

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

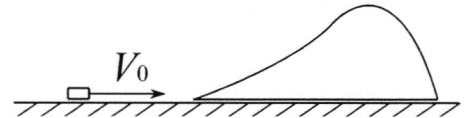
Шифр 1-008

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 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 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.

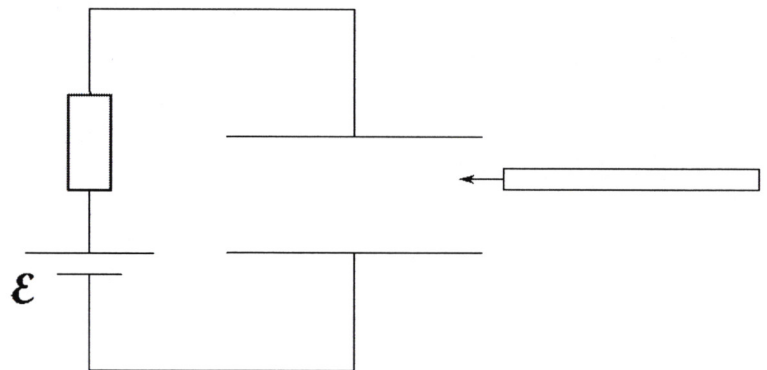


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

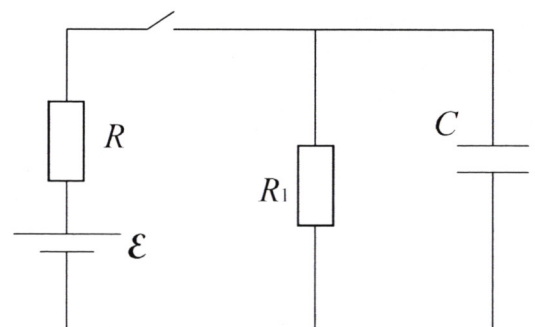
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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

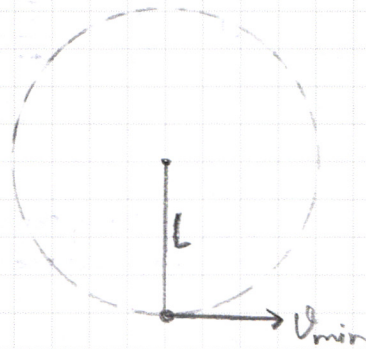
① Дано:

$$L = 18 \text{ см} = 0,18 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$n = 1 \text{ оборот}$$

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



Решение:

Совершив 1 оборот по окружности радиуса  $L$ , шарик пройдет расстояние  $S$ , равное  $2\pi L$  ( $S = 2\pi L$ ).

Период, за который шарик совершит оборот:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$v_{\text{min}} = \frac{S}{T} = \frac{2\pi L}{2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}} = \sqrt{Lg} = \sqrt{1,8} \text{ м/с}$$

Ответ:  $\sqrt{1,8} \text{ м/с}$

③ Дано:

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

$$t_1 = 127^\circ\text{C}, T_1 = 400 \text{ К}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$t_2 = 7^\circ\text{C}, T_2 = 280 \text{ К}$$

$$V_2 = 0,4 \text{ моль}$$

Решение:

$$m = MV, m_1 = 2 \cdot 0,1 = 0,22$$

$$m_2 = 2 \cdot 0,4 = 0,82$$

$Q_1 = m_1 c (t_1 - \Delta t)$  - количество теплоты, которое выделится при охлаждении

$Q_2 = m_2 c (t_2 - \Delta t)$  - количество теплоты, которое выделится при нагревании

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1 c_1 (t_1 - \Delta t) = m_2 c (\Delta t - t_2)$$

$$m_1 t_1 - m_1 \Delta t = m_2 \Delta t - m_2 t_2$$

$$\Delta t (m_1 + m_2) = m_1 t_1 + m_2 t_2$$

$$1) \Delta t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{0,2 \cdot 127 + 0,8 \cdot 7}{0,2 + 0,8} = 31^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 304 \text{ К}$$

По закону термодинамики:

$$pV = \nu R \Delta T \Rightarrow p = \frac{\nu R \Delta T}{V}; \nu = \nu_1 + \nu_2 = 0,5 \text{ моль}$$

