

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

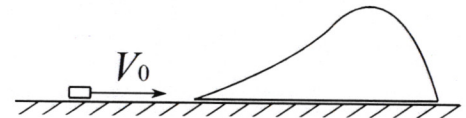
Шифр 14-011

(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.

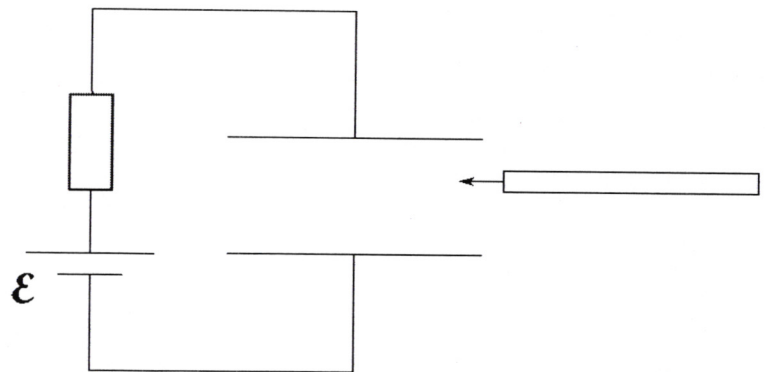


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

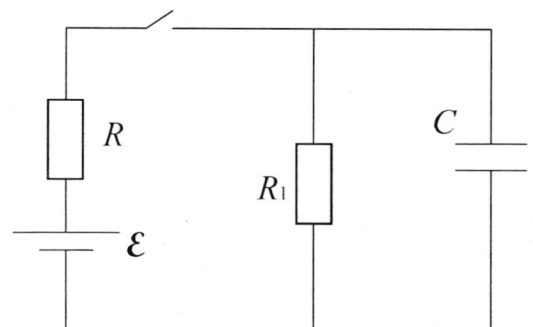
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

 Задача 3  
 Решение

Дано:

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

$$T_1 = 127^\circ\text{C}$$

$$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$$

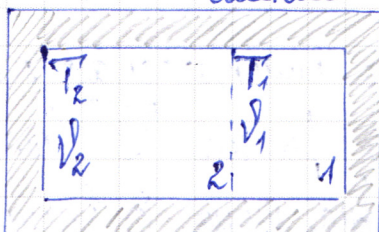
$$T_2 = 7^\circ\text{C}$$

$$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$$

Найти:

1)  $T_{\text{кон}}$

2)  $p_{\text{кон}}$

 400 K  
 280 K


Пусть  $U_1$  - внутренняя энергия газа в первой части,  $U_2$  - во второй. Теплообмена с окружающей средой нет, работу газ не совершает, поэтому  $U_{\text{кон}}$  (конечная внутренняя энергия газа) равна

$$U_{\text{кон}} = U_1 + U_2$$

$$U = \frac{3}{2} \nu T \Rightarrow$$

$$\frac{3}{2} \nu_{\text{кон}} T_{\text{кон}} = \frac{3}{2} \nu_1 T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 T_2$$

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

$$T_{\text{кон}} = \frac{\text{моль} \cdot \text{K} + \text{моль} \cdot \text{K}}{\text{моль} + \text{моль}} = \text{K}$$

$$T_{\text{кон}} = \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,1 + 0,4} = \frac{40 + 112}{0,5} = 152 \cdot 2 = 306 \text{ (K)}, \text{ или } 33^\circ\text{C}$$

2) По закону Менделеева-Клапейрона

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

$$p_{\text{кон}} = \frac{\nu_{\text{кон}} R T_{\text{кон}}}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_{\text{кон}}}{V}$$

$$[p_{\text{кон}}] = \frac{\text{моль} \cdot \text{Дж} \cdot \text{K}}{\text{м}^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{K}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$$

$$p_{\text{кон}} = \frac{(0,1 + 0,4) \cdot 8,31 \cdot 306}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 152 \cdot 10^3 \text{ (Па)}$$

 Ответ: 1) ~~306 K~~  $33^\circ\text{C}$ 

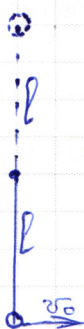
 2)  $152 \cdot 10^3 \text{ Па}$ 

## Задача 1

Дано:  $l = 18 \text{ см}$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$   
 Найти:  $v_{\text{min}}$

