

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

Шифр

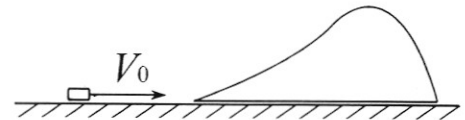
9-10

(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.

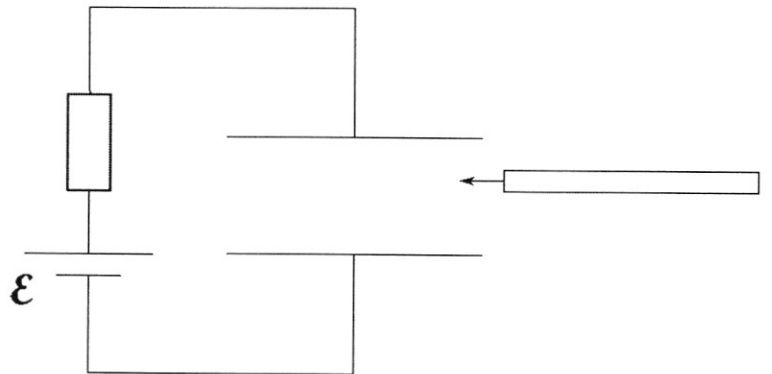


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

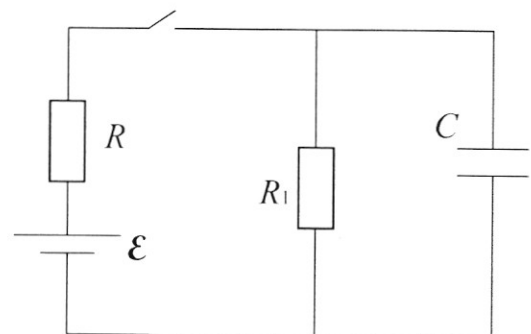
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\varepsilon$  (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?

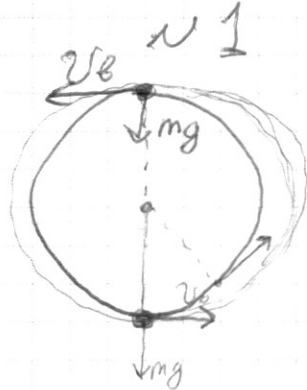
5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=4R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\varepsilon$ ,  $R$ .



- 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

$$\begin{aligned} \ell &= 18 \text{ см} \\ g &= 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \\ \underline{v_0 = ?} \end{aligned}$$



Минимальная кинетическая энергия в верхней точке:  $\frac{mv_0^2}{2}$

$v_0$  - минимальна, но шар должен двигаться по окружности.

$$\Rightarrow \text{т.к. } a_n = \frac{v^2}{R} \leftarrow \text{min, } a_n = \frac{mg + T}{m}$$

$\leftarrow \text{const} \Rightarrow a_n = \text{min} \Rightarrow T = 0$

$$a_n = g \quad \underline{g = \frac{v_0^2}{R}}$$

условие, что шар в верхней точке будет двигаться по окружности

Работа сил упругости нити для переворота

изменение кинетической энергии по вертикали = 0  
ЗСЗ:  $\Delta E = 0$  (изменяет направление скорости)

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2R \quad \leftarrow \text{увеличение потенциальной энергии, в начальной точке нити за мной}$$

$$v_0^2 = gR + 4gR \quad R = \ell \quad \text{радиус равен длине нити}$$

$$\begin{aligned} v_0 &= \sqrt{5 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 18 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} \\ &= 3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

Ответ:  $v_0 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$       $v_0 = \sqrt{5g\ell}$

№ 2

- $m$
- $4m$
- $v_0$
- 1)  $h = ?$
- 2)  $v_k = ?$



По закону сохранения импульса:  
 $m v_0 = (m + 4m) v_{\Gamma} + m v_{\text{м}}'$   
 где  $v_{\text{м}}'$  - скорость монеты относительно горки.

$v_0$  и  $v_{\Gamma}$  - относительно стола.

В какой момент, когда монета на максимальной высоте  $v_{\text{м}}' = 0$ .

По закону сохранения импульса:

$$m v_0 = (m + 4m) v_{\Gamma} \quad v_{\Gamma} = v_{\text{м}} - \text{относительно стола}$$

Потенциальная энергия стола при  $h = 0$ .

