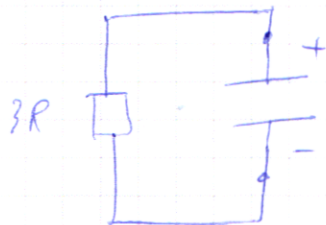
или

$$e = \frac{3}{4}\epsilon$$



$$U_C(t_{\text{зам}}) = \frac{3}{4}\epsilon.$$

Рассмотрим цепь сразу после ~~замыкания~~ размыкания ключа:

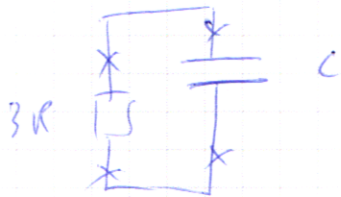


Напряжением (качком)
не аум.

$$W(t_{\text{раз}}) = \frac{1}{2} C \left(\frac{3}{4}\epsilon\right)^2 = \frac{1}{2} C \cdot \frac{9}{16} \epsilon^2 = \frac{9}{32} C \epsilon^2$$

$$3C\epsilon: \Delta S = \Delta W + Q$$

Рассмотрим цепь в уст. режиме при замыкании ключа:



$$I_C = 0$$

$$I_R = 0 \Rightarrow U_{3R} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_C = 0$$

$$W(t_{\text{зам}}) = 0$$

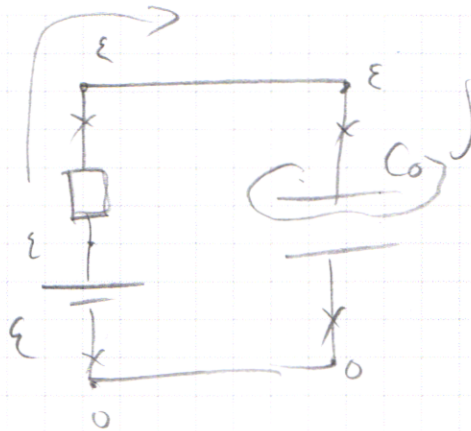
$$Q = -\Delta W$$

$$Q = -\left(0 - \frac{1}{2} C \frac{9}{16} \epsilon^2\right)$$

$$Q = \frac{1}{2} C \cdot \frac{9}{16} \epsilon^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$C_2 = \frac{4}{3} C_0$$

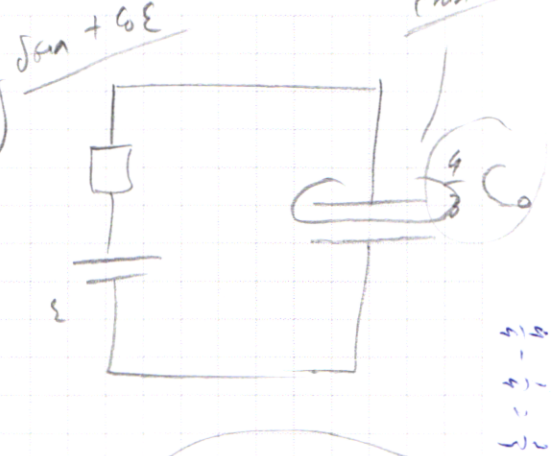


$$q_1 = C_0 \varepsilon$$

$$U_{C1} = \varepsilon$$

$$q_R = q_2 - q_1 = \frac{4}{3} C_0 \varepsilon - C_0 \varepsilon = \frac{1}{3} C_0 \varepsilon$$

заряд протекший через
резистор.



$$q_2 = \frac{4}{3} C_0 \cdot \varepsilon$$

напряжение скачком
не изменилось, т.о.

$$U_{C1} = U_{C2} = \varepsilon$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)