Сл  
 $1,8 \cdot 10^{-1} \text{ м}$

Решение



В нижней точке кинетическая энергия шарика максимальна и равна  $\frac{mv_0^2}{2}$  ( $m$  — масса шарика); потенциальная равна нулю. В высшей точке траектории кинетическая энергия минимальна ( $E_{k \text{ min}}$ ), а потенциальная максимальна и равна  $mg \cdot 2l$  ( $l$  — длина нити). По закону сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgl + E_{k \text{ min}}$$

Пусть  $E_{k \text{ min}} = E_B = \frac{mv_B^2}{2}$ , тогда

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgl + \frac{mv_B^2}{2} \quad | : \frac{m}{2}$$

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

$$v_0 = \sqrt{4gl + v_B^2}$$

$v_0$  принимает наименьшее значение, когда  $v_B = 0$ .

Тогда

$$v_{\text{min}} = \sqrt{4gl} = 2\sqrt{gl}$$

$$[v_{\text{min}}] = \sqrt{\frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_{\text{min}} = 2\sqrt{10 \cdot 1,8 \cdot 10^{-1}} = 2\sqrt{18} = 6\sqrt{2} \approx 6 \cdot 1,41 = 8,46 \approx 8,5 \text{ (м/с)}$$

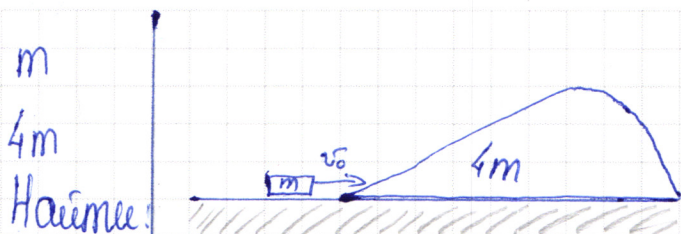
Ответ:  $2,7 \text{ м/с}$

Задание 2

Решение

Дано:  
 $v_0$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- Найдите:
- 1)  $h_{\max}$
  - 2)  $v_{\text{сп}}$

До въезда монета двигалась со скоростью  $v_0$  и имела импульс  $mv_0$ . После въезда монеты на горку система начала движение со скоростью  $v_{\text{г}}$ , и, имея массу  $5m$  ( $m+4m$ ), получила импульс  $5mv_{\text{г}}$ .

По закону сохранения импульса

$$mv_0 = 5mv_{\text{г}}$$

$$v_{\text{г}} = \frac{1}{5}v_0.$$

До въезда монета обладала кинетической энергией, равной  $\frac{mv_0^2}{2}$ . После въезда кинетическая энергия движения всей системы была равна  $\frac{5m \cdot (\frac{1}{5}v_0)^2}{2} = \frac{mv_0^2}{10}$ . Кроме того, монета начала движение относительно горки со скоростью  $v_{\text{м,о}}$ , и кинетическая энергия этого движения оказалась равна  $\frac{mv_{\text{м,о}}^2}{2}$  (потенциальная равна нулю). По закону сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{10} + \frac{mv_{\text{м,о}}^2}{2} \quad | : \frac{m}{2}$$

$$5v_0^2 = mv_0^2 + 5v_{\text{м,о}}^2$$

$$v_{\text{м,о}}^2 = \frac{4}{5}v_0^2.$$

Перейдем в систему отсчета, связанную с горкой (едва движение равномерно, прямолинейно, поэтому система инерциаль-

над). В ней по закону сохранения энергии, с учетом того, что в высшей точке монета относительно горки остановится, имели

