

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

Шифр

13-005

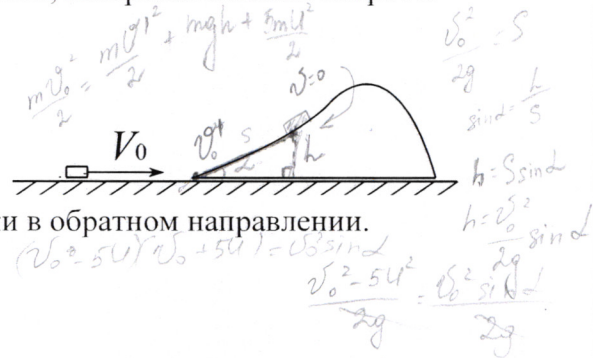
(заполняется секретарём)

## 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.

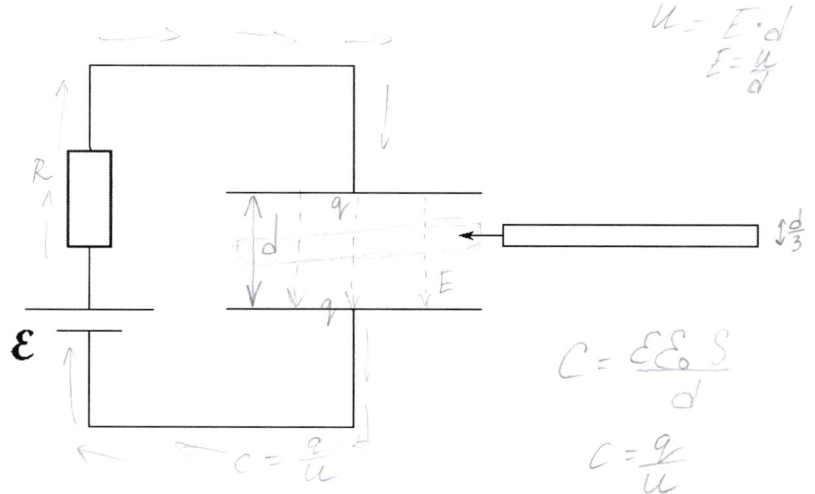
- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?



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

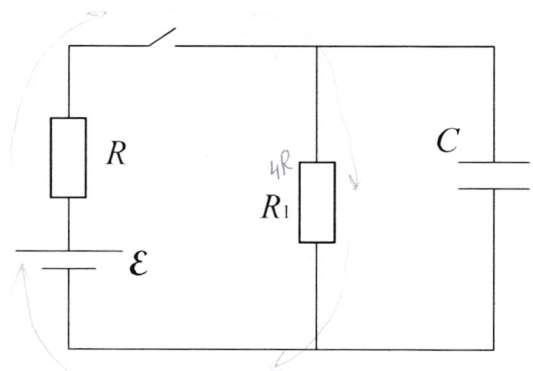
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?

Handwritten calculations for problem 5.3:

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

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{2 \cdot \frac{q}{U}} = \frac{q^2 \cdot U}{2q} = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{CU_k^2}{2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:  $R = l$   
 $l = 18 \text{ см}$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$   
 $v_{\min} = ?$

См:  $0,18 \text{ м}$

Решение: ②

(1) по закону сохранения энергии:

$$\frac{m v_{\min}^2}{2} = \frac{m v'^2}{2} + mgh$$

где  $h = 2R$

$$\frac{m v_{\min}^2}{2} = \frac{m v'^2}{2} + 2mgR \quad | :m$$

$$\frac{v_{\min}^2}{2} = \frac{v'^2}{2} + 2gR \quad | \cdot 2$$

$$v_{\min}^2 = v'^2 + 4gR$$

(2) Рассмотрим положение шарика ②:

На него действует  $m\vec{g}$  направленная вниз и центростремительное ускорение, направленное к центру. В этой точке натяжение нити равно 0.