Когда закон сохранения энергии для монеты: (сразу после взезда на горку,  $E_{\text{п}} = 0$ ,  $v_{\text{м}} = v_0$ )

$$E_{\text{к-А}} = E_{\text{п}} + E_{\text{к-Б}} \quad E_{\text{к-Б}} = \frac{m v_{\Gamma}^2}{2}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{5m v_{\Gamma}^2}{2} + m g h$$

Энергия системы неизменна.

$$g h = \frac{v_0^2}{2} - \frac{v_0^2}{10}$$

Работа внешних сил = изменение кинетической энергии горки =  $\frac{4m v_{\Gamma}^2}{2}$

Удара нет, система горка-монета замкнута, внутренняя энергия не изменяется.

Ответ)  $h = \frac{4 v_0^2}{10 g} \quad h = 0,4 \frac{v_0^2}{g}$

Скорость горки в момент когда найдя скорость равна  $2v_{\Gamma}$  (то же выражение в обратном направлении)  $v_{\Gamma}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Пока не закончена энергия системы не изменяется:

$$\frac{4m v_{кг}^2}{2} + \frac{m v_k^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \quad \left. \begin{array}{l} \text{где } v_{кг} - \\ \text{скорость} \end{array} \right\}$$

система замкнута, соударений звезда-планета нет, внутренняя энергия не изменяется.

$$v_{г} = \frac{v_0}{5}$$

Пусть при скатывании планета действует на горку с горизонтальной силой  $F$ , время соезда  $= T$ . Тогда горка действует на планету с силой  $-F$ , время  $T$ . По закону Ньютона в импульсной форме:  $\Delta p = F \Delta t$

Для горки:  $4m v_{кг} - 4m v_{г} = F T$

Для планеты:  $m v_k - m v_{г} = -F T$

$$4m v_{кг} - 4m v_{г} = m v_{г} - m v_k \quad v_{кг} = \frac{v_0 - v_k}{4}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow 4 v_{кг}^2 + v_k^2 &= v_0^2 \\ \frac{(v_0 - v_k)^2}{4} + v_k^2 &= v_0^2 \end{aligned}$$

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

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

$$\frac{D}{4} = 1v_0^2 + 3 \cdot 5v_0^2 = 16v_0^2$$

$$v_{k,2} = \frac{1 \pm 4}{5} v_0$$

$$\begin{cases} v_k = v_0 \leftarrow \text{если шарик} \\ \text{пройдет горку} \\ v_k = -\frac{3}{5}v_0 \leftarrow \text{если скатится} \\ \text{обратно.} \end{cases}$$

Ответ:  $v_k = -\frac{3}{5}v_0$

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

He

$$t_1 = 127^\circ \text{C}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$t_2 = 7^\circ \text{C}$$

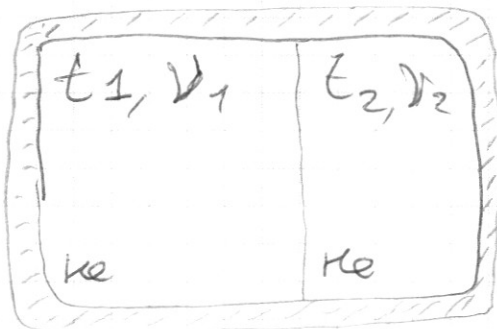
$$V_2 = 0,4 \text{ моль}$$

$$t_3 = ?$$

$$P_3 = ?$$

м<sup>3</sup>

V



Сосуд теплоизолирован,  
объем не изменяется.

Газ не совершает работы  
и не выделяет теплоту

$$\Rightarrow \text{в сосуде } \Delta E = 0. \quad T_1 = 127 + 273 = 400 \text{ К}$$

$$T_2 = 7 + 273 = 280 \text{ К}$$

$$U_1 = \frac{3}{2} V_1 R T_1 \quad U_2 = \frac{3}{2} V_2 R T_2$$

(Внутренняя энергия газов до перепада)

$$\text{т.к. } \Delta E = 0 \quad Q_{\text{всг}} = 0$$

$$U = U_1 + U_2, \text{ где } U - \text{внутренняя энергия смешанного газа.}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$\frac{3}{2} V R T_3 = \frac{3}{2} V_2 R T_2 + \frac{3}{2} V_1 R T_1$$

$$(V_1 + V_2) T_3 = V_2 T_2 + V_1 T_1$$

$$T_3 = \frac{V_2 T_2 + V_1 T_1}{V_1 + V_2}$$

$$T_3 = \frac{0,4 \text{ моль} \cdot 280 \text{ К} + 0,1 \text{ моль} \cdot 400 \text{ К}}{0,4 \text{ моль} + 0,1 \text{ моль}}$$

$$T_3 = \frac{152}{0,5} = 304 \text{ К}$$

$$\text{Ответ 1) } t_3 = 31^\circ \text{C}$$

$$t_3 = 304 - 273 = 31^\circ \text{C}$$

Уравнение идеального газа для конечного состояния:

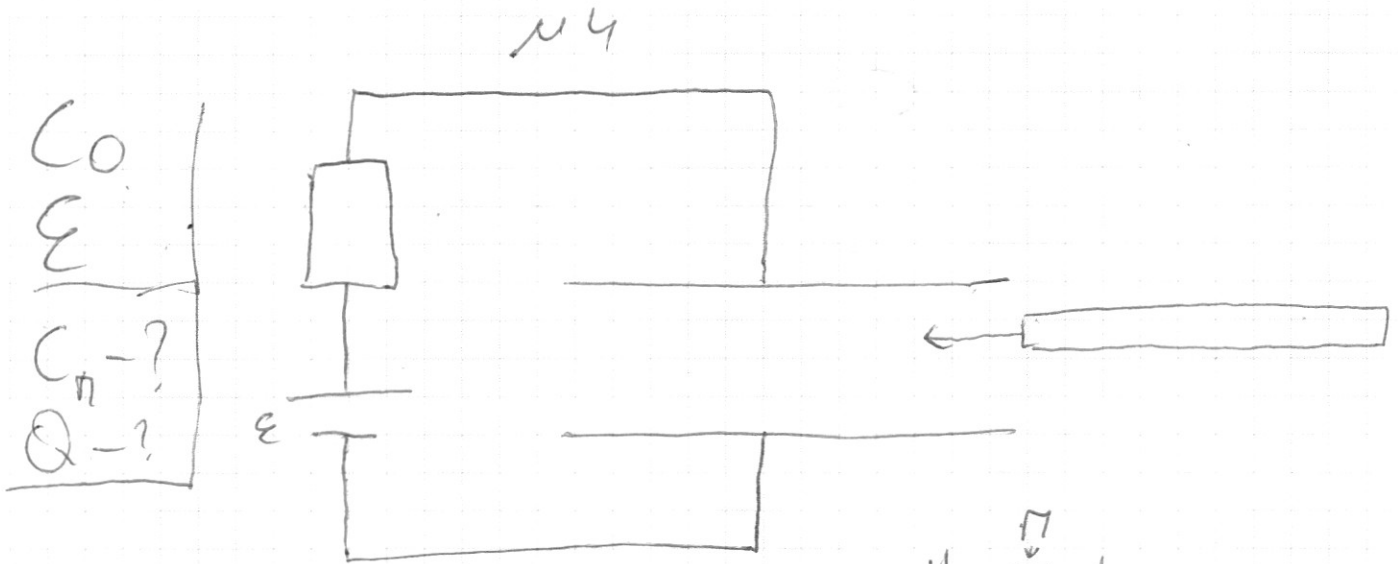
$$P_3 V = \nu R T_3 \quad P_3 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R \cdot T_3}{V}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

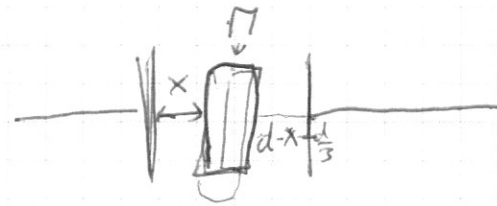
$$P_3 = \frac{(\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1) R}{\nu}$$

$$P_3 = \frac{0,4 \text{ моль} \cdot 280 \text{ К} + 0,1 \text{ моль} \cdot 400 \text{ К}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \times \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 8,31 = 152 \text{ кПа}$$

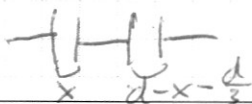
Ответ 2)  $P_3 = 152 \text{ кПа}$



Конденсатор с  
пластинкой представляет  
собой два последовательно  
соединенных конденсатора,  
обкладки - обкладки  
конденсатора и  
поверхности пластины  
между ними - проводник.