1)  $\Delta t = ?$

2)  $p = ?$

$$\mu(\text{He}) = 2 \text{ г/моль}$$



$$2) p = \frac{0,5 \cdot 8,37 \cdot 304}{8,37 \cdot 10^{-3}} = 152000 \text{ Па} - \text{конечное давление в сосуде}$$

Ответ:  $\Delta t = 31^\circ$ ,  $p = 152000 \text{ Па}$

4) Дано:

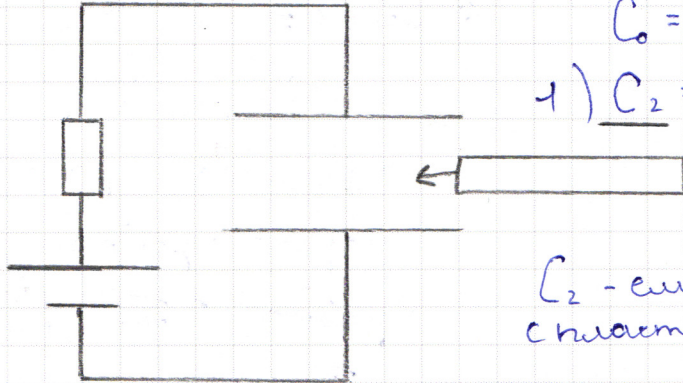
$$C_0, \mathcal{E}$$

$$S_0 = S_2$$

$$d_2 = \frac{1}{3} d_0$$

1)  $C_2 = ?$

2)  $q = ?$



Решение:

$$C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S_0}{d_0}$$

$$1) C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S_0}{d_0 - d_2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S_0}{\frac{2}{3} d_0} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\epsilon \epsilon_0 S_0}{d_0} = \frac{3}{2} C_0$$

$C_2$  - емкость конденсатора с диэлектриком

~~$$q = C_2 U; U = \mathcal{E}$$~~

~~$$q = \frac{3}{2} C_0 \mathcal{E} - \text{заряд который пройдет через резистор после начала введения пластины}$$~~

Ответ:  $\frac{3}{2} C_0, \frac{3}{2} C_0 \mathcal{E}$

$$q = \frac{1}{2} (C_2 + C_0) U; U = \mathcal{E}$$

$$2) q = \frac{C_0 + \frac{3}{2} C_0}{2} \cdot \mathcal{E} = \frac{5}{4} C_0 \mathcal{E} - \text{заряд который пройдет через резистор после начала введения пластины}$$

Ответ:  $\frac{3}{2} C_0, \frac{5}{4} C_0 \mathcal{E}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) Дано:

$C, \varepsilon, R$

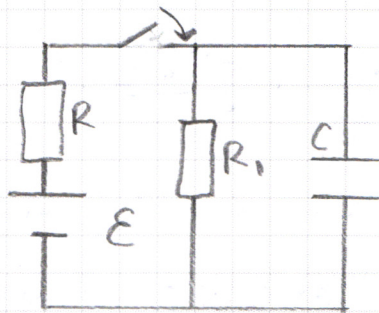
$R_1 = 4R$

1)  $I$  - ? при замык. ключе

2)  $U_c$  - ? при замыкн. ключе

3)  $Q$  - ? при размыкн. ключе

Решение:



при замыкании ключа:

$$R_{\text{общ}} = R + R_1 = 5R$$

1)  $I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{общ}}} = \frac{\varepsilon}{5R}$  - ток через источник

2)  $U_c = U_1 = I R_1 = 4IR = \frac{4\varepsilon R}{5R} = \frac{4}{5}\varepsilon$  - напряжение, установившееся на конденсаторе.

После размыкания ключа:

3)  $Q = \frac{CU_c}{2} = \frac{C \left(\frac{4}{5}\varepsilon\right)^2}{2} = \frac{C \cdot \frac{16}{25}\varepsilon^2}{2} = \frac{16CE^2}{50}$

Ответ:  $I = \frac{\varepsilon}{5R}, U_c = \frac{4}{5}\varepsilon, Q = \frac{16CE^2}{50}$

2) Дано:

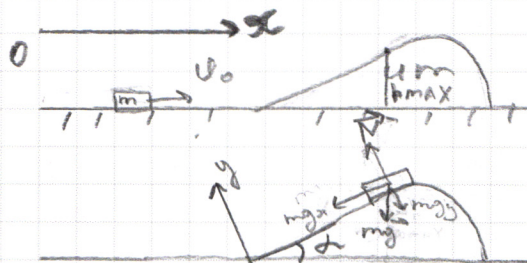
$m, v_0,$

$\mu m, N=0$

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

2)  $v_1$  - ?

