

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

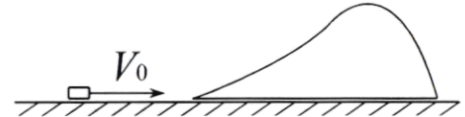
Шифр 9-12

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 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 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.

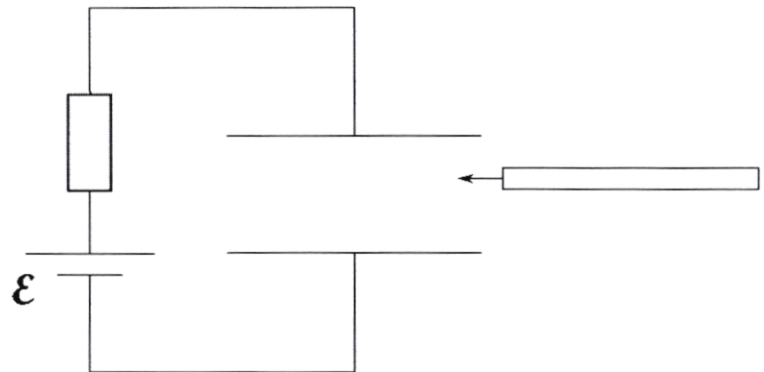


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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  $127^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,1$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,4$  моль. Перегородка прорывается.

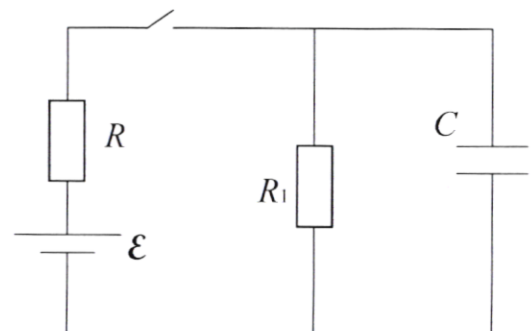
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\varepsilon$  (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  $C$ ,  $\varepsilon$ ,  $R$ .



- 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?

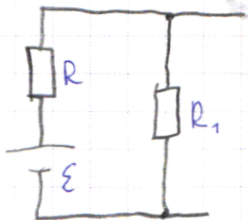


## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

и тогда  $I = I_0$  на конденсаторе:

$$I_0 = I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

2) При  $t \rightarrow \infty$  ток через конденсатор не течёт. Перерисуем:



Тогда  $U_C = U_{R_1}$ , т.к.  $R_1$  и  $C$  соединены параллельно.

$$\mathcal{E} = I(R + R_1) = 5IR; \quad I = \frac{\mathcal{E}}{5R}$$

$$U_{R_1} = IR_1 = \frac{\mathcal{E}}{5R} \cdot 4R = \frac{4}{5}\mathcal{E}$$

$$U_C = U_{R_1} = \frac{4}{5}\mathcal{E}$$

3)  $E = \frac{CU^2}{2}$  (энергия в заряженном конденсаторе)