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h_{\max} \quad | : m$$

$$\frac{4 v_0^2}{5} = g h_{\max}$$

$$h_{\max} = \frac{5 g}{2 v_0^2}$$

$$[h_{\max}] = \frac{m \cdot g \cdot c^2}{c^2 \cdot m} = m$$

$$h_{\max} = \frac{2 v_0^2}{5 \cdot g} = 0,4 v_0^2 \cdot (c)$$

2) Пусть монета съезжает с горки с некоторой скоростью  $v_{\text{сп}}$ . По закону сохранения энергии скорость монеты относительно горки в нижней точке горки равна ( $v_H$ )

$$\frac{m v_H^2}{2} = m g h_{\max} \quad | : m$$

$$v_H^2 = 2 g h_{\max}$$

$$v_H = \sqrt{\frac{2 g \cdot 2 v_0^2}{5 g}}$$

$$v_H = 2 v_0 \sqrt{0,2}$$

$$[v_H] = m/c$$

$$v_H \approx 0,9 v_0 \cdot (m/c)$$

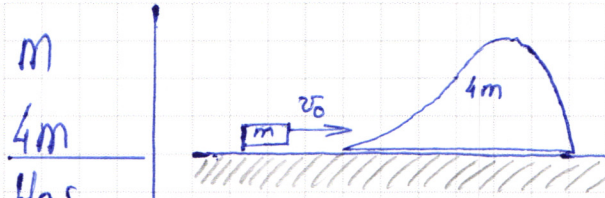
Т.к.  $\vec{v}_H \uparrow \vec{v}_r$  (вернемся в систему отсчета, связанную с Землей), то

$$v_{\text{сп}} = |v_H - v_r| = |0,9 v_0 - 0,2 v_0| = 0,7 v_0 \cdot (m/c)$$

Ответ: 1)  $0,4 v_0^2 \cdot m$

• 2)  $0,7 v_0 \cdot m/c$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Найти:

$h_{\max}$

$v_{\text{сп}}$

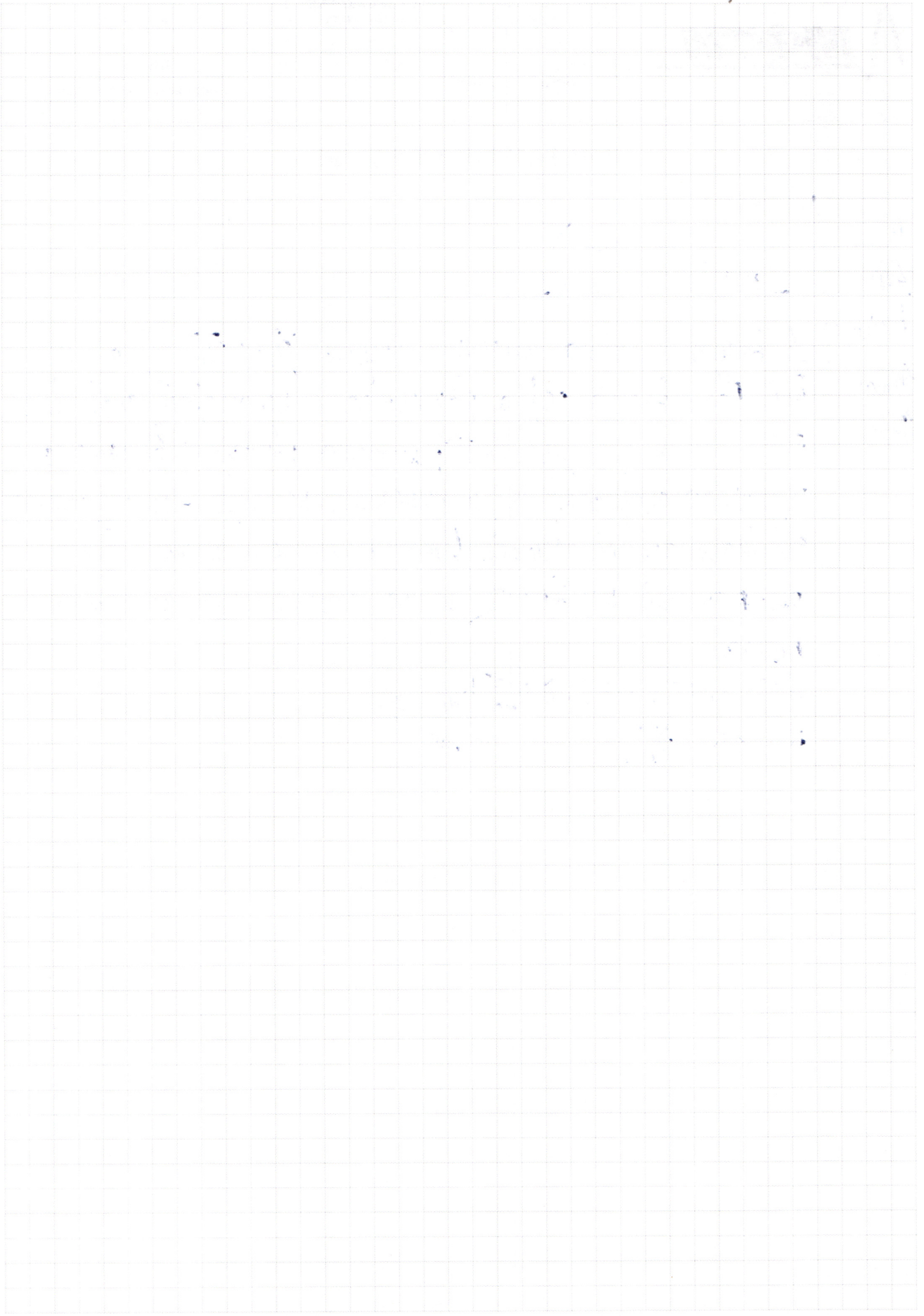
До въезда монета имеет импульс  $\vec{p}_0 = m\vec{v}_0$ , горка - нуле-  
вой. После въезда горка движется с некоторой скоростью  
 $\vec{v}_r$  и имеет импульс  $4m\vec{v}_r$ ; монета движется вместе с  
горкой со скоростью  $\vec{v}_r$ , а относительно горки - со скоростью  
 $\vec{v}_{\text{мо}}$  (назад движется). Итак, импульс монеты равен

