

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

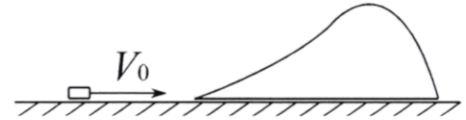
Шифр 5-024

(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.

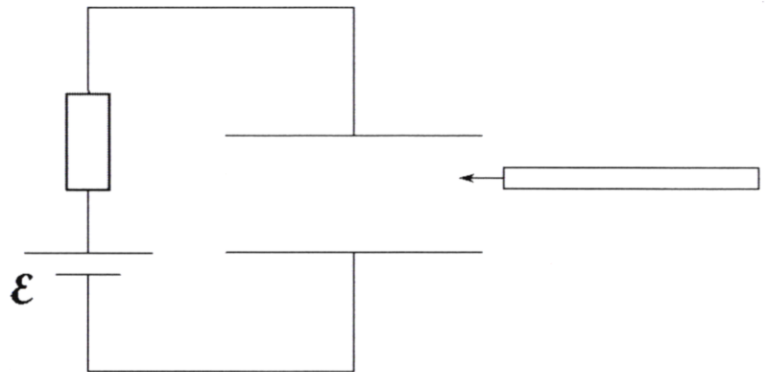


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

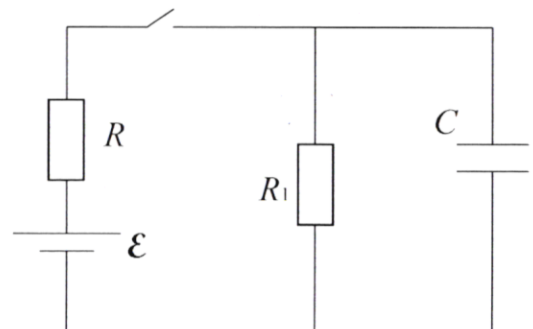
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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

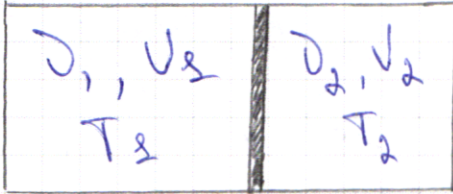


- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$n=3$



$T$  - конечная температура

$$1) \Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$$

$$i=3$$

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

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

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

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} =$$

$$= \frac{0,1 (127 + 273) + 0,4 (7 + 273)}{0,1 + 0,4} = 320 - 273 = 47(^{\circ}\text{C})$$

Ответ:  $47^{\circ}\text{C}$

$$2) pV = \nu RT, \quad T = 320 \text{ K} = 47^{\circ}\text{C} - \text{конечная температура}$$

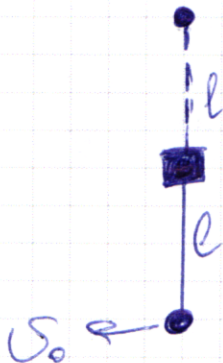
$$\nu = \nu_1 + \nu_2$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) RT}{V} = \frac{(0,4 + 0,1) \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 320 \text{ K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} =$$

$$= 160 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Ответ:  $160 \text{ кПа}$

$n=1$



$$\frac{m v_0^2}{2} = mg \cdot 2l + \frac{m v_1^2}{2}$$

$$m a_y = mg, \quad a_y = \frac{v_1^2}{l} \Rightarrow v_1^2 = gl$$

$$v_0^2 = 4gl + gl = 5gl$$

$$v_0 = \sqrt{5gl} = 30 \text{ м/с}$$

Ответ:  $30 \text{ м/с}$

$N=2$  1) Пусть  $v_x$  - скорость горки ~~горки~~  
 По закону сохранения импульса  $mv_0 = 4mv_x$