Решение:



По второму закону Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$$

ox:  $ma = mg \sin \alpha$

oy:  $N = mg \cos \alpha$

$$a = g \sin \alpha$$

$$a = \frac{v_0 - v_1}{t} = \frac{v_0}{t} \Rightarrow t = \frac{v_0}{a}$$

$$h_{\text{max}} = v_0 t - \frac{a t^2}{2}$$

$$h_{\text{max}} = v_0 t - \frac{v_0 t}{2} = \frac{1}{2} v_0 t = \frac{v_0^2}{2g \sin \alpha}$$

обозначим склон горки  $\alpha$



По закону сохранения импульса:

$$m\vec{v}_0 + 4m\vec{v} = 0 = 5m\vec{v}_0 \sin \alpha$$

$$\text{ооо: } m v_0 + 4m v = 5m v \sin \alpha$$

$$m v_0 = 5m v \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{5}$$

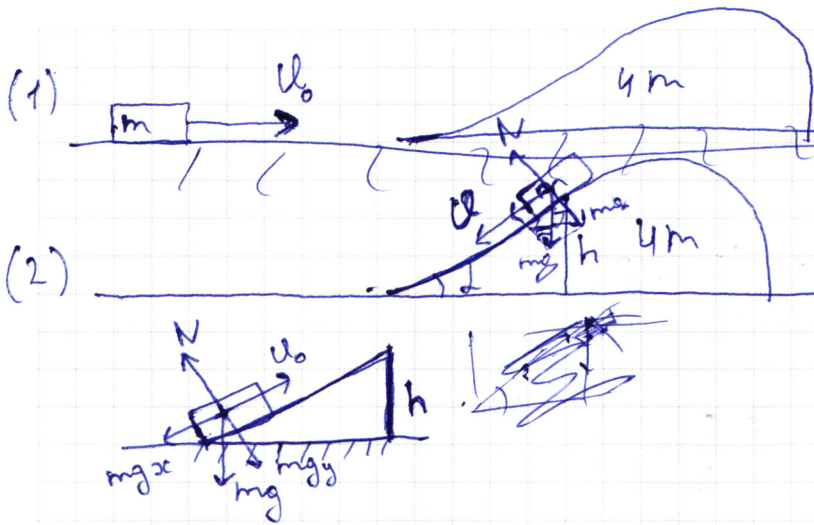
$$1) \underline{h_{\max}} = \frac{v_0^2}{2g \sin \alpha} = \frac{v_0^2}{2g \cdot \frac{1}{5}} = \frac{5v_0^2}{2g} = 2,5 \frac{v_0^2}{g}$$

2) Достигнув максимальной высоты, тело (монета) останавливается, следовательно скорость, с которой монета съезжает с горки равна нулю,  $\underline{v_1 = 0}$ .

$$\text{Ответ: } 1) 2,5 \frac{v_0^2}{g}; \quad 2) v_1 = 0$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$ma = mg \sin \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$a = g \sin \alpha \Rightarrow \frac{a}{g} = \sin \alpha$$

~~$$ma = mg \sin \alpha$$~~

$$L = h \sin \alpha = \frac{a}{g} h$$

$$h = \frac{gL}{a}$$

$$v_0 t - \frac{a t^2}{2} = h$$

$$a = \frac{v_0 - v_k}{t}, \quad a = \frac{v_0}{t} \Rightarrow t = \frac{v_0}{g \sin \alpha} \quad a = g \sin \alpha$$

$$v_0 t - \frac{v_0 t}{2} = h$$

$$v_0 \left( t - \frac{1}{2} t \right) = h$$

$$h = \frac{1}{2} v_0 t = \frac{v_0^2}{2g \sin \alpha}$$

$$m v_0 + 4m \cdot 0 = 5m v_0 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{5} \quad \sin \alpha = \sqrt{\frac{24}{25}}$$

$$m v_0 + 4m v' = 0 = m v \sin \alpha + 4m v'' = 0$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{5}$$

