

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

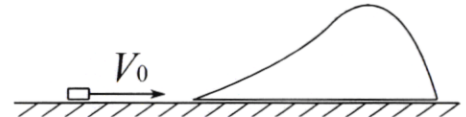
Шифр 06-036

(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 $g=10 \text{ м/с}^2$. v_0

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.

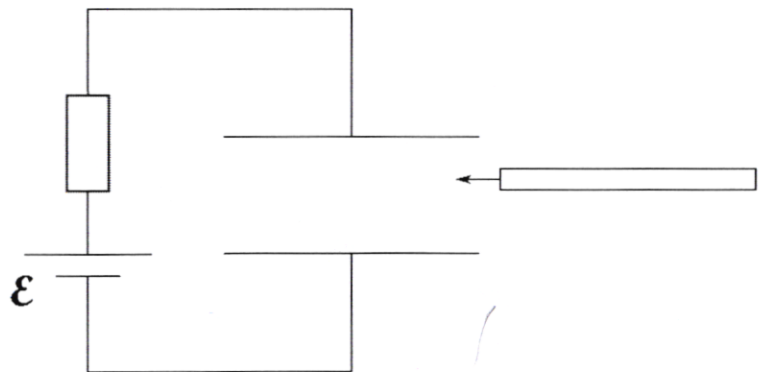


- $\frac{13}{32} \frac{v_0^2}{g}$ $v_0^2 = 2g h_{min}$
- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
 - 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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.

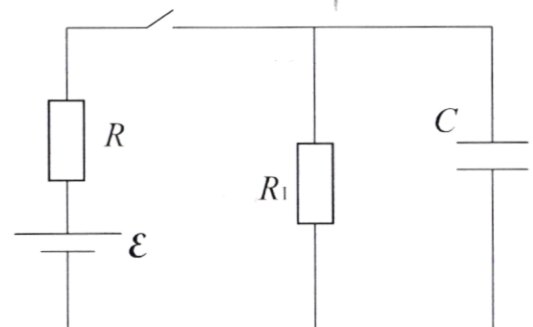
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия? 15
- 2) Найти конечное давление в сосуде. $1,44 \cdot 10^5$

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. $\frac{4}{3} C_0$
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины? $q_R = \frac{\mathcal{E} C_0}{4}$

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. $\frac{\mathcal{E}}{4R}$
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе. $\frac{3}{4} \mathcal{E}$
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

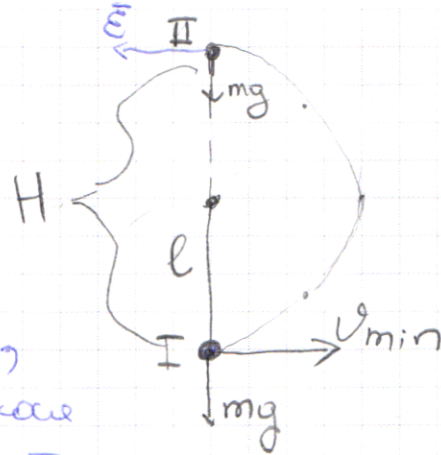
$\frac{3}{16} \mathcal{E} C$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

① $l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$

$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

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



шарик сделает оборот,
когда его кинетическая
энергия в момент II будет $= 0$, и шарик
продолжит движение под действием силы
тяжести, тем самым сделает оборот

$E_I = E_{II}$

$$\frac{mv_{\text{min}}^2}{2} = mgh$$

$v_{\text{min}} = \sqrt{2gh}$ H будет равно $2l$

$$v_{\text{min}} = \sqrt{4gl}$$

$$v_{\text{min}} = 2\sqrt{ge} = 2 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,5} = 2\sqrt{5} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

т.е. если скорость v_{min} будет выше, то шарик
всегда будет делать полный оборот.

