

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

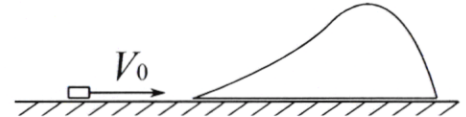
Шифр 5-001

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 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 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.

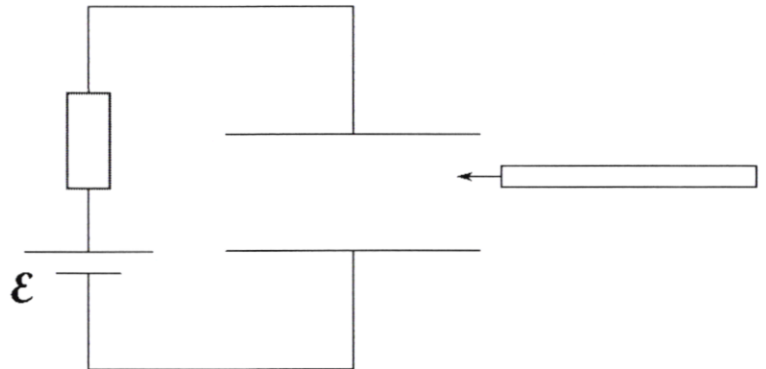


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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  $27^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,2$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,3$  моль. Перегородка прорывается.

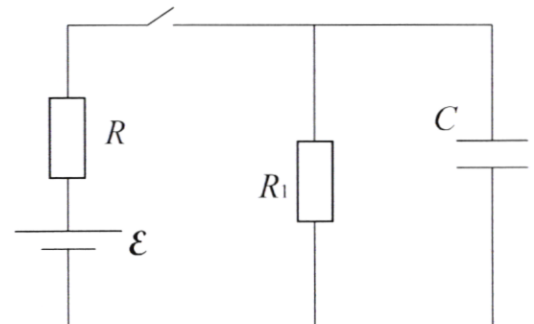
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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 4 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  $R$ ,  $R_1=3R$ . 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.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

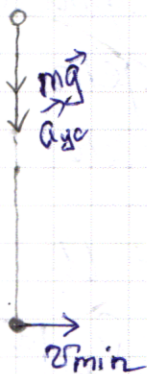
Дано:

$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

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

Решение:



Для того чтобы шарик совершил полный оборот необходимо, чтобы он достиг верхней точки траектории. При этом

в этой точке сила натяжения будет равна нулю. Запишем 2-ой закон Ньютона.

$$mg = ma_{yc}$$

$$g = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v^2 = gR, \text{ где } R = l$$

По закону сохранения энергии между нижней и верхней точками траектории.

$$\frac{mv_{\text{min}}^2}{2} = mg \cdot 2l + \frac{mv^2}{2}$$

$$v_{\text{min}}^2 = 5gl$$

$$v_{\text{min}}^2 = 4gl + gl$$

$$v_{\text{min}} = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м}} = 5 \text{ м/с}$$

Ответ: 5 м/с

№ 3

Дано:

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

Решение:

1. М.к. сосуд теплоизолированный,

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

$$V_1 = 0,2 \text{ моль}$$

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

$$V_2 = 0,3 \text{ моль}$$

$$T_{\text{конеч}} = T = ?$$

$$p_{\text{конеч}} = p = ?$$

энергия

то обмена энергией с внешней средой не происходит. Объем сосуда также не изменяется. Из этого делаем вывод, что внутренняя энергия газов до прорыва перегородки полностью перейдет во внутреннюю энергию газа после прорыва перегородки.

$$U_1 + U_2 = U$$

$$\frac{3}{2} V_1 R T_1 + \frac{3}{2} V_2 R T_2 = \frac{3}{2} (V_1 + V_2) R T$$

$$V_1 T_1 + V_2 T_2 = (V_1 + V_2) \cdot T$$

$$T = \frac{V_1 T_1 + V_2 T_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 300\text{K} + 0,3 \cdot 280}{0,2 + 0,3} =$$

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

2. Чтобы найти конечное давление, запишем уравнение Менделеева-Клапейрона.

$$pV = \nu RT, \text{ где } \nu = V_1 + V_2 = 0,5 \text{ моль}$$

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \cdot 288\text{K}}{2,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}$$

$$= 1,44 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,44 \text{ кПа}$$

Ответ:  $15^\circ\text{C}$ ;  $1,44 \text{ кПа}$

№ 5

Дано:

C

E

R

$$R_1 = 3R$$

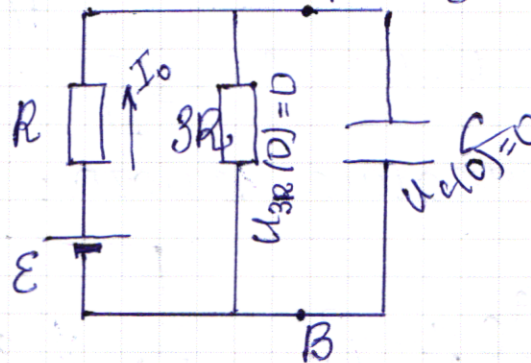
Решение:

1. Первоначально конденсатор разряжен. После замыкания ключа

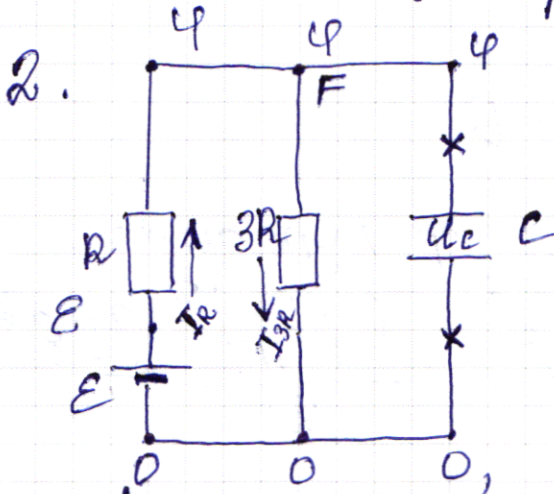
**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

- 1)  $I_0$  - ?
- 2)  $U_C$  (вуст.) - ?
- 3)  $Q$  - ?

Напряжения на конденсаторе  
скачком не изменяется



т.к.  $U_C(0) = 0$ , то  $U_A - U_B = 0 \Rightarrow$  напряжение  
на резисторе  $3R$  сразу после замыкания  
ключа также будет отсутствовать. Поэтому  
 $I_0 = \frac{\epsilon}{R}$



В установившемся режиме  
ток через конденсатор  
не течет.

метод потенциалов

Пусть  $0 < \varphi < \epsilon$ , тогда токи через кон-  
денсаторы будут течь так, как показано  
на рисунке. По закону сохранения заряда

для точки F:  $I_R = I_{3R}$

$$\frac{E - \varphi}{R} = \frac{\varphi - 0}{3R}$$

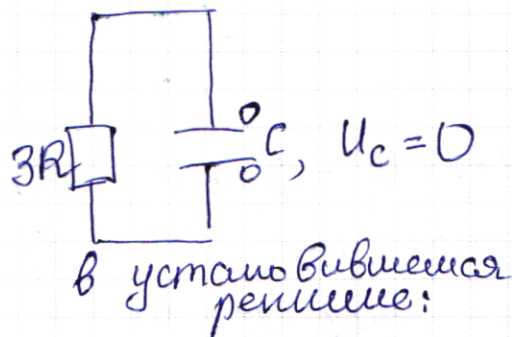
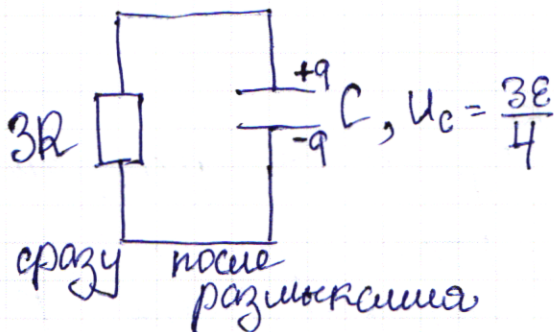
$$3E - 3\varphi = \varphi$$

$$3E = 4\varphi$$

$$\varphi = \frac{3E}{4}$$

$$U_C (\text{вуст}) = \varphi - 0 = \varphi = \frac{3E}{4}$$

3. После размыкания ключа:



По закону сохранения энергии:

$$A_{\text{ист}} = \Delta W + Q$$

$$0 = W_2 - W_1 + Q$$

0, т.к. конденсатор разрядится,

$$Q = W_1 = \frac{C U_C^2}{2} = \frac{C \left(\frac{3E}{4}\right)^2}{2} = \frac{9CE^2}{32}$$

Ответ:

1)  $I_0 = \frac{E}{R}$

2)  $U_C (\text{вуст}) = \frac{3E}{4}$

3)  $Q = \frac{9CE^2}{32}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2

Дано:

$m$   
 $3m$   
 $v_0$

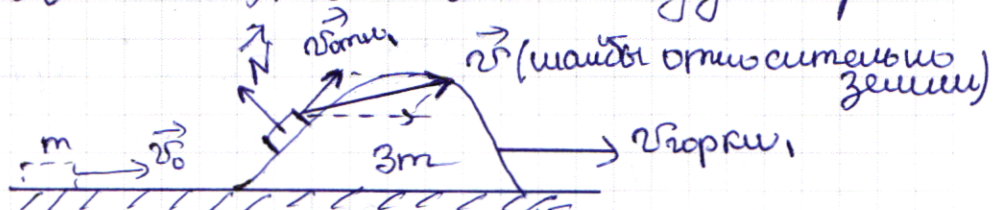
$h - ?$

$v_{\text{шайбы}} = v_{\text{к}} - ?$

Решение:

1. Для того чтобы записать закон сохранения энергии, необходимо перейти в СО, связанную с горкой, т.е. найти скорость

шайбы относительно горки, т.к. именно эта скорость будет перпендикулярна силе реакции опоры и в этом случае работа этой силы будет равна нулю.



Из рисунка видно, что скорость шайбы относительно земли не будет перпендикулярна  $\vec{N} \Rightarrow$  писать ЗСЭ в СО земли не выгодно из-за работы силы реакции опоры.

По закону сохранения импульса:

$$m \vec{v}_0 = (m + 3m) \vec{v}_{\text{горки}}$$

$$m v_0 = 4m v_{\text{горки}}$$

$$v_{\text{горки}} = \frac{v_0}{4}$$

Отсюда:

$$v_{\text{шайбы}} = \vec{v}_0 - \vec{v}_{\text{горки}}$$

$$v_{\text{шайбы}} = v_0 - v_{\text{горки}} = v_0 - \frac{v_0}{4} = \frac{3v_0}{4}$$





### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано: № 4

$C_0$

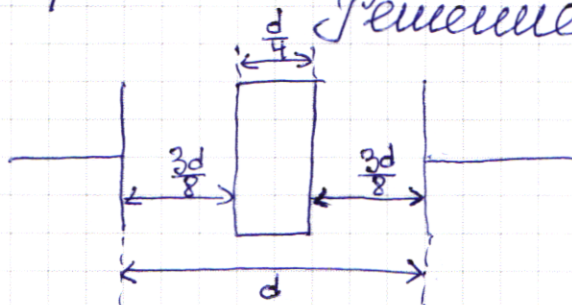
$\epsilon$

$a = \frac{d}{4}$

$C - ?$

$q^* - ?$

Решение:



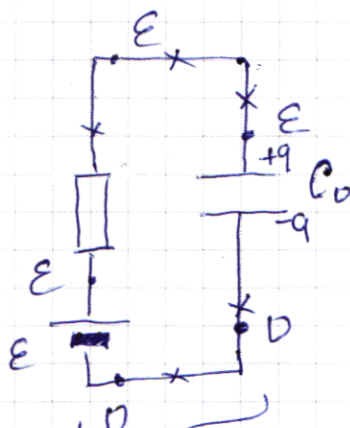
$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} ; \quad C_1 = C_2 = \frac{8\epsilon_0 S}{3d} = \frac{8}{3} C_0$$

$$C = \frac{C_1 + C_2}{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} = \frac{2C_1}{C_1} = \frac{C_1}{2} = \frac{8C_0}{2 \cdot 3} = \frac{4C_0}{3}$$

т.к. с введенной пластиной первоначальный конденсатор превратился в два одинаковых последовательно соединенных конденсатора с расстоянием между пластинами равным  $\frac{d - \frac{d}{4}}{2} = \frac{3d}{8}$

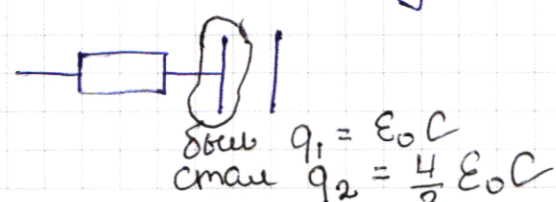
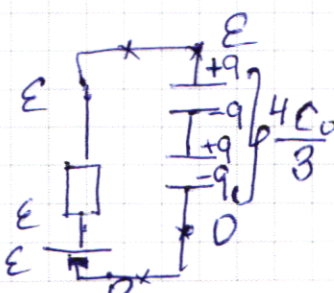
$q_1 = \epsilon \cdot C_0$

$q_2 = \epsilon \cdot \frac{4}{3} C_0$



В установившемся режиме тока в цепи нет. => Разность потенциалов на резисторе равна нулю.