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

Закон сохранения энергии:  $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{4mv_x^2}{2}$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{4m v_0^2}{2 \cdot 16}$$

$$v_0^2 = 2gh + \frac{v_0^2}{4}$$

$$h = \frac{3v_0^2}{8g}$$

$$2) \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{4mv_2^2}{2}$$

$$mv_0 = mv_1 - 4mv_2$$

$v_2$  - скорость горки  
 $v_1$  - скорость монеты, когда она была выше

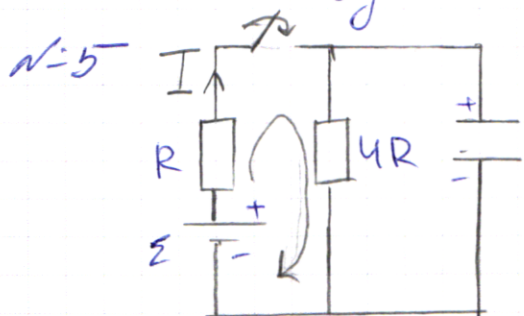
$$\Rightarrow v_2 = \frac{v_1 - v_0}{4}$$

$$4v_0^2 = 4v_1^2 + v_1^2 - 2v_1v_0 + v_0^2$$

$$5v_1^2 - 2v_1v_0 - 3v_0^2 = 0$$

$$v_1 = \frac{2v_0 \pm \sqrt{64v_0^2}}{10} \Rightarrow v_1 = v_0$$

Ответ: 1)  $\frac{3v_0^2}{8g}$  2)  $v_1 = v_0$



$$1) 4RI + IR - \varepsilon = 0$$

$$5IR = \varepsilon$$

$$I = \frac{\varepsilon}{5R}$$

Ответ:  $I = \frac{\varepsilon}{5R}$

$$2) U - I_1 \cdot 4R = 0$$

$$I_1 \cdot 4R + IR - \varepsilon = 0$$

$$U = I_1 \cdot 4R = \frac{\varepsilon}{5R} \cdot 4R = \frac{4\varepsilon}{5}$$

Ответ:  $\frac{4\varepsilon}{5}$

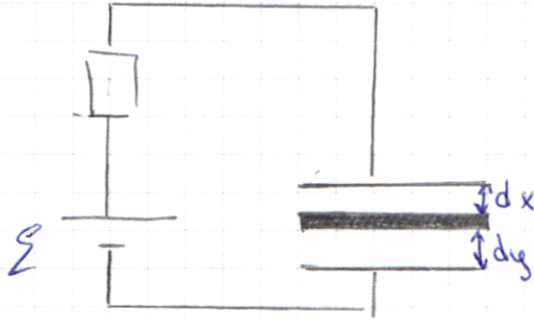
$$3) Q = W_k, W_k = \frac{CU^2}{2}$$

$$Q = \frac{CU^2}{2} = \frac{16C\varepsilon^2}{25 \cdot 2} = \frac{8C\varepsilon^2}{25}$$

Ответ:  $\frac{8C\varepsilon^2}{25}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$n=4$



$$1) C_0 = \frac{\Sigma \epsilon_0 S}{d}$$

$C$  - емкость конденсатора с пластинами

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_x} + \frac{1}{C_y}$$

$$C_x = \frac{\Sigma \epsilon_0 S}{d_x}$$

$$C_y = \frac{\Sigma \epsilon_0 S}{d_y}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{d_x}{\Sigma \epsilon_0 S} + \frac{d_y}{\Sigma \epsilon_0 S} = \frac{d_x + d_y}{\Sigma \epsilon_0 S}$$

$$d_x + d_y = d - \frac{d}{3} = \frac{2}{3} d$$

$$C = \frac{\Sigma \epsilon_0 S}{d_x + d_y} = \frac{3}{2} \frac{\Sigma \epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0$$