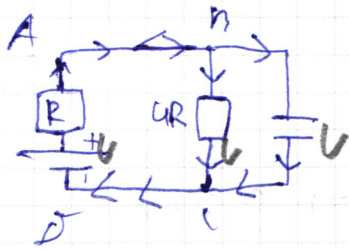
~~Корректировка~~  
~~...~~



5

$$E = I_1 R + R_2 I_2$$

$$E = I_1 R + 4R I_2 = R(I_1 + 4I_2)$$



$$ABCOA: E = I_1 R + 4I_2 R = R(I_1 + 4I_2)$$

$$R_{\text{од}} = \frac{4R^2}{5R} = \frac{4}{5}R$$

$$E = I R \Rightarrow I = \frac{E}{R_{\text{од}}} = \frac{5E}{4R}$$

$$I = I_1 + 4I_2$$

$$Q = \frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2}{2}$$

$$R_{\text{од}} = 5R \quad I = \frac{E}{R_{\text{од}}} = \frac{E}{5R}$$

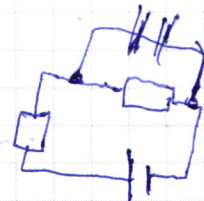
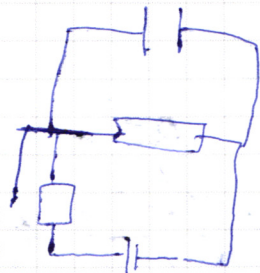
$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = I R_1 = I R$$

$$U_2 = I R_2 = 4I R$$

$$U = 5I R$$

$$U = \frac{5ER}{5R} = E$$





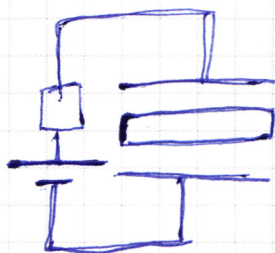
1) Дано:

$C_0, \epsilon$

$d_{\text{вн}} = \frac{1}{3} d_c$

$C = ?$

$q = ?$



Решение:

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

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_c - d_{\text{вн}}}$$

$$q = Q = C \mathcal{E} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2}{3} d} \mathcal{E} = \frac{3}{2} C \mathcal{E}$$

2) Дано:

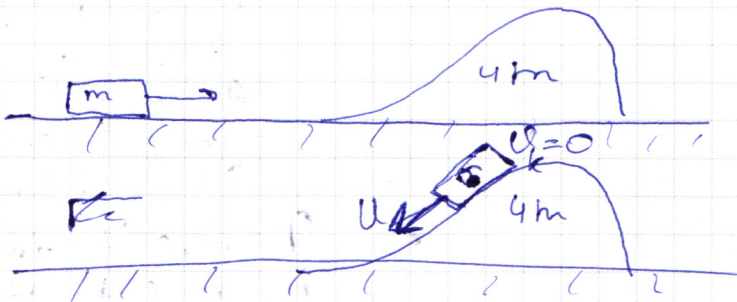
$m, v_0 =$

$4m, v_0 = 0$

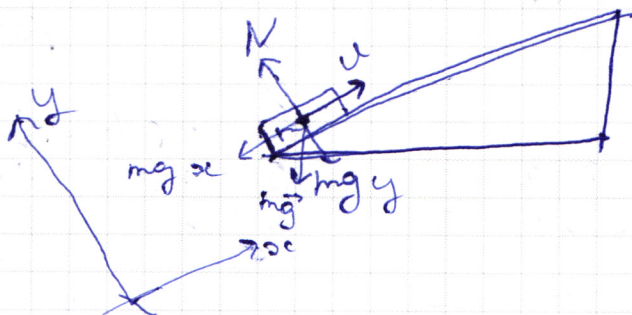
$h_{\text{max}}$

$v_3 = ?$

Решение:



~~мгновенно~~



~~$m \vec{a} = m \vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$~~   
 ~~$ax = ma = F$~~   
 ~~$ay:$~~

$$0.1 \mathcal{E} = \frac{v}{g \cdot 1.5 + 1.5 \cdot 2} = \frac{v}{0.2 \cdot 1.27 + 0.8 \cdot 2} = \frac{v}{m_1 + m_2} = \frac{v}{m_1 + m_2} = (m_1 + m_2) \Delta t$$

$$m_1 + m_2 - m_2 \Delta t = m_1 \Delta t - m_2 \Delta t$$

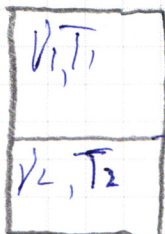


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

273+31  
304

③ Дано:

$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$   
 $T_1 = 127^\circ\text{C}; T_2 = 400\text{K}$   
 $V_1 = 0,4 \text{ моль}$   
 $t_2 = 7^\circ\text{C}; T_2 = 280\text{K}$   
 $V_2 = 0,4 \text{ моль}$



Решение:

$$Q_1 = V_1 c (T_1 - \Delta T)$$

$$Q_2 = V_2 c (T_2 + \Delta T)$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 (T_1 - \Delta T) = V_2 (T_2 + \Delta T)$$

$$V_1 T_1 - V_1 \Delta T = V_2 T_2 + V_2 \Delta T$$

$$\Delta T (V_1 + V_2) = V_1 T_1 - V_2 T_2$$

$$\Delta T = \frac{V_1 T_1 - V_2 T_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,4 \cdot 400 - 0,4 \cdot 280}{0,4 + 0,4} =$$

$\Delta T = ?$

$p = ?$

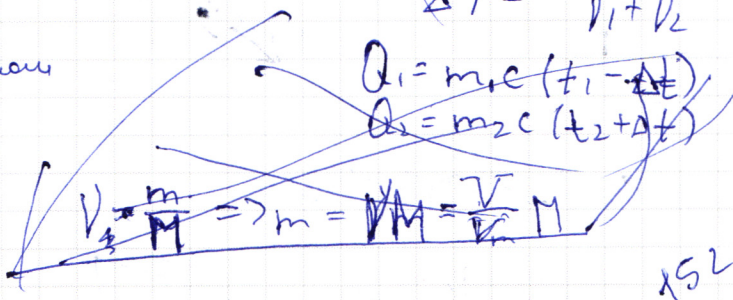
$M$  (масса) =  $2 \text{ г/моль}$

~~$$Q_1 = m_1 c (t_1 - \Delta t)$$

$$Q_2 = m_2 c (t_2 + \Delta t)$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Delta t = \frac{m_1 t_1 - m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{40 - 112}{152} = \frac{72}{152} = \frac{9}{19} \text{ К}$$~~



~~Решение:~~

$$m_1 = M V_1 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ г}$$

$$m_2 = M V_2 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ г}$$

$$Q_1 = m_1 c (t_1 - \Delta t)$$

$$Q_2 = m_2 c (t_2 + \Delta t)$$

$$Q_1 = Q_2$$

$20+32$   
 $273+19,8$   
 $293 \quad 292,8$   
 $100+40+6+9,4$   
 $146,4 \cdot 10^3$

$$T = 292,8 \text{ K}$$

$$pV = \nu R T$$

$$p = \frac{\nu R T}{V} = \frac{(V_1 + V_2) R \Delta T}{V}$$

$$= \frac{0,8 \cdot 8,31 \cdot 292,8}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 146400 \text{ Па}$$

$$m_1 t_1 - m_1 \Delta t = m_2 t_2 + \Delta t m_2$$

$$\Delta t (m_1 + m_2) = m_1 t_1 - m_2 t_2$$

$$\Delta t = \frac{m_1 t_1 - m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{0,8 \cdot 127 - 0,8 \cdot 7}{0,8 + 0,8} =$$

$$= \frac{25,4 - 5,6}{1} = 19,8^\circ$$

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{p_1 V_1}{\nu_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{\nu_2 T_2} \Leftrightarrow T_1 = \frac{p_2 V_2 \cdot \nu_1 T_1}{p_1 \nu_1 \cdot \nu_2 T_2} = \left| T_1 = \frac{5 p_2 V_2}{14 p_1} \right.$$

$$= \frac{p_2 V_2 \cdot 0,4 \cdot 400}{p_1 \cdot 0,4 \cdot 280} = \frac{40 p_2 V_2}{28 p_1} = \frac{10 p_2 V_2}{7 p_1} = \frac{5 p_2 V_2}{14 p_1}$$
~~$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Leftrightarrow \frac{p_1 V_1}{\nu_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{\nu_2 T_2}$$~~