по II закону Ньютона:

$$mg = ma_y$$

$$mg = m \frac{v'^2}{R}$$

$$g = \frac{v'^2}{R}$$

$$gR = v'^2$$

$$v'^2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,18 \text{ м} = 1,8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

подставим  $v'$  в выражение из пункта (1)

$$v_{\min}^2 = 1,8 + 4 \cdot 1,8 = 5 \cdot 1,8 = 9$$

$$v_{\min} = \sqrt{9} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N3

Дано:

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

$$T_1 = 124^\circ\text{C} + 273 = 400\text{K}$$

$$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$T_2 = 7^\circ\text{C} + 273 = 280\text{K}$$

$$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$$

Решение:

до:

$\nu_1$	$\nu_2$
температура	температура
$T_1$	$T_2$

после:

$V$
температура
$T_k$
$\nu_1 + \nu_2$

1) воспользуемся законом сохранения энергии: сумма внутренних энергий до процесса перегородки равна энергии после.

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} \nu_{\text{общ}} R T_{\text{кон}} \quad | : \frac{3}{2} R$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = \nu_{\text{общ}} T_{\text{кон}}$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T_{\text{кон}}$$

$$T_{\text{кон}} = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$T_{\text{кон}} = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,1 + 0,4} = \frac{40 + 112}{0,5} = 304\text{K}$$

304K или 31°C

2) воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона

$$p_{\text{кон}} V = \nu_{\text{общ}} R T_{\text{кон}}$$

$$p_k = \frac{\nu_{\text{общ}} R T_{\text{кон}}}{V}$$

$$p_k = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \cdot 304\text{K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Ответ: 1) 31°C

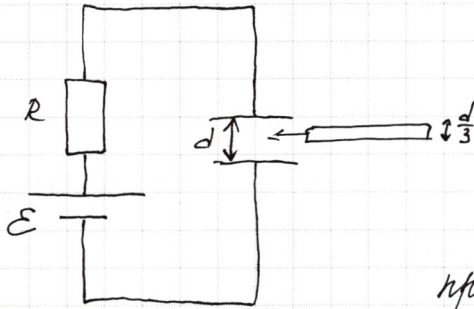
2) 152 кПа

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4.

Дано:  
 $C_0$   
 $\varepsilon$   
 $d$   
 $d_{\text{пл}} = \frac{d}{3}$   
1)  $C$  - ?  
2)  $q$  - ?

Решение:



1) Ёмкость конденсатора через его параметры:

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

после того, как внесем проводящую пластину, можно считать расстояние между обкладками конденсатора  $d - \frac{d}{3} = \frac{2d}{3}$ ; тогда ёмкость конденсатора увеличится в 1,5 раз;  $\Rightarrow$   
 $C = 1,5 C_0$ .

2) Ёмкость конденсатора по определению:

$$C = \frac{q}{U}, \text{ где } C = 1,5 C_0$$

$$U = \varepsilon$$

тогда имеем:

$$1,5 C_0 = \frac{q}{\varepsilon}$$

$$q = 1,5 C_0 \varepsilon$$

Ответ: 1)  $1,5 C_0$   
2)  $1,5 C_0 \varepsilon$

Дано:

C

E

R

$R_1 = 4R$

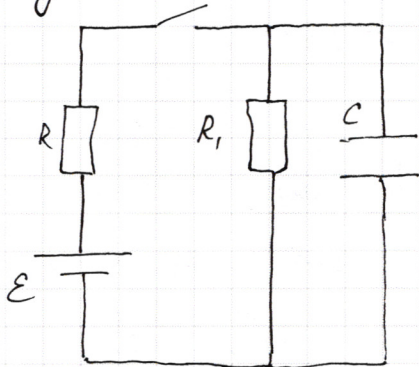
1)  $I_{\text{уст}}$  - ?

2)  $U_c$  - ?