Ответ:  $\frac{3}{2} C_0$

$$2) \Delta q = q_0 - q_1$$

$$q_0 = C_0 U_0 = C_0 \mathcal{E}$$

$q_1$  - заряд, который установился после введения пластины

$E_1$  - напряженность участка шириной  $d_x$

$E_2$  - напряженность участка шириной  $d_y$

$$E_1 = \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 d_x} + \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 \frac{d}{3}} - \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 d_y}$$

$$E_2 = \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 d_x} - \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 \frac{d}{3}} - \frac{q_1}{\Sigma \epsilon_0 d_y}$$

$$E_1 = \frac{U_1}{dx}$$

$$E_2 = \frac{U_2}{dy}$$

$U$  - усреднённое напряжение

$U = U_1 + U_2 - U_3$       $U_3$  - напряжение пластины

$$U = E_1 dx + E_2 dy - E_3 \frac{d}{3} =$$

$$= \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} + \frac{3q_1}{\epsilon \epsilon_0} - \frac{q_1 dx}{\epsilon \epsilon_0 dy} + \frac{q_1 dy}{\epsilon \epsilon_0 dx} - \frac{3q_1}{\epsilon \epsilon_0} - \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} -$$

$$- \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} \frac{d}{3} = \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} \left( \frac{dy}{dx} - \frac{dx}{dy} \right) - \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} =$$

$$= \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0} \left( \frac{dy^2 - dx^2 - dx dy}{dx dy} \right)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

5-024

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

$$m a = T - m g$$

$$\frac{m v_0^2}{l} = T - m g$$

$$T = \frac{m v_0^2}{l} + m g$$

$$\frac{m v_1^2}{l} = T + m g = \frac{m v_0^2}{l} + 2 m g$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = 2 m g l + \frac{m v_0^2 + 2 m g l}{2}$$

$$m v_0^2 + 4 m g l + \frac{m v_0^2 + 2 m g l}{2}$$

$$U_3 = E_3 \frac{d}{3} = \frac{q_1}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$U =$$

$$v^2 = 5 g l$$

$$m v^2 = 5 m g l$$

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{4 m g l + m g l}{2}$$

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

$$m v$$

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

$$m v_1^2 = m g l$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = 2 m g l + \frac{m g l}{2}$$

$$m v_0^2 = 4 m g l + m g l$$

$$v_0^2 = 5 g l$$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{array}{r} 127 \\ + 273 \\ \hline 400 \end{array}$$

120,0

$$40 + 0,5 \cdot 320 = \frac{40 + 120}{0,5} = \frac{160}{0,5} = \frac{1600}{5}$$

$$\begin{array}{r} 1600 \overline{) 5} \\ - 15 \phantom{0} \\ \hline 10 \phantom{0} \\ - 10 \phantom{0} \\ \hline 0 \end{array}$$

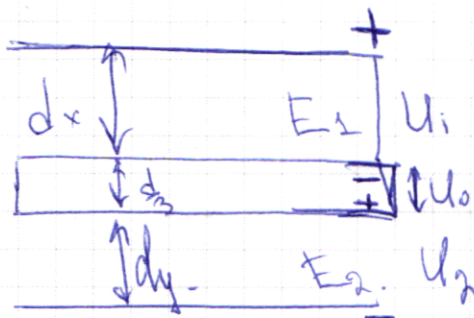
$$\begin{array}{r} 320 \\ - 273 \\ \hline 47 \end{array}$$

$$0,5 \cdot 320 = \frac{1}{2} \cdot 320 = 160$$

$$\frac{2 \cdot 5 \cdot 9 \cdot 2}{2^2 \cdot 5^2} = \frac{2 \cdot 3}{15} = \frac{6}{15}$$

$$\begin{array}{r} 60 \overline{) 13} \\ - 52 \phantom{0} \\ \hline 8 \phantom{0} \\ + 13 \phantom{0} \\ \hline 52 \phantom{0} \\ - 52 \phantom{0} \\ \hline 0 \end{array}$$

$q_0 = C U$



$$U' = \int E_1 dz + \int E_2 dx - \int E_3 dy$$

$$E_2 = \frac{q}{\epsilon_0 dx} - \frac{q}{\epsilon_0 dz} - \frac{q}{\epsilon_0 dy}$$