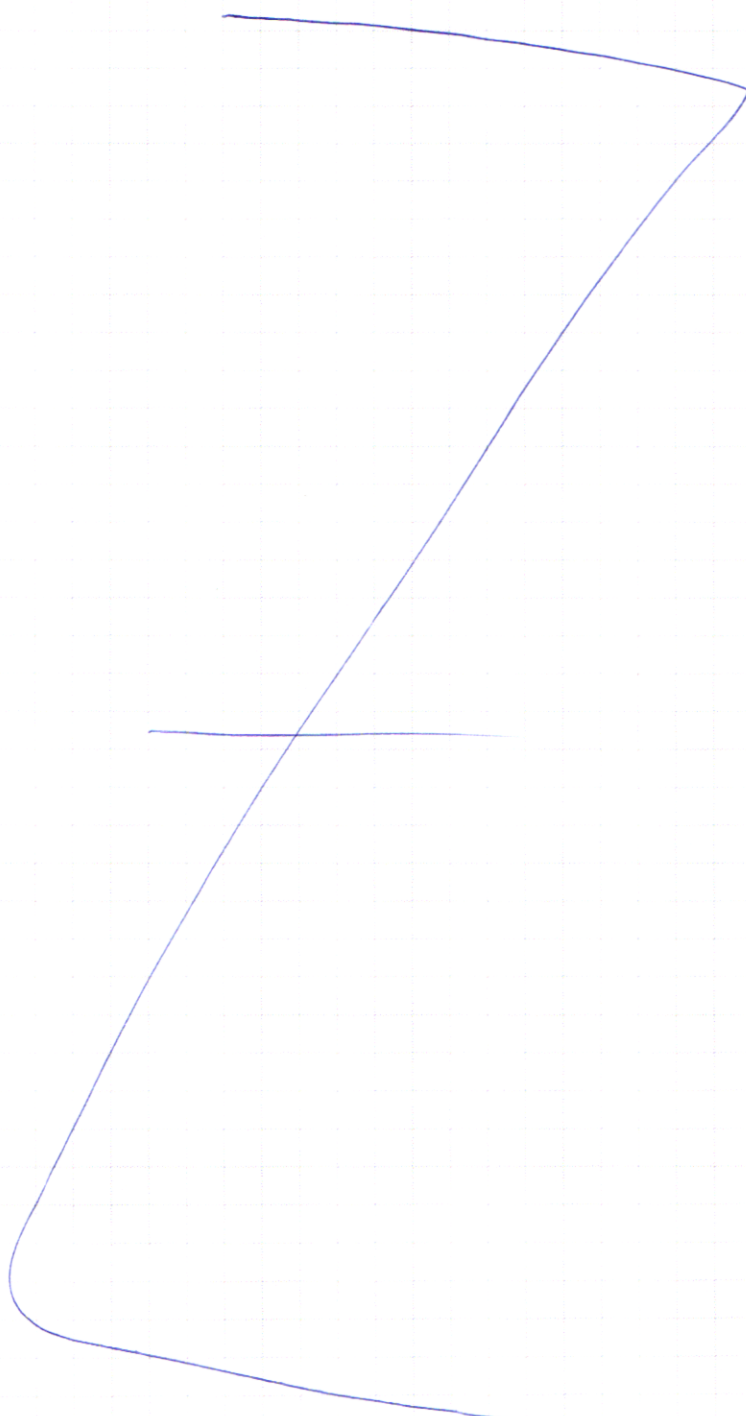
При разряде конденсатора вся эта энергия выделяется в виде теплоты на резисторе  $R_1$ :

$$Q_{R_1} = E = \frac{CU^2}{2}$$

Если подставить  $U_C$ :

$$Q_{R_1} = \frac{8}{25}CE^2$$

Ответ: 1)  $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$ ; 2)  $U_C = \frac{4}{5}\mathcal{E}$ ; 3)  $Q_{R_1} = \frac{8}{25}CE^2$





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. Дано:

$$l = 18 \text{ см} =$$

$$= 0,18 \text{ м.}$$

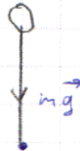
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$v = ?$$

Решение:

Шарик в верхней точке траектории



Когда шарик находится в наивысшей точке траектории, сила натяжения нити равна нулю.

Единственная сила, действующая на шарик — это  $mg$  (сила тяжести).

Она же — центростремительная:

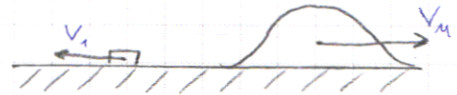
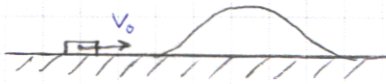
$$mg = \frac{mv^2}{l}$$

Из этого:

$$v = \sqrt{\frac{gl}{l}} = \sqrt{\frac{10}{0,18}} = \sqrt{\frac{500}{9}}$$

Ответ:  $v = \sqrt{\frac{500}{9}}$ .

2.



Дано:

$$v_0$$

$m$  (масса монеты)

$4m$  (масса горки)

Найти:

1)  $h = ?$ ; 2)  $v_1 = ?$  (слезает с горки)

Решение:  $v_1$  — скорость спуска монеты с горки.