метод потенциалов

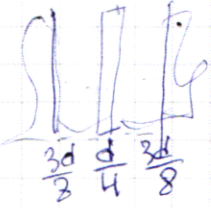


$$q^* = \Delta q = q_2 - q_1 = \frac{4}{3} C_0 \varepsilon - C_0 \varepsilon = \frac{C_0 \varepsilon}{3} - \text{заряд, прошедший через резистор}$$

Ответ:  $C = \frac{4C_0}{3}$

$$q^* = \frac{C_0 \varepsilon}{3}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$\frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon S \cdot 8}{3d}$$

$$C_0 = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \cdot \frac{C_0 d}{\left(X - \frac{d}{4}\right)}$$

$$\frac{8C_0}{3}$$

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

$$\frac{\frac{8C_0}{3} + \frac{8C_0}{3}}{\frac{8C_0 \cdot 8C_0}{3}} = \frac{18C_0 \cdot 3}{64C_0} = \frac{3C_0}{13}$$

$$\frac{\epsilon S}{d}$$

$$\frac{\epsilon S}{X - \frac{d}{4}} = \frac{\epsilon S}{X}$$

$$\frac{\epsilon S}{X + \frac{3d}{4}}$$

$$\frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon S}{X}$$

$$\frac{3d}{4} + X = X$$

$$\frac{\epsilon S}{\frac{3d}{4} - X}$$

$$\frac{\epsilon_0 S}{X}$$

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

$$\frac{d C_0 \cdot 8 C_0}{X \cdot (X - \frac{d}{4})}$$

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{X} = \frac{\epsilon_0 d}{d \cdot X}$$

$$C_2 = \frac{C_0 d}{X - \frac{3d}{4}}$$

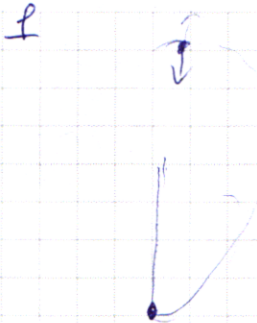
$$C = \frac{C_0 d}{X - \frac{3d}{4}} + \frac{C_0 d}{X} = \frac{X + X - \frac{3d}{4}}{C_0 d}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$mg = ma$$

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

$$v = \sqrt{gR}$$

$$mgR = \frac{mv^2}{2}$$

$$v_{\text{отн}} = \text{const}$$

2.



$$mgh = r$$

3.

280K	300
0,3 моль	0,2 моль

$$v = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ сеп}$$

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

$$0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280 = 0,5 \cdot T$$

$$60 + 84 = 0,5 T$$

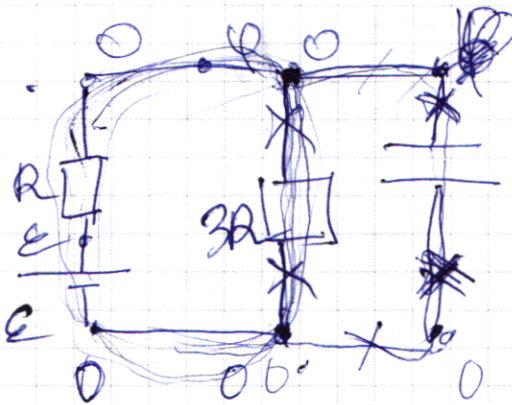
$$144 = 0,5 T$$

$$T = 288 \text{ K}$$

$$\nu V = \nu R T$$

$\frac{280}{3}$   
 $\frac{84}{15}$   
 $\frac{60}{15} = 30$   
 $\frac{60}{15} + \frac{84}{15}$   
 $\frac{144}{15}$   
 $\frac{288}{15}$   
 $\frac{273}{15}$

5.



$$\frac{\epsilon}{4R} = I_0$$

$$\frac{\epsilon - \varphi}{R} = \frac{\varphi}{3R}$$

$$3\epsilon - 3\varphi = \varphi$$

$$\varphi = \frac{3\epsilon}{4}$$

144

2.