① Дано:

$L = 0,18 \text{ м} = 18 \text{ см}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

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

$N = 1 \text{ одержан}$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

$S = 2\pi L$

$v = \frac{S}{T} = \sqrt{lg} = \sqrt{1,8 \cdot 10} = \sqrt{0,2 \cdot 9} = 3\sqrt{\frac{2}{10}}$

Решение:

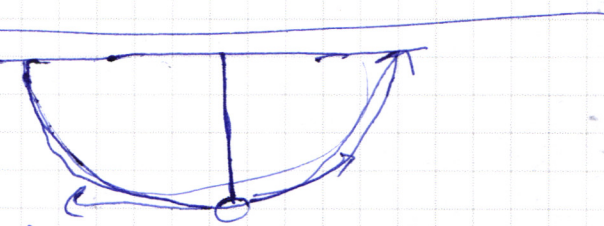
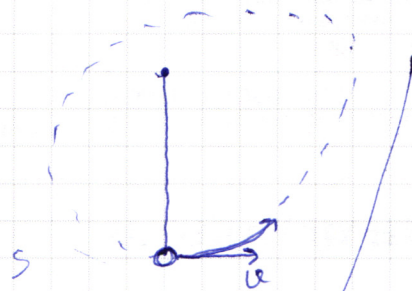
$v_{\text{min}} = \omega L$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

$S = 2\pi L$

$v_{\text{min}} = \frac{S}{T} = \frac{2\pi L}{2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}}$

$= \frac{Lg}{L} = \sqrt{lg} = 51,8$



$\frac{1}{2} C_0$   
 $\frac{1}{2} C_2$

$\frac{C_0 + C_2}{2} = \frac{C_0 + \frac{3}{2} C_0}{2} = \frac{5}{4} C_0 E$

② Дано:

$m, v_0$

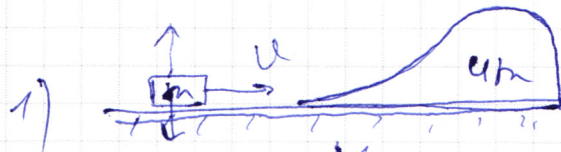
$u \text{ м.}$

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

$v_1 = ?$

$\gamma = 0$

Решение:

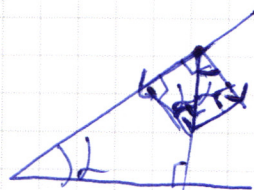
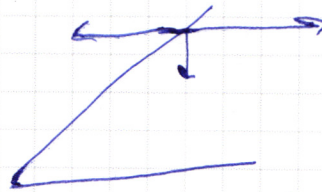


По закону сохранения энергии:  
 $mv_0^2 = 5mv_1^2$   
 $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$



$h = L \sin \alpha$   
 $h = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$

3CU





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) Дано:

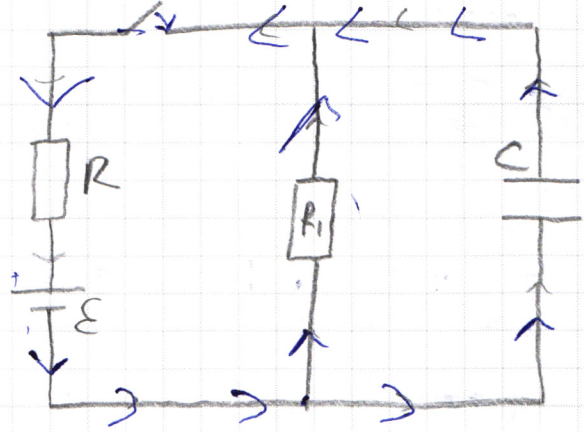
$$R_1 = 4R$$

$C, \varepsilon, R$

$I - ?$

$U_C - ?$

$Q - ?$



Решение,

~~(1)  $\mathcal{E} = I_1 R + I_2 R_1$~~

~~(2)  $U_C = \mathcal{E}$~~

~~$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$~~

~~$\mathcal{E} = I R + I C$~~