1) Кинетическая энергия движения монеты полностью преобразуется в потенциальную, когда монета достигла наивысшей точки:

$$E_k = E_p.$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh; \quad \frac{v_0^2}{2} = gh;$$

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

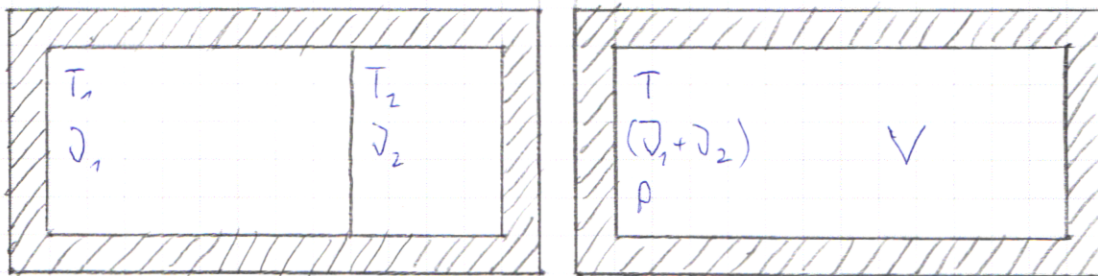
2) Скорость  $v_0$  распределяется между горкой и локетом в соотношении  $\frac{1}{4}$  по 3.С.И. Следовательно:

$$v_1 = \frac{3}{4} v_0$$

Ответ: 1)  $h = \frac{v_0^2}{2g}$

2)  $v_1 = \frac{3}{4} v_0$

3.



Дано:

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

$$t_1 = 127^\circ \text{C}$$

$$(T_1 = 400 \text{ K})$$

$$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$$

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

$$(T_2 = 280 \text{ K})$$

$$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$$

Найти:

1)  $t$  -? ( $^\circ \text{C}$ )

2)  $p$  -?

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T;$$

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

Решение:

Введем обозначения:

$T$  - установившаяся температура

$p$  - конечное давление в сосуде.

Уравнение для системы газов (I закон термодинамики):

$$Q = \Delta U + A$$

$A = 0$  (газ не совершает работу над внешними телами)

$Q = 0$  (сосуд теплоизолированный, тепло нигде не уходит).

Следовательно,  $\Delta U = 0$ .

$\Delta U = (U_1 + U_2) - U$ , где  $U$  - конечная теплота газа.

Из этого:

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,5} = 304 \text{ K}$$

$$t = T - 273 = 304 - 273 = 31^\circ \text{C}$$

Отметим, что  $\mu$  также равно  $\frac{3}{2} pV$ :

$$\mu = \frac{3}{2} pV$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} pV$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = \frac{pV}{R}$$

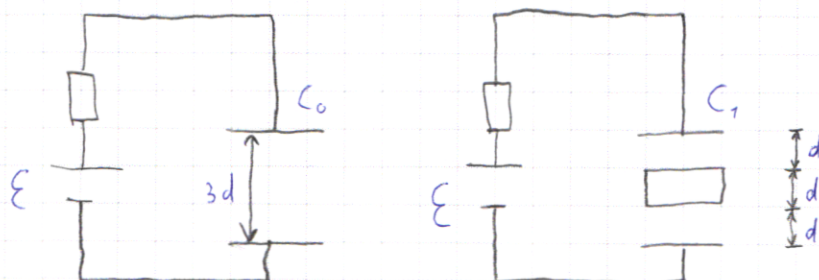
$$p = \frac{R(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V}$$

$$p = \frac{8,31(0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280)}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 152000 \text{ Па}$$

Ответ: 1)  $t = 31^\circ \text{C}$

2)  $p = 152000 \text{ Па}$ .

4.



Дано:

$C_0$ ,  $\epsilon$ ,  $d$  (толщина пластин),  $3d$  (расстояние между обкладками)

Найти: 1)  $C_1$  (с пластиной); 2)  $Q_R$

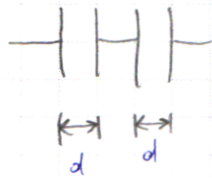
Решение:

Заменим обозначение  $\epsilon$  (ЭДС) на  $E$ .

Далее будем обозначать диэлектрическую проницаемость как  $\epsilon$ .