$\frac{d}{3}$  обозначим  
расстояние  
между пластинами  
конденсат.  $d$ , от пластины  $\Pi$   
до обкладки  $X$ , до  
второй  $d - \frac{d}{3} - x$



Емкости последовательно соединенных  $C_1$ .



$$C_{\pi} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{r} \text{ - воздушный.}$$

$S$  - одинаковы

$$C_{\pi} = \frac{\epsilon_0 S^2 \cdot \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{\frac{2}{3}d - x} \right)}{\epsilon_0 S \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{\frac{2}{3}d - x} \right)}$$

$$C_{\pi} = \epsilon_0 S \cdot \frac{1}{x + \frac{2}{3}d - x}$$

$$C_{\pi} = \frac{3}{2} \epsilon_0 S \cdot \frac{1}{d} \quad C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$C_{\pi} = \frac{3}{2} C_0$$

Ответ 1)  $C_{\pi} = \frac{3}{2} C_0$

~~Начальная энергия конденсатора  $\frac{C_0 \epsilon^2}{2}$ ,  
ток в цепи отсутствует.~~

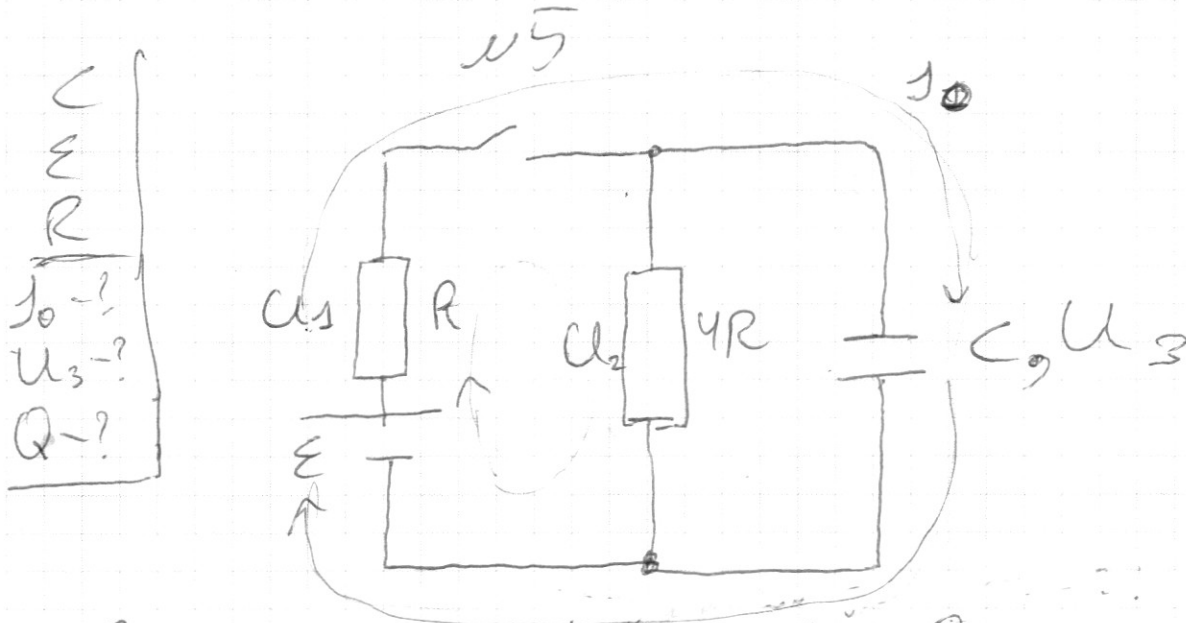
~~(конденсатор заряжен)~~

~~Конечная энергия:  $\frac{3 C_0 \epsilon^2}{4}$~~

Заряд на конденсаторе до введения:  $Q_1 = C_0 \epsilon$   
после:  $Q_2 = \frac{3}{2} C_0 \epsilon$  ← решим установившееся  
напряжение снова равно  $\epsilon$ , ток не  
течет. Заряд конденсатора увеличился на  $\Delta Q$   
 $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = \frac{1}{2} C_0 \epsilon$ , его соединим с резистором,  
только такой же заряд прошел  
через резистор.

$\Delta Q = \frac{1}{2} C_0 \epsilon$   
Ответ: 2)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



В начальный момент времени (при замыкании) напряжение на конденсаторе не изменяется скачкообразно, он получает заряды. Все заряды пойдут на конденсатор, падение напряжения = 0.

$$\varepsilon = I_0 \cdot R$$

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \quad \text{Ответ 1)}$$

В установившемся режиме:

$$U_1 + U_2 = \varepsilon \quad \text{Через конденсатор}$$

ток нулевой.  
на конденсаторе

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{4R}{R} = \frac{4x}{1x} \Rightarrow \begin{cases} U_2 = \frac{4}{5} \varepsilon \\ U_1 = \frac{1}{5} \varepsilon \end{cases}$$

$$U_3 = U_2 = \frac{4}{5} \varepsilon$$

$$\text{Ответ 2) } U_3 = \frac{4}{5} \varepsilon$$



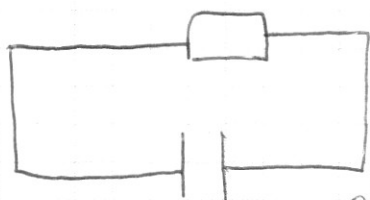
До размыкания энергия конденсатора:

$$E_1 = \frac{CU_3^2}{2} ; \text{ заряд: } Q_1 = CU_3.$$

После размыкания, установившейся режим:  $E_2 = 0 ; Q_2 = 0.$

цель:

(ЭДС ~~не~~  
разомк-  
нут ключ.)