~~$U' = \dots$~~

$U$

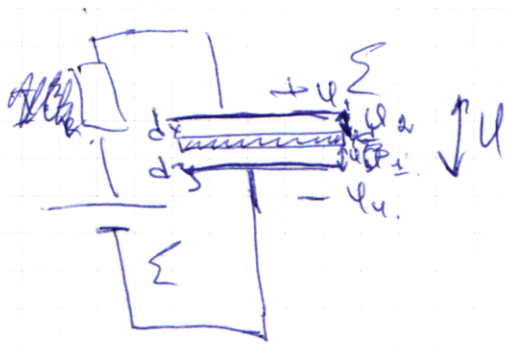
$$E_1 = \frac{q}{\epsilon_0 dx} U_{1,2}$$

$$E_2 = U_2 dy$$

$$\sum -U + IR = 0$$

$$\sum U = IR$$

$$U' = U_2 + U_1 + U_3$$



$$q_1 = C \Sigma$$

$$U = \frac{E d}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$E_{\Sigma} = \frac{q}{\epsilon_0 d} + \frac{q}{\epsilon_0 \frac{d}{3}} - \frac{q}{\epsilon_0 d}$$

$$E_{\Sigma} = \frac{q}{\epsilon_0 d} - \frac{q}{\epsilon_0 \frac{d}{3}} - \frac{q}{\epsilon_0 d}$$

$$U_2 = \phi_1 - \phi_2$$

$$U_1 = \phi_3 - \phi_4$$

$$U = \phi_1 - \phi_4 = U_2 + U_1 =$$

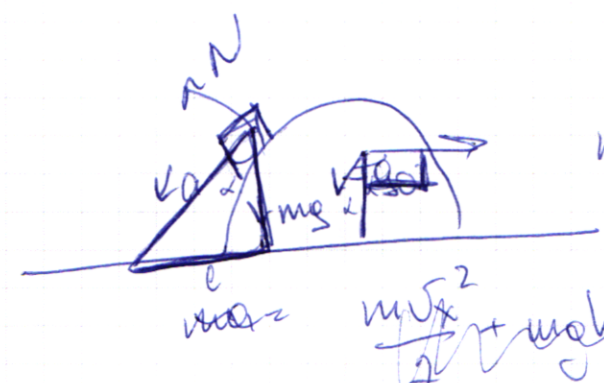
$$= \phi_1 - \phi_2 + \phi_3 - \phi_4 =$$

$$= U_2 + U_1 - U_0$$

$$E_{\Sigma} = \frac{U}{dx}$$

$$E_1 = \frac{U_1}{dx}$$

$$U = \frac{q}{\epsilon_0 \frac{d}{3}} d = \frac{3q}{\epsilon_0}$$



$$mg \cos \alpha = m a$$

$$\frac{h}{r} = m a$$

$$\frac{m v^2}{2} + m g h + \frac{m v^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$a = \frac{h_{max}}{r^2 + h_{max}^2}$$

$$a = 5 \text{ st}$$

med + r/r  
 $\frac{h}{r} = m a$   
 $m a = m g - m g \cos \alpha$

$$m v_0^2 = m v^2$$

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

ма  $\frac{m v_0^2}{2} = 2mg + \frac{m v_1^2}{2}$

$\frac{m v_0^2}{R} = T - mg$

$\frac{m v_1^2}{R} = mg + T$

$\frac{m}{R} (v_0^2 - v_1^2) = T - mg - mg + T = 2T - 2mg$

$\frac{m}{2} (v_0^2 - v_1^2) = 2mg l$

$\frac{m v_0^2}{2} = 2mg l - \frac{m v_0^2}{2}$

$\frac{v_0^2}{R} = a$

$mg = T - T = 2 \frac{v_0^2}{R} - 2mg$

$\frac{m v_0^2}{R} = mg - T$

$\frac{m v_1^2}{R} = mg$

$\sqrt{5gl} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10 \cdot 18}{5 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 9}} = 5 \cdot 2 \cdot 3 = 30 \text{ см}$