Конденсатор с пластиной и с емкостью  $C_1$  можно эквивалентно переписать, как два последовательно соединенных конденсатора:



$$\frac{1}{C_1} = \frac{d}{2\varepsilon\varepsilon_0 S} + \frac{d}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}$$

$$\frac{1}{C_1} = \frac{2d}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}; \quad C_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

П.к.  $C_0 = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ , то  $C_1 = \frac{3}{2} C_0 = 1,5 C_0$

$$\Delta q = \Delta C E$$

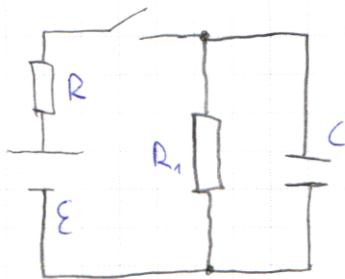
$$\Delta C = C_1 - C_0 = 1,5 C_0 - C_0 = 0,5 C_0$$

$$\Delta q = 0,5 C_0 E$$

Ответ: 1)  $1,5 C_0$

2)  $0,5 C_0 E$

5.



Дано:

$$C, \varepsilon, R, R_1 = 4R$$

Найти:

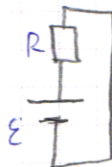
1)  $I_0$  (при  $t=0$ )

2)  $U_C$  (при  $t \rightarrow \infty$ )

3)  $Q_{R1}$  (после размыкания ключа)

Решение:

1) Сопротивление конденсатора  $R_C = 0$  в момент  $t=0$ . Тогда схему можно эквивалентно переписать:



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3 (продолжение)

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,5} = 2(0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280) =$$

$$= 0,2 \cdot 400 + 0,8 \cdot 280 = 80 + 28 \cdot 8 \cdot 10^1 \cdot 10^1 = 80 + 28 \cdot 8 =$$

$$= 80 + 224 = 304 \text{ K}$$

$$T - 273$$

$$t = 304 - 273 = 31^\circ \text{C}$$

$$\begin{aligned} 28 \cdot 8 &= \\ &= 20 \cdot 8 + 8 \cdot 8 = \\ &= 160 + 64 = 224 \end{aligned}$$

$$U = \frac{3}{2} pV$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} pV$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = \frac{pV}{R} \quad ; \quad p = \frac{R(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V}$$

$$p = \frac{8,31(0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280)}{8,31 \cdot 10^{-3}} = (0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280) \cdot 10^3 =$$

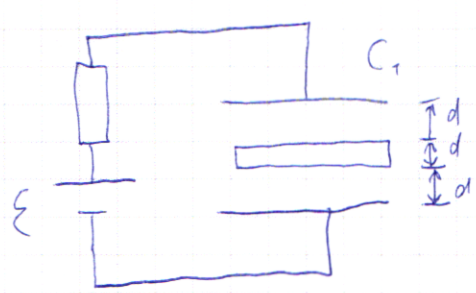
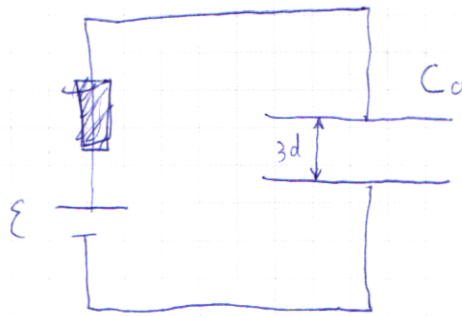
$$= (40 + 112) \cdot 10^3 = 152 \cdot 10^3 = 152000 \text{ Па}$$

Ответ: 1)  $t = 31^\circ \text{C}$

2)  $p = 152000 \text{ Па}$

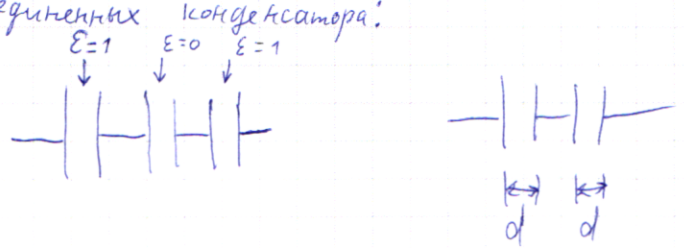


$I = \frac{E}{ut}$      $E = \frac{Cu^2}{2}$      $E = \frac{Uq}{2}$      $Cu^2 = Uq$      $Cu = q$   
 $E = \frac{q}{C}$      $q = CE$      $I = \frac{CE}{t}$   
 $C = \frac{2\epsilon\epsilon_0 S}{d}$      $C = \frac{q}{E}$      $q = CE$