Вся энергия

конденсатора

перейдет в тепловую!

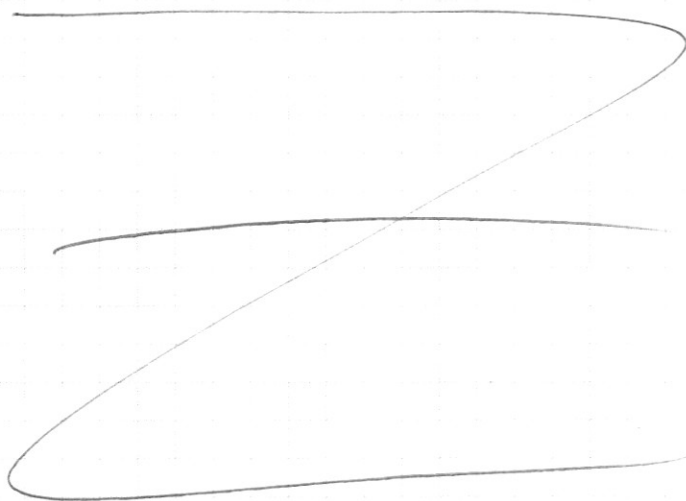
(выделится

на резисторе)

$$Q = \frac{CU_3^2}{2}$$

$$Q = \frac{16}{50} \text{ } \epsilon \epsilon^2$$

Ответ 3)  $Q = 0,32 \text{ } \epsilon \epsilon^2$



**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

$u = 0 \Rightarrow R = 0!$

56p  
112  
112

$u_0 = 15^2$

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

$\frac{1}{2} C_0 u$   
 $\square \quad I = 0$   
 $\quad \quad R = 0$   
 $R = 8,31$   
 $\times 10^0$

$\frac{\epsilon_0 S}{\frac{1}{\frac{1}{2d-x} + \frac{1}{x}}}$



$ma_n = T$

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

$k = \frac{q^2}{r^2} = R$   
 $k = \frac{m \cdot u^2}{k r^2}$

$v_B \neq 0!$

$\frac{\epsilon_0 S}{\frac{2d}{3}} = \frac{3\epsilon_0 S}{2d}$

~~$mg = N \cos \alpha + m a_{\text{along}}$~~   
 $mg = N \cos \alpha + m a_{\text{along}}$   
 $N \sin \alpha = m a_{\text{along}}$

$\frac{v_B^2}{R} = g?$

Столк. кот  
3СЭ подвешены  
m v\_0  
 $F_{ot} = \Delta P$   
 $F_{T} = 4m v_r$   
 $-F_{T} = m v_r - m v_0$   
 $\frac{m v_0}{2} = \frac{(m + 4m) v_r}{2}$

$mg = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot m a \cos \alpha + m a_{\text{along}} g$

$a = \frac{g}{\frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} + \sin \alpha}$

$4v_r = m v_r + m v_0$   
 $5v_r = v_0$   
 $v_r = \frac{v_0}{5}$

$I_0 = 0?$

$\frac{(m + 4m) v_r}{2} + m g h - ?$

$[R] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{К} \cdot \text{моль}}$

$$\underline{\Sigma_{\text{сум}} = \Sigma_{k1} + \Sigma_{k2} + \Sigma_{п1} + \Sigma_{п2}}$$

$$\Sigma_{\text{сум}} = \text{const}$$
$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{5 m v_r^2}{2} + m g h$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4 m v_{kr}^2}{2} + \frac{m v_k^2}{2} = \frac{5 m v_r^2}{2} \\ 4 v_{kr} + v_k = 5 v_r \end{array} \right.$$

$$F S = 4 m (v_{kr} - v_r)$$

$$-F S = m (v_k - v_r)$$

$$4 m (v_{kr} - v_r) =$$

$$= v_k m - v_r m$$

$$4 v_{kr} + v_k = 5 v_r$$

$$4 v_{kr} + v_k = 5 v_r$$