Ответ: $v_{\text{min}} = 2\sqrt{5} \text{ м/с}$

2) Дано:

$$m_1 = m$$

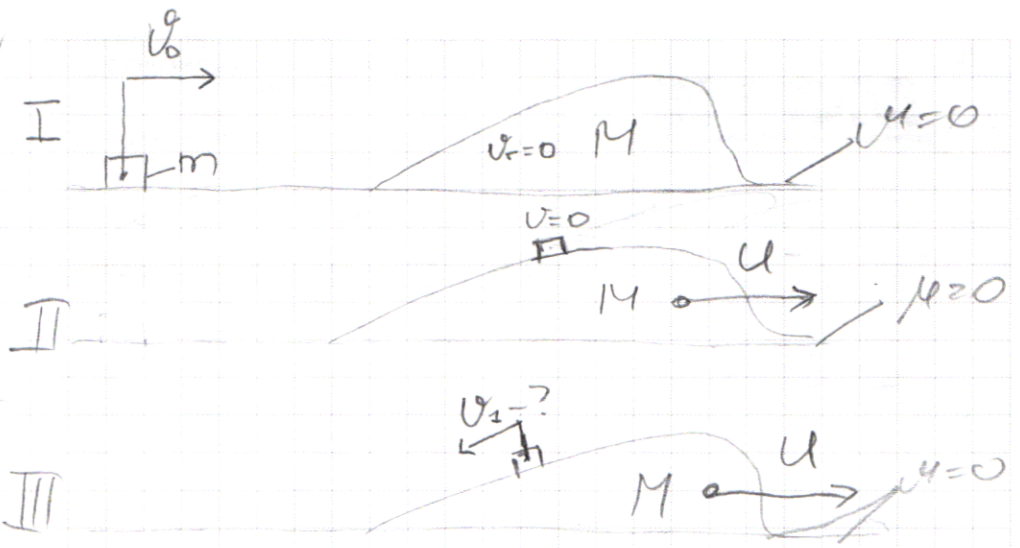
$$M = 3m$$

$$v_0$$

$$\mu = 0$$

1) $H_{min} - ?$

2) $v_1 - ?$



1) горка массой M незакреплена, значит шайба в момент соед. передаст горке часть импульса и горка ($\mu=0$) спокойно поедет с какой-то скоростью u . Шайба не перезаливается с горки, значит она остановится и поедет назад с какой-то скоростью v_1

$$ЗСИ: m v_0 = (m + M) u$$

$$m v_0 = 4m u$$

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

$$ЗСЭ: \frac{m v_0^2}{2} = m g H_{min} + \frac{M u^2}{2}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g H_{min} + \frac{3m}{2} \cdot \frac{v_0^2}{16}$$

$$g H_{min} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{3 v_0^2}{32}$$

$$g H_{min} = \frac{13}{32} v_0^2 \Rightarrow H_{min} = \frac{13 v_0^2}{32 g}$$

Шайба потеряла часть энергии, отдав ее горке \Rightarrow что ее скорость будет = $E_{K1} = E_{K0} - E_{K2}$

~~$$\begin{aligned} v_1 &= v_0 + u \\ v_1 &= v_0 - \frac{v_0}{4} = \frac{3}{4} v_0 \end{aligned}$$~~

$$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} - m g H_{min}$$

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2 g H_{min}}$$

Ответ: $H_{min} = \frac{13 v_0^2}{32 g}$; $v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2 g H_{min}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

③ Дано:

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

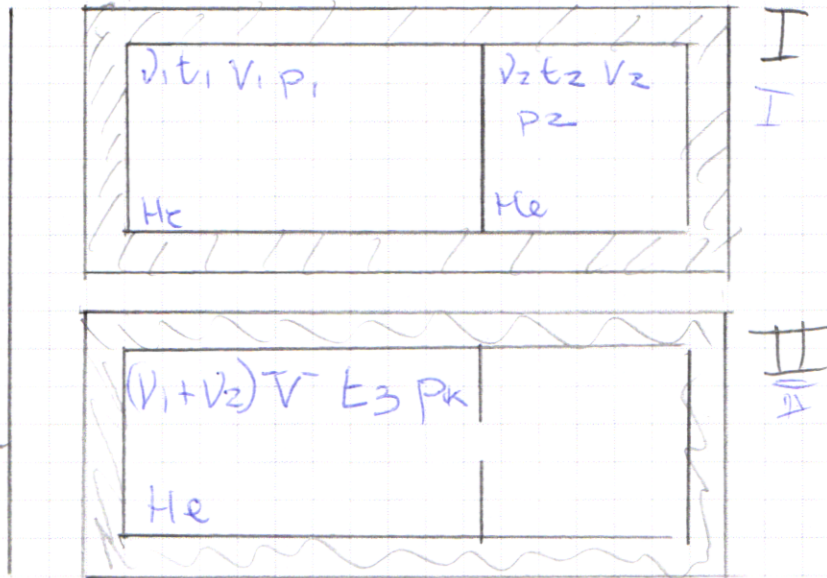
$$t_1 = 27^\circ \text{C}$$

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

$$\nu_1 = 0,2 \text{ моля}$$

$$\nu_2 = 0,3 \text{ моля}$$

- 1) $t_3 = ?$
- 2) $p_k = ?$



$$t_1 = 27^\circ \text{C} \quad T_1 = 300 \text{ K}$$

$$t_2 = 7^\circ \text{C} \quad T_2 = 280 \text{ K}$$

1) Сосуд герметизирован $\Rightarrow Q = 0$
и $A = 0$, значит $\Delta U = 0$.

и энергия сохраняется $\Rightarrow U = \text{const}$

В начале полная энергия была

$$U_1 + U_2$$

В конце стала U_3

Гелий одноатомный газ: $\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T_3$

2) По уравнению Менделеева-Клапейрона можно найти конечное давление не находя начальные

$$T_3 = \frac{(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{(\nu_1 + \nu_2)} = \frac{0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280}{0,5} = 288 \text{ K}$$

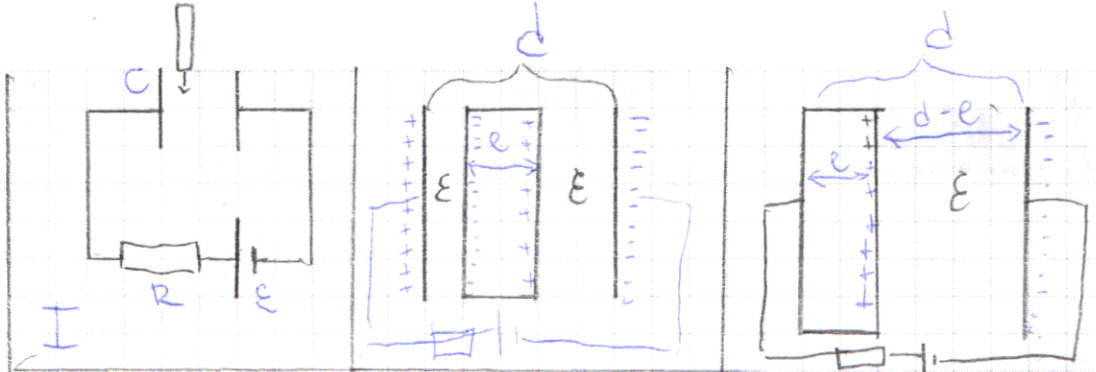
$$T_3 = 288 \text{ K} \Rightarrow t = 15^\circ \text{C}$$

$$p_k V = (\nu_1 + \nu_2) R T_3$$

$$p_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_3}{V} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 288}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 144 \cdot 10^3 \text{ Па} = 144 \text{ кПа}$$

Ответ: $t_3 = 15^\circ \text{C}$; $p_k = 144 \text{ кПа}$

④ Дано:
 $C_0 \quad \epsilon = 1$
 $\epsilon \rightarrow \infty$
 $l = \frac{d}{4}$
 d



Эквивалент

① $C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \Rightarrow$
 $C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

1) $C_1 - ?$
 2) $q_R - ?$

Когда пластину введут емкость конденсатора увеличится значит уменьшится расстояние между пластинами
 $d_{конез} = d - l = d - \frac{d}{4} = \frac{3}{4}d$

следовательно $C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d_{конез}} \Rightarrow C_1 = \frac{4\epsilon_0 S}{3d}$

② чтобы найти заряд прошедший через резистор надо найти на сколько увеличится емкость конденсатора после введения пластины

$$C = C_1 - C_0 = \frac{4\epsilon_0 S}{3d} - \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

Заряд через резистор равен:

$$q = It = \frac{\mathcal{E}}{R} t \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{qR}{t}$$

$$\mathcal{E} = \frac{q}{C} \quad qR = \frac{q}{C} \quad t = RC$$

$$q = It = IRC = \frac{\mathcal{E}}{R} RC = \mathcal{E}C$$

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

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

напряжение на конденсаторе равно $\mathcal{E}C$, т.к. в момент $I=0$
 $U = \mathcal{E}$

Ответ 1) $C_1 = \frac{4}{3} \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{4}{3} C_0$; 2) $q_R = \frac{\mathcal{E} C_0}{4}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

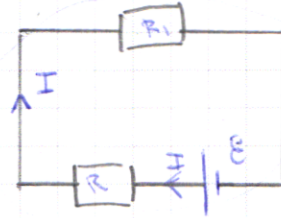
5) Дано

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

- 1) I - ?
- 2) U_C - ?
- 3) Q - ?