$\frac{m v_1^2}{R} = 2mg l + \frac{m v_0^2}{R}$

$\frac{m v_0^2}{2} = 2mg l + \frac{m v_0^2}{2}$

$$U_1 = \frac{E_1}{dx} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} + \frac{3q}{\epsilon \epsilon_0} - \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \frac{dy}{dx}$$

$$U_2 = \frac{E_2}{dy} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \frac{dx}{dy} - \frac{3q}{\epsilon \epsilon_0} - \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$U' = U_1 + U_2 = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \frac{dx}{dy} - \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \frac{dy}{dx} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \left( \frac{dx}{dy} - \frac{dy}{dx} \right)$$

$$\frac{dx^2 - dy^2}{dy dx} = \frac{(dx + dy)(dx - dy)}{dy dx} = \frac{2d}{3} \frac{(dx - dy)}{dy dx}$$

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \cdot U$$

$$q' = \frac{3\epsilon \epsilon_0 S}{2d} \cdot \frac{2d}{3} \frac{(dx - dy)}{dy dx} \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$\Delta q = C_0 \left( U - \frac{q d}{\epsilon \epsilon_0} \frac{(dx - dy)}{dy dx} \right)$$

mg

$$ma = mp - T$$

$$T = mg$$

$$T = ma + mg$$

$$mg = ma + mg$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{4m v_2^2}{2}$$

$$v_0^2 = v_1^2 + \frac{(v_1 - v_0)^2}{4}$$

$$m v_0 = m v_1 - 4m v_2$$

$$4v_0^2 - v_1^2 = v_1^2 + v_0^2 - 2v_1 v_0$$

$$4v_0^2 = v_1^2 + v_1^2 - 2v_1 v_0 + v_0^2$$

$$v_2 = \frac{v_1 - v_0}{4}$$

$$3m v_0^2 = 2v_1^2 + 2v_1 v_0$$

$$5v_1^2 - 2v_1 v_0 - 3v_0^2 = 0$$

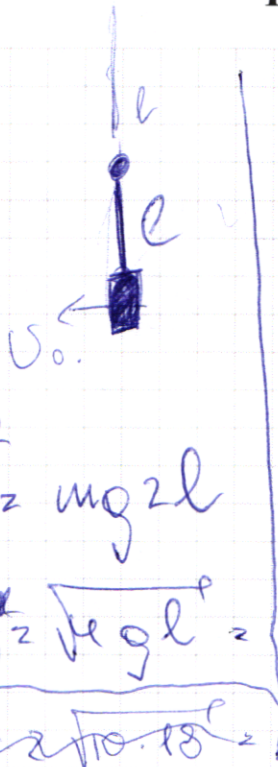
$$D = 4 + 4 \cdot 35 = 4 \cdot 16 = 2^2 \cdot 4^2$$

$$v_1 = \frac{2v_0 + 8v_0}{10} = v_0$$

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № \_\_\_\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

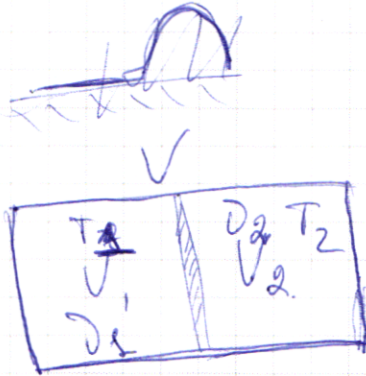
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{mv_0^2}{2} = mg2l$$

$$v_0^2 = 4gl$$

$$v_0 = 2\sqrt{gl}$$



$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

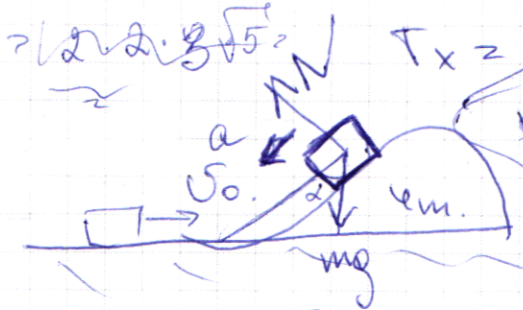
$$pV = (\nu_1 + \nu_2)RT$$

$$\Delta U = C_V \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$p_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{V_1}$$