$p_{\text{мо}} = m(\vec{v}_r + \vec{v}_{\text{мо}}) = m\vec{v}_r + m\vec{v}_{\text{мо}}$  и по закону сохранения им-  
пульса

$$m\vec{v}_0 = 4m\vec{v}_r + m\vec{v}_r + m\vec{v}_{\text{мо}} \quad | :m$$

$$\vec{v}_0 = 5\vec{v}_r + \vec{v}_{\text{мо}}$$

$v_{\text{горка}} = v_{\text{сп. кол.}} - v_r$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Импульс монеты:  $m v_0$

Импульс системы: импульс ворки + импульс монеты =  $4m v_r + m \cdot (\text{скр. отн. Земли}) = 4m v_r +$

Сист. отср. "относительно ворки":  $\frac{v_{\text{мон}}^2 m}{2} = m g h_{\text{max}}$

$$\sqrt{2 g h_{\text{max}}} = v_{\text{мон}}$$

отн. Земли:

$$\frac{(v_0^2 + 2 v_{\text{мон}} v_r) m}{2} = m g h_{\text{max}}$$

$$\frac{2 g h_{\text{max}} + 2 v_{\text{мон}} v_r m}{2} = g h_{\text{max}}$$

$$E_{\text{к0}} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$E_{\text{к монеты}} \rightarrow E_{\text{к ворки}} + E_{\text{к монеты}} + E_{\text{п монеты}}$

$$\frac{m v_0^2}{2} = 2m v_r^2 + \frac{m (v_{\text{мон}} + v_r)^2}{2} + m g h$$

$$v_0^2 = 4v_r^2 + v_{\text{мон}}^2 + 2v_{\text{мон}}v_r + (v_{\text{мон}} + v_r)^2$$