1)



$I = \frac{\mathcal{E}}{R+R_1}$, если \mathcal{E} пренебречь,

то: $I = \frac{\mathcal{E}}{R_1}$

$R' = R + R_1 = R + 3R = 4R$

$I = \frac{\mathcal{E}}{4R}$

2) Конденсатор подключен к резистору R_1 параллельно, значит $U_{R_1} = U_C$

ток I идет $= I = \frac{\mathcal{E}}{4R}$

$U_{R_1} = I R_1$

$U_{R_1} = I \cdot 3R$

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

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

$Q = U I t = U I C \frac{U}{I}$

$Q = U^2 C$

$Q = \frac{9}{16} \mathcal{E} \cdot C$

Ответ: $I = \frac{\mathcal{E}}{4R}$; $U_C = \frac{3}{4}\mathcal{E}$

$Q = \frac{9}{16} \mathcal{E} \cdot C$

3) Q - ?

$Q = I^2 R' t = I^2 4R t$

Тепло будет выделяться только на резисторах

~~$Q = I^2 4R t$ $Q = I t$~~

~~$Q = I^2 4R \frac{q}{I}$ $q = \frac{\mathcal{E}}{4R} t$~~

после размыкания ключа конденсатор имеет заряд на резистор R_1

$Q = I^2 R_1 t = I^2 3R t$

$q = C U_C = C \frac{3}{4} \mathcal{E}$

$q = I t = \frac{U}{R} t$

$I t = C U_C$
 $t = \frac{C U_C}{I}$

~~$Q = I^2 R_1 t = I^2 3R C U_C$~~

$Q = 3 I R_1 C \cdot U_C = 3 U_C^2 C$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 6
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4

$$W = \frac{e e e^2}{2}$$

$$F = \frac{W}{d}$$

$$F = Q$$

$$q = e U$$

$$q = e E d$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$C_k = \frac{\epsilon_0 S}{d-k}$$

$$q = C E$$

$$q = I t$$

$$q = C E_0$$

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

$$q = e^+ E$$

$$q = I t = C E$$

$$t = \frac{C E}{I}$$

$$q = I t = C E$$

$$q = (C - C_0) E$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$$

$$E = I$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$d = X + \frac{d}{4}$$

$$X = \frac{1}{4}d - \frac{d}{4} = \frac{3}{4}d$$

$$d_k = d - d k$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{4d-d}{4}} = \frac{4 \epsilon_0 S}{3d}$$

Если пластины

$$C = C_k - C_0 = \frac{4 \epsilon_0 S}{3d} - \frac{3 \epsilon_0 S}{3d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{4d} - \text{уземление емкости}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$q = \frac{C U}{R}$$

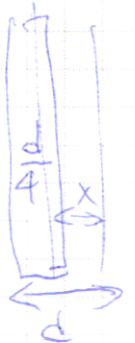
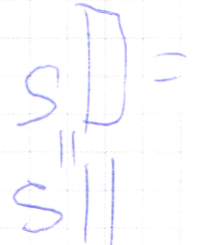
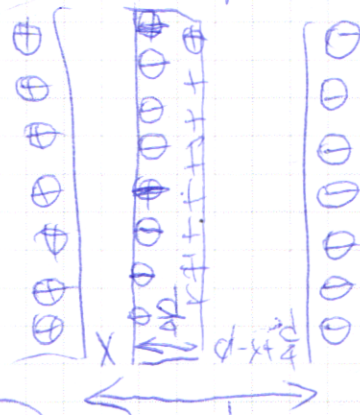
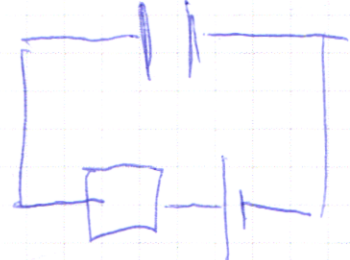
$$E = \frac{q R}{C}$$