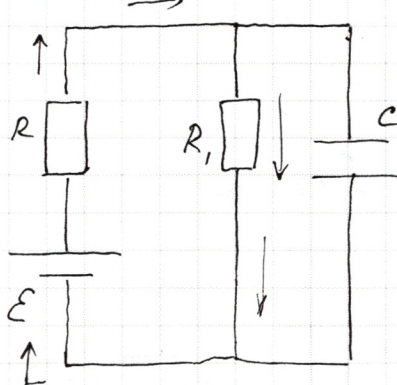
3) Q - ?

Решение:

до:



после:



1) Через конденсатор ток не проходит, поэтому весь ток пойдет через R и R<sub>1</sub>.

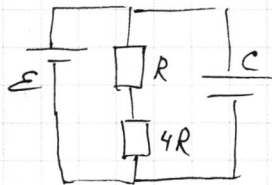
т.к они в данной цепи соединены последовательно, то их общее сопротивление  $R_{\text{общ}} = R + R_1 = R + 4R = 5R$ .

По закону Ома для полной цепи:  $I = \frac{E}{R_{\text{общ}}}$

$I_{\text{уст}} = \frac{E}{5R} = 0,2 \frac{E}{R}$

Ответ:  $0,2 \frac{E}{R}$

2) на конденсаторе установится такое же напряжение, как и напряжение, на параллельном ему участке.



$U_c = E$

Параллельной ему участок содержит R и 4R.

Через них напряжение равно E.

Ответ: E

Значит через конденсатор напряжение E.

3) Количество теплоты, которое выделится после размыкания ключа равно сумме теплоты, выделившейся на резисторах и к-ву теплоты на конденсаторе.

$Q_k = \frac{C \cdot U_c^2}{2} = \frac{C \cdot E^2}{2}$ ,  $Q_{\text{уст}} = I_{\text{уст}}^2 R t = 0,2^2 \frac{E^2}{R} \cdot t = \frac{0,2 E^2 t}{R}$

где t - время, которое был замкнут ключ.

$Q = Q_k + Q_{\text{уст}} = \frac{CE^2}{2} + \frac{0,2 E^2 t}{R} = \frac{E^2}{2} (0,4 t + C)$

Ответ:  $\frac{E^2}{2} (0,4 t + C)$

Дано:

$$m_{\text{ч}} = m$$

$$\vec{v}_{\text{ч}} = \vec{v}_0$$

$$m_{\text{г}} = 4m$$

$$F_{\text{тр}} = 0$$

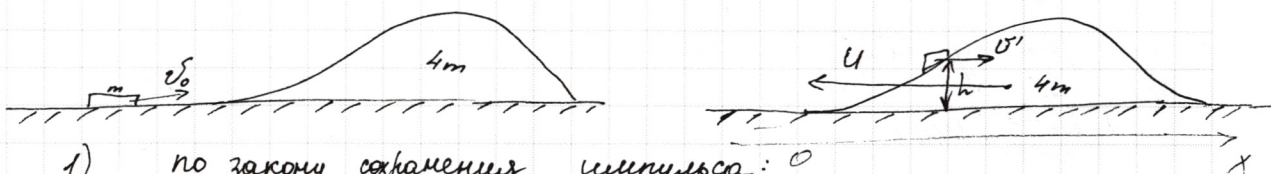
$$\vec{v}_{\text{г}} = 0$$

$$h = ?$$

Решение:

го:

носле



1) по закону сохранения импульса:

$$\frac{m v_0^2}{2} = mgh + \frac{(4m+m)U^2}{2}$$

кинетическая энергия монетки "го" переходит в потенциальную энергию на высоте  $h$  и кинетическую энергию горы со скоростью  $U$ . Но так как горе приходится передвигать и себя и монету, то их массы складываются.