$$m v_0 = 4 m v_{\text{горке}}$$

$$v_{\text{горке}} = \frac{v_0}{4}$$

$$v_{\text{отн}} = \frac{3v_0}{4}$$

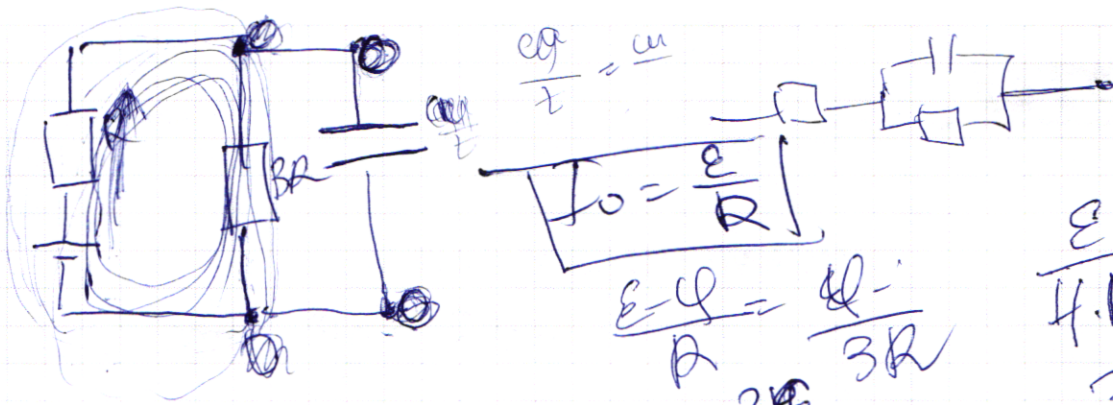
$$\frac{3v_0}{4}$$

$$mgh =$$

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

$$h = \frac{9v_0^2}{32g}$$

5.

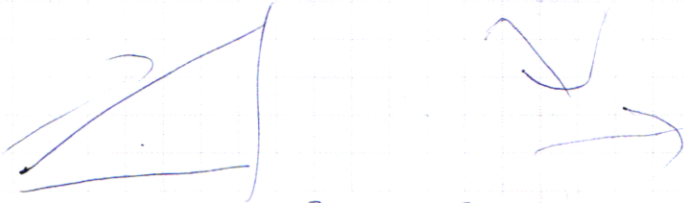


$$\frac{e\varphi}{z} = \omega$$

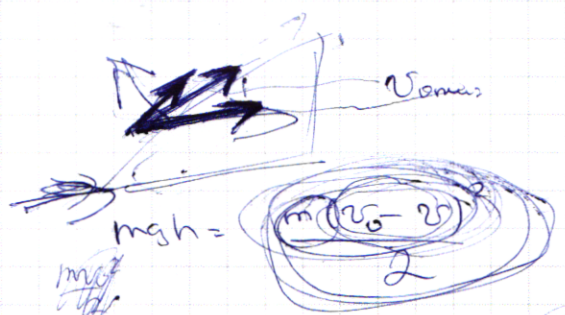
$$\frac{E - \varphi}{R} = \frac{\varphi}{3R}$$

$$\frac{E}{4R} = \frac{3E}{43R}$$

$$\Delta W = 0 - \frac{C \left( \frac{3E}{4} \right)^2}{2} = Q$$



$$mgh + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$



$$mgh = \frac{m(v_0 - v)^2}{2}$$

$$mgh = m \left( \frac{3v_0}{4} \right)^2$$

$$mv_0 = m v_{0max}$$

$$mv_0 = \frac{4mv_0}{4}$$

$$v_x + v_y = \frac{3v_0}{4}$$

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

$$\frac{5v_0}{4} = v_0$$

$$v = \frac{3v_0}{4}$$

$$v_{0max} = \frac{3v_0}{4}$$

$$\frac{m(v_x + v_y)}{2} = mgh$$

$$v_x + v_y = v_0 - v$$

$$mv_0$$

$$\frac{4mv_0}{4}$$

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

$$\frac{mv_x + v_y}{4} = \frac{3v_0}{4}$$

$$mv_0 = mv_k + 3mv_{орекс}$$

$$2v_k = \frac{5v_0}{4} = \frac{v_0}{5}$$

$$v_k + v_{орекс} = \frac{3v_0}{4}$$

$$v_k = \frac{3v_0}{4} - v_k$$

$$v_0 - v = \frac{3v_0}{4} + 3v_k$$

$v_0 =$