$$m v_0^2 = 4m v_r^2 + m v_{\text{мон}}^2 + 2m v_r v_{\text{мон}}$$

$$v_{\text{мон}} = v_0 - 5v_r$$

$$5v_r^2 + 2(v_0 - 5v_r)v_r + (v_0 - 5v_r)^2 = v_0^2$$

$$5v_r^2 + 2v_0v_r - 10v_r^2 + v_0^2 - 10v_0v_r + 25v_r^2 = v_0^2$$

$$20v_r^2 - 8v_0v_r = 0$$

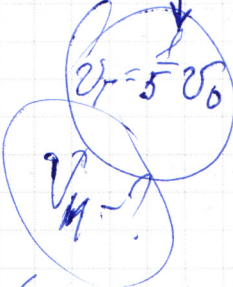
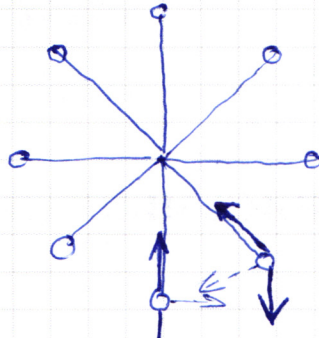
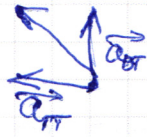
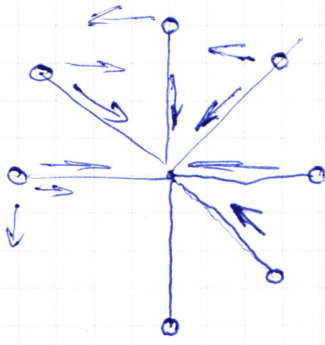
$$20v_r = 8v_0$$

$$v_r = 0,4v_0$$



Формула с Навио. жмар.

Уматика -  
Нолб



$\sqrt{5} = \frac{1}{\sqrt{5}}$

21	22	23
21	22	23
42	44	69
441	484	529
225	224	224
225	896	
450	448	
450	448	
50625	50176	

$\frac{1}{2,23} =$

$\frac{0,45}{2,70}$

1000 | 2,23

898 448...

1080

892

1880

306

279

33

$5m \cdot \left(\frac{1}{5} v_0\right)^2$

$\frac{m v_0^2}{2}$

$\frac{m v_0^2}{2}$

$m v_0^2 = 5m v_r^2 + m v_{M0}^2$

~~$m v_0^2$~~

$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{4m v_r^2}{2} + \frac{m (v_{M0} + v_r)^2}{2}$

$\frac{m v_{M0}^2}{2} = m g h$

$\frac{m (v_{M0} + v_r)^2}{2} = m g h_{max} + \frac{m v_r^2}{2}$

$v_{M0}^2 + 2 v_{M0} v_r + v_r^2 = 2 g h_{max} + v_r^2$

$\frac{1}{5} v_0^2 + v_r^2 = v_0^2$

$\frac{4}{5} v_0^2$

$\frac{2}{5} v_0^2$

$v_0^2 = 5 v_r^2 + 2 v_{M0} v_r + v_{M0}^2$

$v_{M0} = v_0 - 5 v_r$

$v_0^2 = 5 v_r^2 + 2 (v_0 - 5 v_r) v_r + (v_0 - 5 v_r)^2$

$v_0^2 = 5 v_r^2 + 2 v_0 v_r - 10 v_r^2 + v_0^2 - 10 v_0 v_r + 25 v_r^2$

$20 v_r^2 = 8 v_0 v_r$

$v_r = 0,4 v_0$

$v_r = 0 - \text{нет}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$E_n = mg \cdot 2l, E_k = m \cdot v^2 = 0$

$v^2 = 4gl$   
 $v = 2\sqrt{gl}$   
 $v = 2\sqrt{18} = 6\sqrt{2}$

$E_k = \frac{mv^2}{2}, E_n = 0$

$273K = 0^\circ C$   
 $280K$   
 $400K$

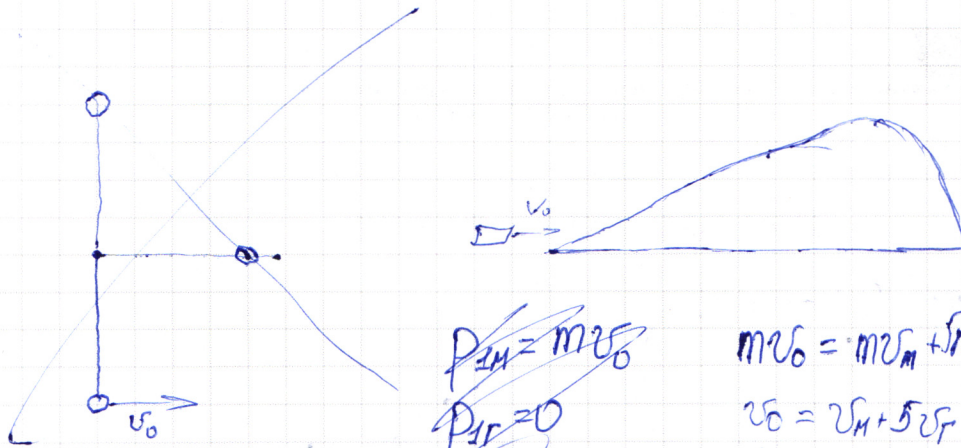
$v_1 = 0.4 \text{ моль}; v_2 = 0.1 \text{ моль}$   
 $27^\circ C$   
 $7^\circ C$