$$\frac{m v_0^2}{2} = mgh + \frac{5mU^2}{2} \quad | : m$$

$$\frac{v_0^2}{2} = gh + \frac{5U^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$v_0^2 = 2gh + 5U^2$$

$$2gh = v_0^2 - 5U^2$$

$$h = \frac{v_0^2 - 5U^2}{2g}$$

$$U = 0,2v_0$$

$$h = \frac{v_0^2 - (0,2v_0)^2}{2g} = \frac{v_0^2 - 0,04v_0^2}{2g} =$$

$$= \frac{0,96v_0^2}{2g} = 0,48v_0^2 = 0,22v_0^2$$

2) по закону сохранения ~~энергии~~ импульса:

$$m \vec{v}_0 + 0 = m \vec{v}' + (4m+m) \vec{U}$$

$$0x: m v_0 = m v' - 5mU \quad | : m$$

$$v_0 = v' - 5U$$

$$v' = v_0 + 5U$$

$$v' = v_0 + 5 \cdot 0,2v_0 = v_0 + v_0 = 2v_0$$

Ответ: 1)  $0,22v_0^2$  2)  $2v_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



по закону сохр. энергии:

$$\frac{mV_0^2}{2} = mgh +$$

$$\frac{V_0^2}{2} = gh$$

$$V_0^2 = 2gh$$

~~scribble~~

$$h = \frac{V_0^2}{2g}$$

по з.с.и:

$$mV_0 = mV' - 5mU$$

$$V_0 = V' - 5U$$

$$V' = V_0 + 5U$$

по з.с.и:

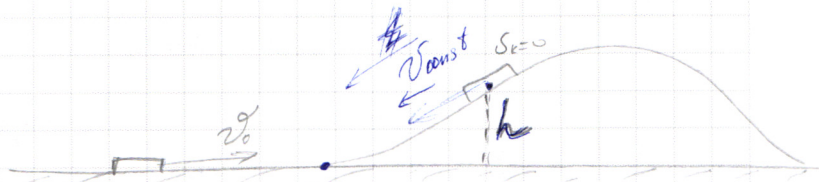
$$V' = V_0 + 5U$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = mgh + \frac{5mU^2}{2}$$

$$V_0^2 = 2gh + 5U^2$$

$$2gh = V_0^2 - 5U^2$$

$$h = \frac{V_0^2 - 5U^2}{2g}$$



по з.с.и:

$$\frac{V_0 m}{2g} = mgh$$

$$\frac{V_0^2}{2} = gh$$

$$V_0^2 = 2gh$$

$$h = \frac{V_0^2}{2g}$$

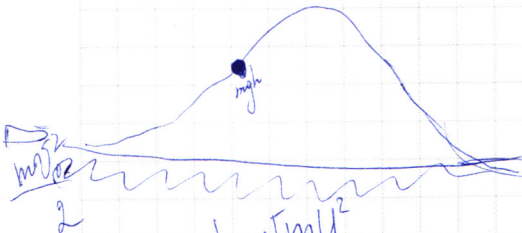
~~scribble~~

$$\vec{v}_m + U \cdot 5m = 0 + v_0 m$$

$$v - 5U = v_0$$

$$v = v_0 + 5U$$

$$v = v_0 + 5U$$



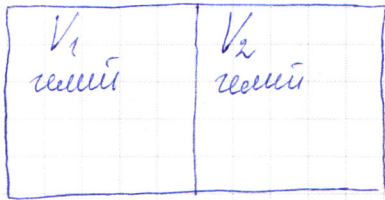
$$\frac{mV_0^2}{2} = mgh + \frac{5mU^2}{2}$$

$$V_0^2 = 2gh + 5U^2$$

$$2gh = V_0^2 - 5U^2$$

$$h = \frac{V_0^2 - 5U^2}{2g}$$

N3



Дано:

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

$$T_1 = 127^\circ\text{C} + 273 = 400 \text{ K}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$T_2 = 4^\circ\text{C} = 280 \text{ K}$$

$$V_2 = 0,4 \text{ моль}$$

по закону сохранения энергии:

Сумма внутренних энергий 1)  $T_k$  - ?