Дано:  
 $C_0$   
 $\epsilon$   
 Найти:  
 1)  $C_1$  (с пластиной)  
 2)  $Q_R$

Решение: Заметим обозначение  $\epsilon$  (ЭДС) на  $E$ . Далее будем обозначать диэлектрическую проницаемость как  $\epsilon$ . Конденсатор с пластиной и с емкостью  $C_1$  можно эквивалентно перерисовать, как ~~три~~ <sup>два</sup> последовательно соединенных конденсатора:



$$\frac{1}{C_1} = \frac{d}{2\epsilon\epsilon_0 S} + \frac{d}{2\epsilon\epsilon_0 S}$$

$$\frac{1}{C_1} = \frac{2d}{2\epsilon\epsilon_0 S} \quad ; \quad C_1 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0 = 1,5 C_0$$

$$C_0 = \frac{2\epsilon\epsilon_0 S}{3d} = \frac{2}{3} \epsilon\epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$\Delta q = \Delta C E$$

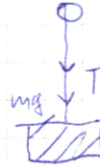
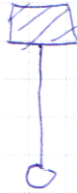
$$\Delta C = C_1 - C_0 = 1,5 C_0 - C_0 = 0,5 C_0$$

$$\Delta q = 0,5 C_0 E$$

~~Ответ:~~  
 Ответ: 1)  $1,5 C_0$   
 2)  $0,5 C_0 E$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1.  
 $l = 18 \text{ см} =$   
 $= 0,18 \text{ м}$



Когда шарик находится в наивысшей  
точке траектории, сила натяжения  
нити равна нулю.

~~$mg = \frac{mv^2}{l}$~~   $mg = \frac{mv^2}{l}$

$g = \frac{v^2}{l}$

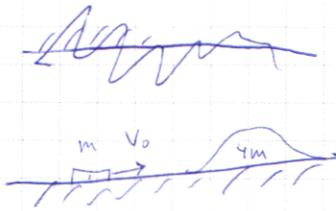
$v = \sqrt{\frac{gl}{1}} = \sqrt{\frac{10}{0,18}}$

$= \sqrt{\frac{1000}{18}}$

$= \sqrt{\frac{500}{9}}$

Единственная сила, действующая на шарик — это  $mg$ . Она же —  
центростремительная.

2.



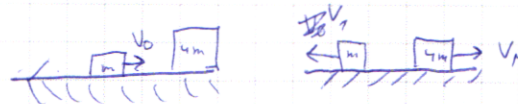
$p_m = mv_0$

$p_m = -p_{m_2} + p_m$

$mv_0 = mv_1 + 4mV_m$

$v_0 = v_1 + 4V_m$

$v_1 = v_0 - 4V_m$



1)  $E_k = E_n$

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

2) Скорость  $v_0$  распределяется между горкой  
и локтей в соотношении  $\frac{1}{4}$  по  $\frac{3}{4}$  с.и.

2 (продолжение)

$$V_1 = \frac{3}{4} V_0$$

$$V_1 = \frac{1}{4} V_0$$

Ответ: 1)  $h = \frac{V_0^2}{2g}$

2)  $V_1 = \frac{3}{4} V_0$

3.

Дано:

~~1)  $t_1 (T_1) = \text{rock}$~~

$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$

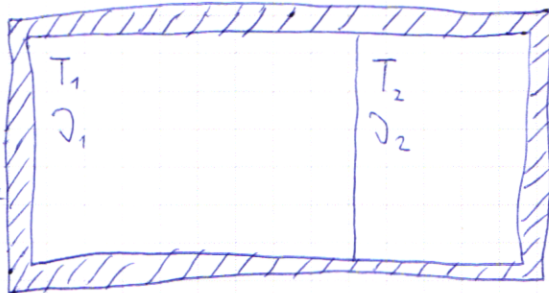
~~2)  $t_2 (T_2) = \text{rock}$~~

$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$

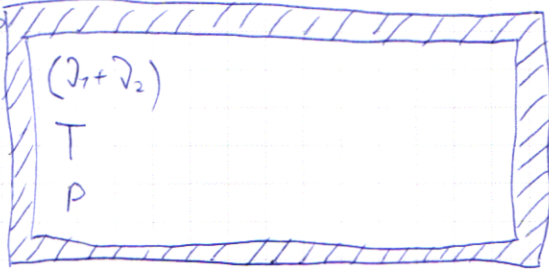
$V = 8,31 \cdot 10^3 \text{ м}^3$

1)  $t - ?$

2)  $p - ?$



$127 + 273 = 400 \text{ K}$



$q_p$  - е для системы газов (I закон термодинамики)

$$Q = \Delta U + A$$

$A = 0$  (газ не совершает работы над внешними телами)