$pV = \nu RT$

$U = \frac{3}{2} \nu T_1$   
 $U = \frac{3}{2} \nu_2 T_2$   
 $U = \frac{3}{2} (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) T$   
 $\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T$   
 $\frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = T$   
 $[T] = \frac{\text{моль} \cdot K}{\text{моль}} = K$   
 $T = \frac{0.1 \cdot 280 + 0.4 \cdot 400}{0.5} = 2 \cdot (28 + 160) = 2 \cdot 188 = 376 (K) ?$

$pV = \nu RT$   
 $p = \frac{\nu RT}{V}$   
 $[p] = \frac{\text{моль} \cdot K \cdot \frac{H}{\text{м}^3}}{\text{м}^3 \cdot \text{моль} \cdot K} = \frac{H \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{H}{\text{м}^2} = \text{Па}$   
 $p = \frac{0.5 \cdot 8.31 \cdot 376}{8.31 \cdot 10^{-3}} = 188 \cdot 10^3 = 188 \cdot 10^6 (\text{Па})$

$\mu = \frac{H}{\text{м}^2}$   
 $\frac{\text{моль} \cdot K}{\text{м}^3} \cdot ? = \frac{H}{\text{м}^2}$   
 $H \cdot \text{м} = \text{Па} \cdot \text{м}^3$



$$P_{\text{M}} = m v_0$$

$$P_{\text{F}} = 0$$

$$P_{\text{F}} \cdot h_{\text{max}} : E_{\text{K}} \text{ макс} = \frac{m \cdot v_{\text{F}}^2}{2}$$

$$m v_0 = m v_{\text{M}} + 5 m v_{\text{F}}$$

$$v_0 = v_{\text{M}} + 5 v_{\text{F}}$$

УЧО:  $v_0 \rightarrow v_{\text{M}} + v_{\text{F}}$

$h_{\text{max}} \quad v_{\text{M}} = 0$   
 $v = v_{\text{F}}$

$$E_{\text{K0}} = \frac{m(v_{\text{CM}} + v_{\text{F}})^2}{2} \quad E_{\text{П0}} = 0$$

$$E_{\text{K}} = \frac{m v_{\text{F}}^2}{2}, \quad E_{\text{П}} = m g h_{\text{max}}$$

$$\frac{m(v_{\text{CM}}^2 + v_{\text{F}}^2 + 2v_{\text{CM}}v_{\text{F}})}{2} = m g h_{\text{max}} + \frac{m v_{\text{F}}^2}{2}$$

$$m(v_{\text{CM}} + v_{\text{F}})v_{\text{CM}} = 2 g h_{\text{max}}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{m v_{\text{CM}}(v_{\text{CM}} + v_{\text{F}})}{2 g}$$

$$P_{\text{M}} = m v_0$$

$$P_{\text{CM}} = m v_{\text{CM}}$$

$$P_{\text{F}} = 5 m v_{\text{F}}$$

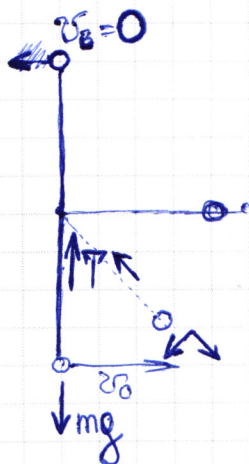
$$v_0 = v_{\text{CM}} + 5 v_{\text{F}}$$

$$v_{\text{F}} = \frac{(v_0 + v_{\text{CM}})}{5}$$

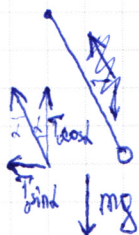
$$P_{\text{CM}} = m(v_{\text{CM}} + v_{\text{F}})$$

$$P_{\text{F}} = 4 m v_{\text{F}}$$

$a_{\text{y}} =$



$$T_0 = mg$$



$$m g \sin \alpha$$

$$m g (1 - \cos \alpha)$$