до, равна сумме внутренних 2)  $p_k$  - ?  
энергий после.

$$\frac{3}{2} V_1 R T_1 + \frac{3}{2} V_2 R T_2 = \frac{3}{2} V_{\text{общ}} R T_k$$

$$V_1 T_1 + V_2 T_2 = V_{\text{общ}} T_k$$

$$V_1 T_1 + V_2 T_2 = (V_1 + V_2) T_k$$

$$T_k = \frac{V_1 T_1 + V_2 T_2}{V_1 + V_2}$$

$$T_k = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,1 + 0,4} = \frac{40 + 112}{0,5} = \frac{152}{0,5} = 304 \text{ K}$$

$$T_k = 304 \text{ K} = 31^\circ\text{C}$$

2)  $p_k$  - ?

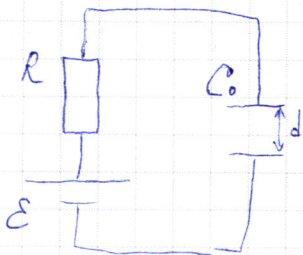
По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$p_k V = V_{\text{общ}} R T_k$$

$$p_k = \frac{V_{\text{общ}} R T_k}{V} = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \cdot 304 \text{ K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$152 \text{ кПа}$$

N4.



$$\text{Энергия} = \frac{d}{3}$$



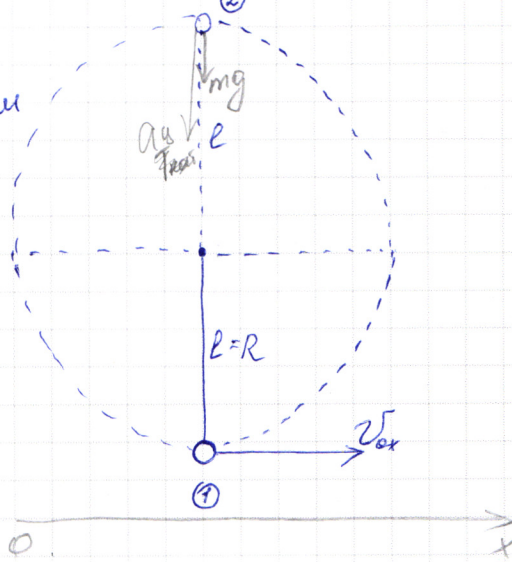
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

11-04.

№1.

Дано:  
 $R = l = 18 \text{ см}$   
 $l = 18 \text{ см}$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$   
 $v_{\text{min ox}} - ?$

Решение:



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

по закону сохранения энергии:

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

где  $h = 2R$

$$\frac{mv_{\text{ox min}}^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + 2mgR \quad | : m$$

$$\frac{v_{\text{ox min}}^2}{2} = \frac{v^2}{2} + 2gR$$

$$v_{\text{ox min}}^2 = v^2 + 4gR$$

в точке 2:  $T_k = 0$

$$mg = ma_{\text{ц.к.}}$$

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

$$gR = v^2$$

$$v = \sqrt{gR} = \sqrt{10 \cdot 0,18} = \sqrt{1,8} = 1,34 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

по закону сохранения энергии:

$$a_{\text{ц.к.}} = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{l}$$

$$\frac{v_{\text{ox min}}^2}{2} = \frac{v^2}{2} + gR \quad | \cdot 2$$

$$v_{\text{ox min}}^2 = v^2 + 2gR$$

$$v_{\text{ox min}}^2 = 1,8 + 3,6$$

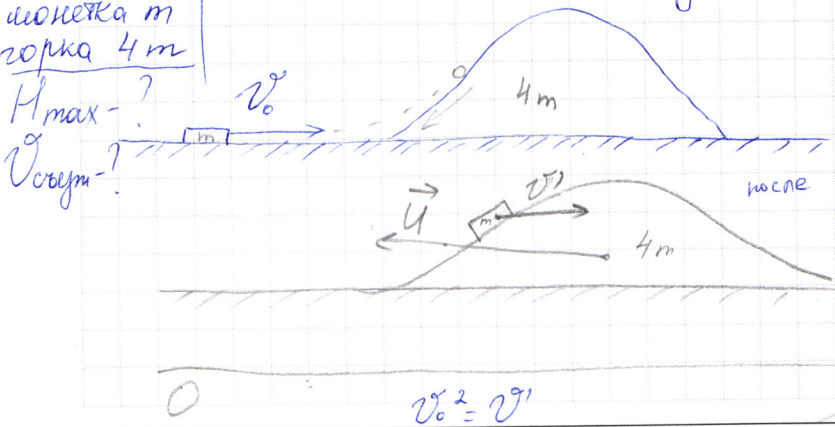
$$v_{\text{ox min}} = \sqrt{5,4} = 2,32 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

№2.  
 Дано: монетка m  
 горка 4m  
 $H_{\text{max}} - ?$   
 $v_{\text{своб}} - ?$

без трения  
 без отрыва

т.к. горка закреплена,  
 у нее скорость a  
 в точке горка;

по закону сохранения энергии:



$$m_{\text{ц}} v_0 + 0 = m_{\text{ц}} v + 4mU$$

$$0x: m_{\text{ц}} v_0 = m_{\text{ц}} v - 4mU$$

$$m_{\text{ц}} v_0 = m_{\text{ц}} v - 4mU \quad | : m$$

$$v_0 = v - 4U$$

по закону сохр энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh_{\text{max}} \quad | : m$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v^2}{2} + gh_{\text{max}} \quad | \cdot 2$$

$$v_0^2 = v^2 + 2gh_{\text{max}}$$

$$2gh_{\text{max}} = v_0^2 - v^2 \quad ; \quad h_{\text{max}} = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}$$

черновик     чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №

(Нумеровать только чистовики)

$U = E \cdot d$

$E = \frac{F}{q}$  напряжённость

~~$U = q$~~

1)

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

$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{(d - \frac{d}{3})} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2d}{3}}$

бросает.

$U = 0,2 U_0$

$v_0^2 - (0,2 v_0)^2 = \frac{v_0^2 - 0,04 v_0^2}{2g} =$

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

$\frac{0,96 v_0^2}{2g} = 0,048 v_0^2 \cdot x - \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2d}{3}}$

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

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

по определению ёмкости конденсатора

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

где  $C = 1,5 C_0$

$1,5 C_0 = \frac{q}{E}$

$U = E$   
по з. с. и:

$q = 1,5 C_0 E$

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

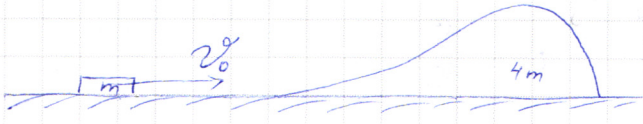
№2.

Дано:

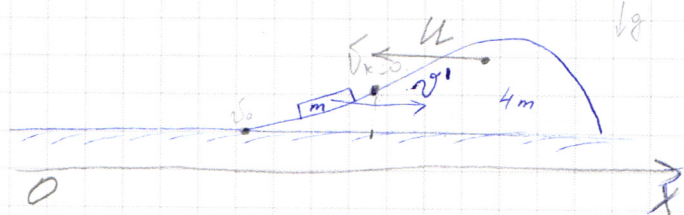
- $m_{ш} = m$
- $v_{ш} = v_0$
- $m_{ч} = 4m$
- $F_{тр} = 0$
- $v_{ч} = 0$
- $h = ?$

Решение:

до:



после:



по закону сохранения энергии:

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v'^2}{2} + mgh + \frac{5mU^2}{2}$

$v_0^2 = v'^2 + 2gh + 5U^2$

$v_0^2 = v'^2 + 2gh + 5U^2$

$2gh = v_0^2 - v'^2 - 5U^2$

$h = \frac{v_0^2 - v'^2 - 5U^2}{2g}$

$h = \frac{v_0^2 - (v'^2 - 5U^2)}{2g}$

$v_0^2 = (v' - 5U)(v' + 5U)$

по закону сохранения импульса:

$m v_0 + m_{ч} v_{ч} = m v' + (4m + m)U$

$m v_0 = m v' + 5mU$

$v_0 = v' + 5U$

$v_0^2 = v'^2 + 10v'U + 25U^2$

$v_0^2 = v'^2 + 10v'U + 25U^2 - 20v'U$

$v_0^2 = (v' + 5U)^2 - 20v'U$

$v_0^2 = v'^2 + 2gh$   
 $2gh = v_0^2 - v'^2$   
 $h = \frac{v_0^2 - v'^2}{2g}$

$v_0 = v' + 5U$

$v' = v_0 + 5U$  Бабишев МПТН

$v' = v_0 + 5(0,2 v_0) = v_0 + v_0 = 2v_0$

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v'^2}{2} + mgh$

$v_0^2 = v'^2 + 2gh$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5.

Дано:

C  
E  
R

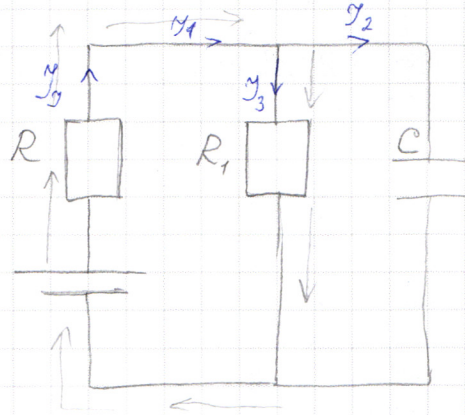
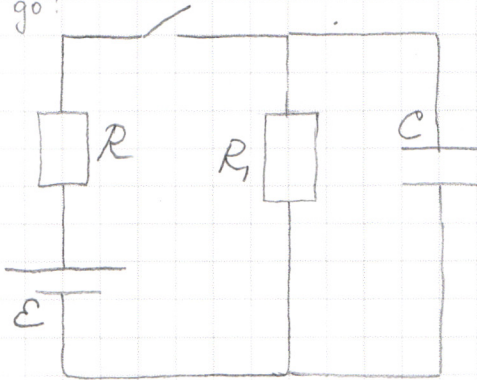
$R_1 = 4R$

- 1)  $y$  - ?
- 2)  $U_C$  - ?
- 3)  $Q$  - ?

$Q$  - ?

A.t

Решение:



по закону Ома:  $I_{общ} = \frac{E}{R_{общ}}$

через конденсатор ток не проходит, поэтому весь ток пойдет через R и R1 т.к. они соединены последовательно.  
 $R_{общ} = R_1 + R = R + 4R = 5R$

$y_{ист} = \frac{E}{5R} = 0,2 \frac{E}{R}$

версия

2) через конденсатор на конденсаторе установится такое же напряжение, как и напряжение на параллельном ему участке.

$C = \epsilon \cdot d$

$U = y_{ист} R$

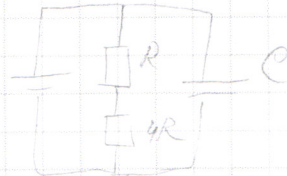
$U = E = yR$

$U = y_{ист} \cdot 5R =$

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

$R = 5R$

$U_C = E$



версия

Ров

3)  $Q = yUt = y^2 R t = \frac{U^2 t}{R} = \left(0,2 \frac{E}{R}\right)^2 R t = 0,04 \frac{E^2}{R^2} \cdot R \cdot t = \frac{0,04 E^2 t \cdot 5}{R} = \frac{0,2 E^2 t}{R}$

$\frac{0,2 E^2 t}{R} = \frac{0,2 E^2 t}{R}$

$W_k = \frac{C \cdot E^2}{2}$

$W_{общ} = \frac{0,2 E^2 t}{R} + \frac{C E^2}{2} = \frac{E^2}{2} (0,4 t + C)$

yUt

$\frac{0,2 E^2 t}{R} = \frac{C E^2}{2}$