$Q = 0$  (м. к. связь теплоизолированной, но тепло нигде не уходит)

$$\Delta U = 0; \Delta U = U_1 + U_2 - U$$

$$\Delta U = U_1 + U_2; U_1 + U_2 = 0 \quad U_1 = -U_2$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1; U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = 0; \frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = 0 \quad \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = 0$$

$$U_1 + U_2 = U$$

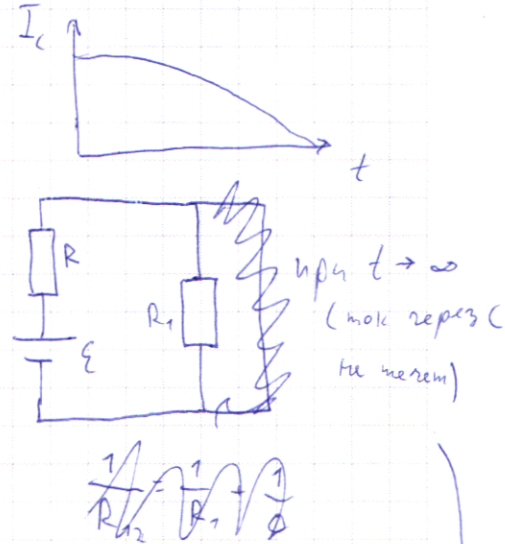
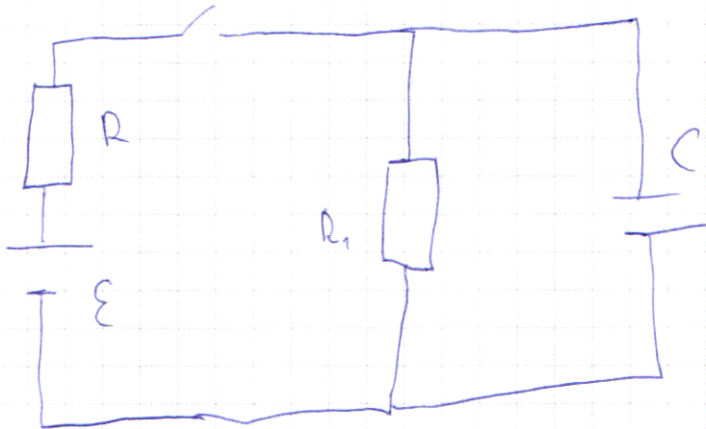
$$0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T; \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5.



Дата:

C

ε

R, R<sub>1</sub> = 4R

Найти:

1) I<sub>0</sub> (при t=0)

2) U<sub>C</sub> (при t → ∞)

3) Q<sub>R<sub>1</sub></sub> (после размыкания ключа)

Решение

3)  $E = \frac{CU_0^2}{2}$  (энергия в ~~конт~~ заряженном конденсаторе)

При разряде конденсатора, вся эта энергия выделится в виде теплоты на резисторе R<sub>1</sub>:

$$Q_{R_1} = E = \frac{CU_0^2}{2}$$

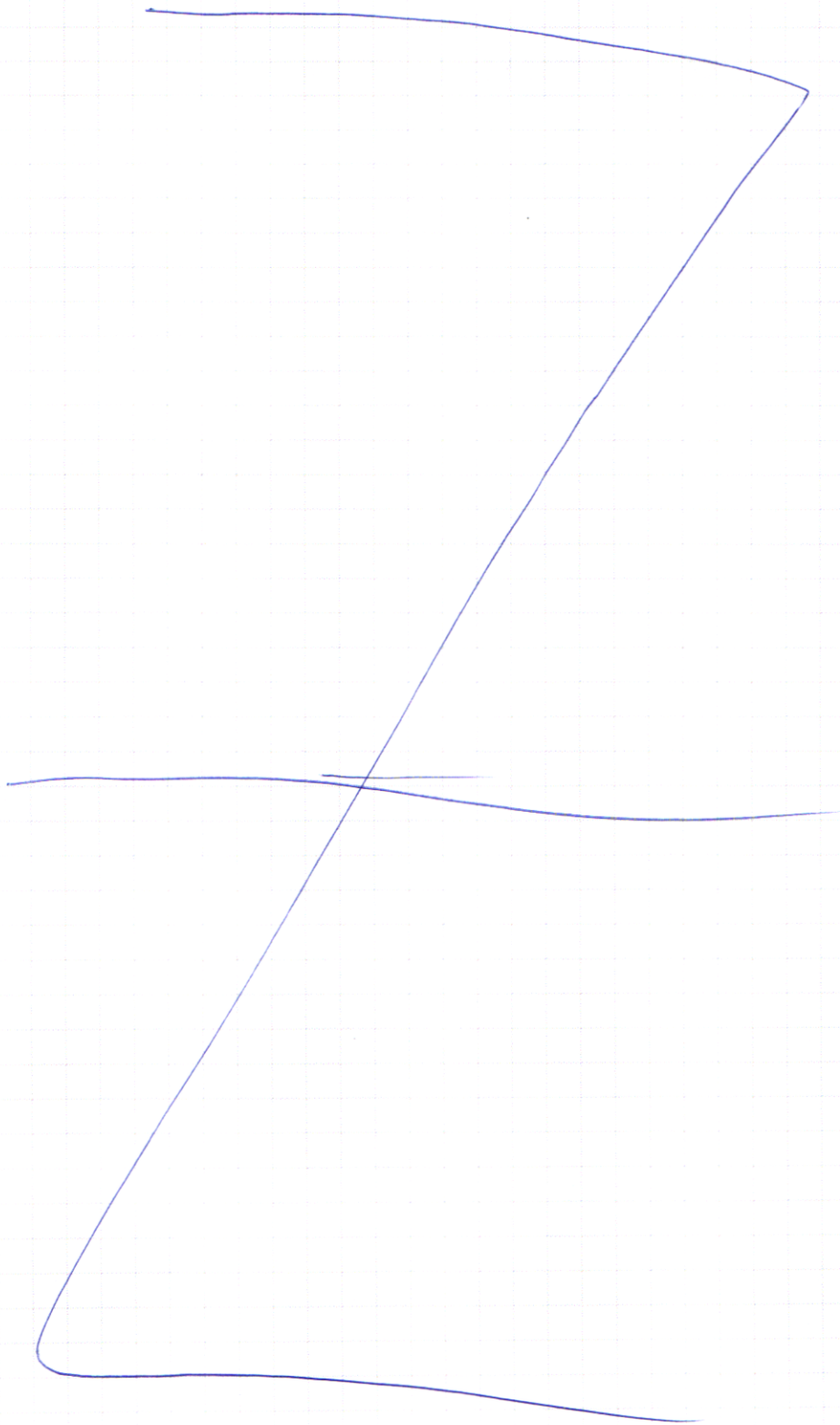
$$Q_{R_1} = \frac{C \left(\frac{4}{5}E\right)^2}{2} = \frac{C \frac{16}{25} E^2}{2} = \frac{16}{25 \cdot 2} C E^2 = \frac{8}{25} C E^2$$

~~2) U = IR~~ ~~U = IR~~ #1

$$E = I(R + R_1) = 5IR; \quad I = \frac{E}{5R}$$

$$U_{R_1} = IR_1 = \frac{E}{5R} \cdot 4R = \frac{4}{5}E$$

R<sub>1</sub> и C соединены параллельно ⇒ U<sub>R<sub>1</sub></sub> = U<sub>C</sub>





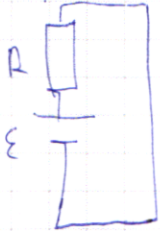
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5 (продолжение)

$$U_c = \frac{4}{5} \mathcal{E}$$

1) ~~Известно~~ Сопротивление конденсатора  $R_c = 0$  в момент  $t = 0$ .

Тогда схему можно эквивалентно переписать:

и тогда  $I = I_0$  на конденсаторе.

$$I_0 = I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