$$p_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{V_2}$$



$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{4m v_x^2}{2}$$

$$m v_0^2 = 4m v_x^2$$

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

$$mg = mg \cos \alpha$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2)RT}{V}$$

$$\frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (T_x - T_2)$$

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

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

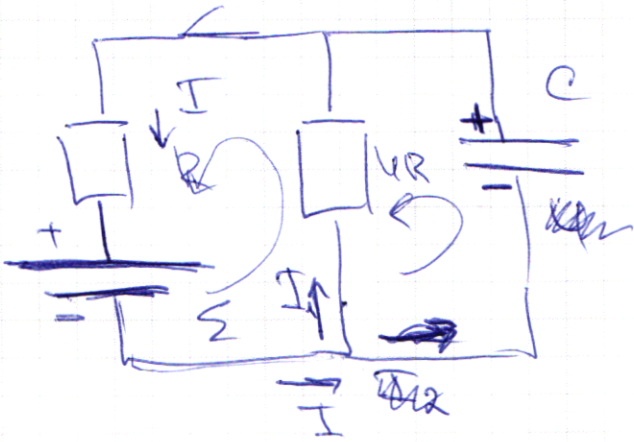
$$T_x = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$v_0^2 = 2gh + \frac{4m v_0^2}{16 \cdot 4}$$

$$2gh = \frac{4v_0^2}{4} - \frac{v_0^2}{4}$$

$$= \frac{3v_0^2}{4}$$

$$h = \frac{3v_0^2}{8g}$$



②  $U - I_1 4R = 0$   
 $I_1 - 4R + I' R - \varepsilon = 0$

$$I_1 = \frac{\varepsilon - I' R}{4R}$$

$$U = U - \varepsilon + I' R = 0$$

$$U = \varepsilon - I' R$$

$$= \varepsilon - \frac{\varepsilon}{5R} R = \frac{4}{5} \varepsilon$$

$$U - I_1 4R = 0$$

$$I_1 - 4R + I' R - \varepsilon = 0$$

$$5I' R = \varepsilon$$

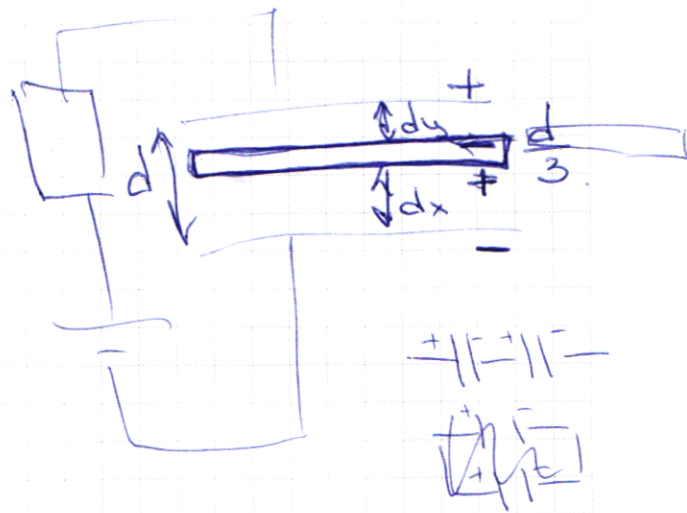
$$I' = \frac{\varepsilon}{5R}$$

①

$$Q + Q_1 = 0$$

$$Q_1 = -\frac{CU^2}{2}$$

$$Q = \frac{CU^2}{2} = \frac{C \cdot \left(\frac{4}{5}\varepsilon\right)^2}{2} = \frac{8}{25} C \varepsilon^2$$



$$\frac{1}{C} = \frac{dx}{\varepsilon \varepsilon_0 S} + \frac{dx_g}{\varepsilon \varepsilon_0 S} = \frac{dx + dx_g}{\varepsilon \varepsilon_0 S}$$

$$= \frac{2d}{3 \varepsilon \varepsilon_0 S} = \frac{2}{3 C_0}$$

$$C = \frac{3}{2} C_0$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

$$dx + dx_g = \frac{2d}{3}$$

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