$$\frac{q R}{C} = \frac{q}{C} t \quad t = R C$$

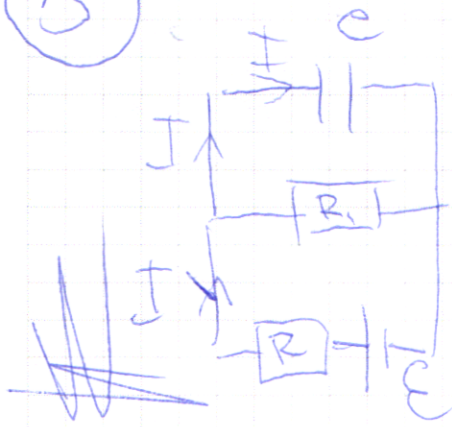
$$q = I t$$

$$q = \frac{U}{R} \cdot \frac{q}{C R} t$$

$$q = \frac{U}{R} C R$$



5



- R
 - R₁ = 3R
 - C
 - ε
- 1) I_{max}?
 - 2) U_C?
 - 3) Q?

1) $I = \frac{\epsilon}{R + R}$

R z = 0

R' = R + R

R' = R + 3R = 4R

$I = \frac{\epsilon}{4R}$

$Q = I^2 R' t$

$Q = \frac{\epsilon^2}{4R} t$

$Q = \frac{\epsilon^2}{4R} t$

$Q = \frac{\epsilon^2}{4R} t$

$Q = \frac{\epsilon^2}{4R} t$

$Q = I^2 R' t$

$Q = I^2 R' t = I^2 R_1 t = I^2 R_1 t$

$U_C = \frac{q}{C}$
 $q = CU$
 $U = \frac{q}{C}$
 $U = \frac{It}{C}$

$U_C = U_{R_1} \quad t \rightarrow \infty$

$U_{R_1} = I \cdot R_1$

$U_{R_1} = I \cdot 3R$

$U_{R_1} = \frac{\epsilon}{4R} \cdot 3R$
 $I = \frac{\epsilon}{4R}$

$U_{R_1} = \frac{3}{4} \epsilon$

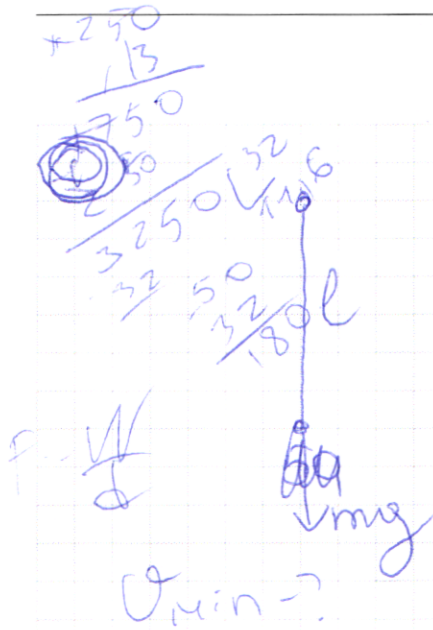
$q = It$
 $t = \frac{q}{I}$
 $I = \frac{q}{t}$
 $q = C \frac{3\epsilon}{4}$

$q = \frac{3}{4} \epsilon \cdot C$
 $I = \frac{4q}{3CR}$

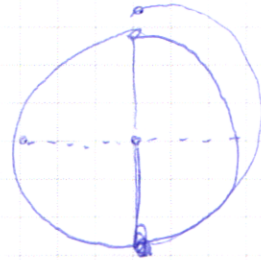
$q = I t$
 $q = \frac{\epsilon}{4R} \cdot t$

$\frac{\epsilon}{4R} t = \frac{3}{4} \epsilon$
 $t = 3RC$

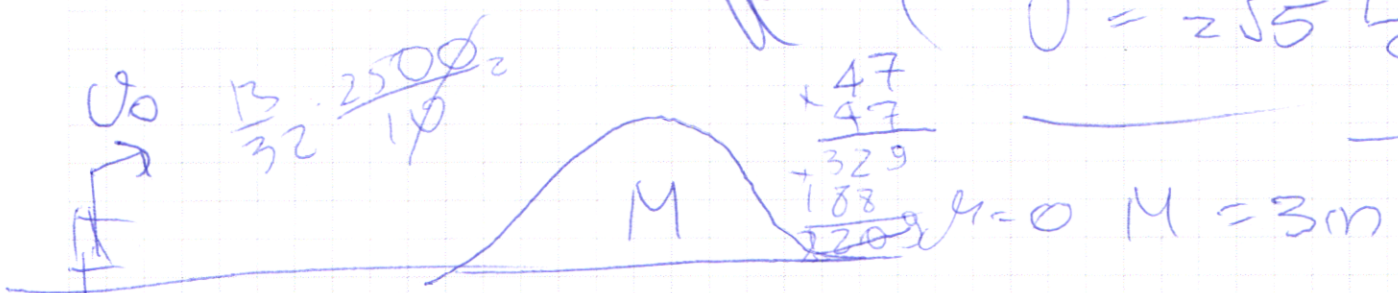
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$l = 1.8 \text{ м}$
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



$H = 1 \text{ м}$
 $\frac{mv^2}{2} = mgh$
 $v = \sqrt{2gh}$
 $E = mgh$
 $H = L$
 $v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1}$
 $v = 2\sqrt{5} \frac{\text{м}}{\text{с}}$



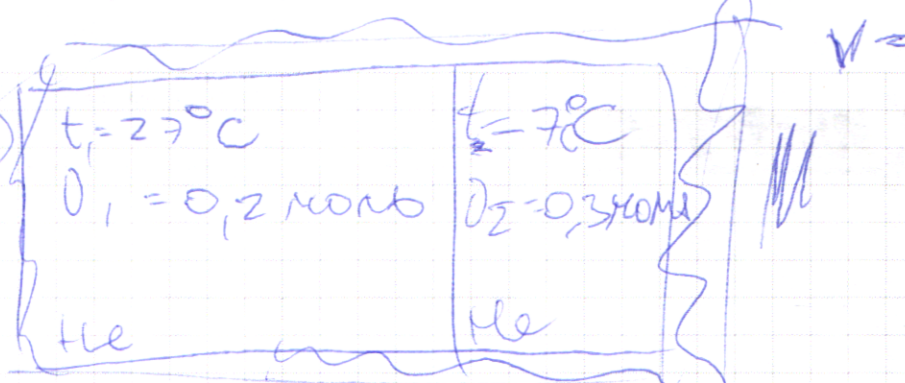
$H_{\min} = ?$ $v_k = ?$ $v_2 = \frac{m v_0}{4m}$

$300: \frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{3mv^2}{2}$
 $\frac{v_0^2}{2} = gH_{\min} + \frac{3}{2} \frac{v_0^2}{16}$
 $gH_{\min} = \frac{16v_0^2}{32} - \frac{3v_0^2}{32}$
 $gH_{\min} = \frac{13}{32} v_0^2$
 $H_{\min} = \frac{13}{32g} v_0^2$

$v_k^2 = \frac{v_0^2}{2} - gH_{\min}$
 $v_k = \sqrt{\frac{v_0^2}{2} - 2gH_{\min}}$

$v_{\text{rel}} = v_1 - v_2$
 $v_{\text{rel}} = v_0 - \frac{v_0}{4}$
 $v_{\text{rel}} = \frac{3}{4} v_0$

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
 He 1 моль



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

$\Delta U = 0$
 $U = \text{const}$
 $A = 0$
 $Q = 0$

$T_3 \rightarrow ?$ $t^\circ \text{C} \rightarrow ?$ $\frac{3}{10} \cdot \frac{6}{20}$

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

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

$$T_3 = \frac{(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{2(0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280)}{0,2 + 0,3}$$

$$2 \cdot \left(\frac{300}{5} + \frac{3 \cdot 280}{10} \right)$$

$$= (60 + 84)$$

$$2 \cdot 144 = 288 \text{ K } T_3$$

$$t_3^\circ \text{C} = 288 - 273 = 15^\circ \text{C}$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$P_1 V_1 + P_2 V_2 = P V$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{288}{300} =$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$V_1 + V_2 = V$$

$$P V = (\nu_1 + \nu_2) R T_3$$

$$P V_1 + P V_2 = \nu_1 R T_3 + \nu_2 R T_3$$

$$P V = (\nu_1 + \nu_2) R T_3$$

$$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_3}{V}$$

$$P = \frac{1}{2} \frac{8,31 \cdot 288}{8,31 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{144 \text{ кПа}}}$$