

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

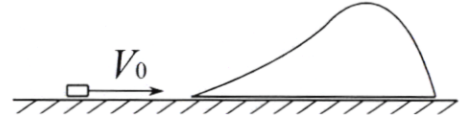
Шифр 5-002

(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?

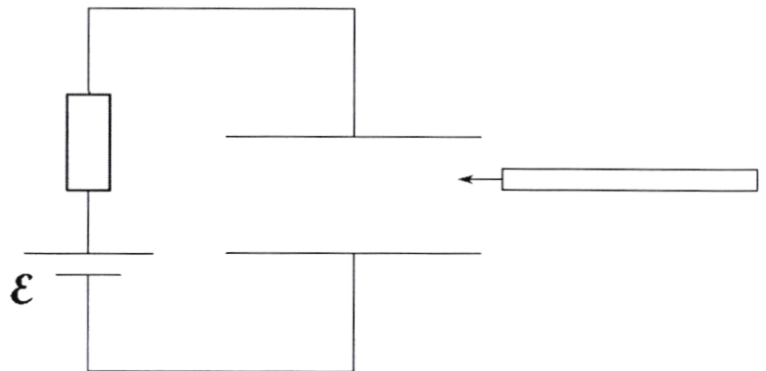
2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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 ε (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.

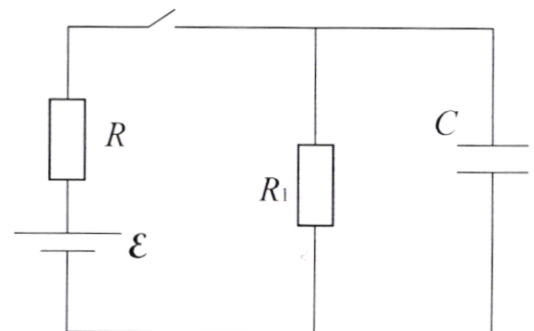
2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

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 , ε , 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

(N1)

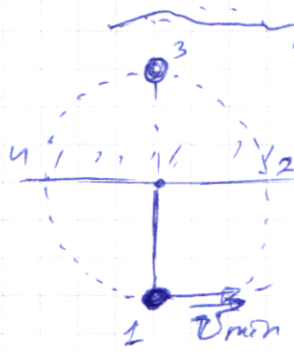
Дано:

$$L = 0,18 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

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

Решение:



Чтобы скорость была минимальной нужно, чтобы шарик ухватил сообразной энергии для достижения поз. 4. Т.к. далее он будет

двигаться тоже по той же окружности, но под действием $\vec{m\vec{g}}$.

$$\frac{mv_{\text{min}}^2}{2} = 2,5mgL \quad (\text{т.к. две } L \text{ вверх и одна вниз})$$

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

$$v_{\text{min}} = \sqrt{5gL} = \sqrt{9} = 3 \text{ м/с} \quad \text{Ответ: } 3 \text{ м/с}$$

(N2)

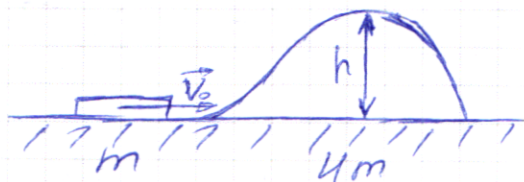
Дано:

$$m; v_0; 4m$$

$$1) h_{\text{max}} = ?$$

$$2) v = ?$$

Решение:



ЗУИ:

$$mv_0 = m(v_1 + v_2) + 4mv_2$$

импульс до столкновения на горке импульс горки

$$mv_0 = mv_1 + 5mv_2 \quad (\text{Продолжение на стр. 4})$$

N3

Дано:

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

$$n_1 ; T_1 = 400 \text{ К}$$

$$v_1 = 0,1 \text{ моль}$$

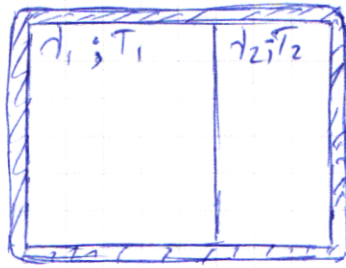
$$T_2 = 280 \text{ К}$$

$$v_2 = 0,4 \text{ моль}$$

1). θ - ?

2). $p_{\text{кон}}$ - ?

Решение:



Когда разрывается перегородка, в сосуде устанавливается одинаковое давление.

Тогда запишем уравнение теплового баланса: $(Q_{\text{отд.}} + Q_{\text{пол.}} = 0)$

$$\mu m_1 (\theta - T_1) + \mu m_2 (\theta - T_2) = 0$$

$$v_1 M (\theta - T_1) + v_2 M (\theta - T_2) = 0$$

$$v_1 \theta - v_1 T_1 + v_2 \theta - v_2 T_2 = 0$$

$$(v_1 + v_2) \theta = v_1 T_1 + v_2 T_2$$

$$1) \theta = \frac{v_1 T_1 + v_2 T_2}{v_1 + v_2} ; \theta = \frac{40 + 112}{0,5} = 304 \text{ К} = \underline{31 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

2). После установления термодинамического равновесия:

$$p_{\text{кон}} V = (v_1 + v_2) R \theta ; p_{\text{кон}} = \frac{(v_1 + v_2) R \theta}{V}$$

$$p_{\text{кон}} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 304}{8,31 \cdot 10^{-3}} = \underline{152 \text{ кПа}}$$

Ответ: $\theta = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$; $p_{\text{кон}} = 152 \text{ кПа}$

N4

Дано:

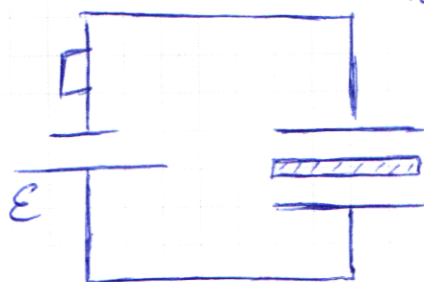
$$\epsilon_0 ; \epsilon$$

$$d/3$$

1). ϵ_1 - ?

2). q_1 - ?

Решение:



После введения пластины в конденсатор, мы получим два конденсатора ϵ с расстоянием $d/3$ ($d_1 = \frac{d-1/3}{2}$), соединенных последовательно

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда:

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

Общая ёмкость двух будет равна: $\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C}$
(ёмкости каждого C)

$$\frac{1}{C_1} = \frac{2}{C} \Rightarrow C_1 = \frac{C}{2}; \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d/3}$$

$$C = \frac{3\epsilon_0 S}{d} = 3C_0, \text{ значит}$$

$$1) C_1 = \frac{3C_0}{2} = 1.5 C_0$$

№5

Дано:

$$r = R$$

$$R_1 = 4R$$

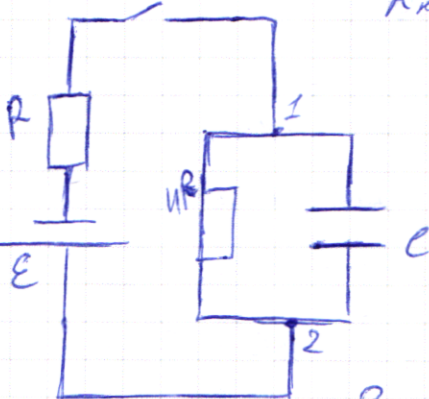
$$C; \epsilon; R$$

$$1) I - ?$$

$$2) U_{\text{конд.}} - ?$$

$$3) Q - ?$$

Решение:



$$R_{\text{конд.}} \rightarrow \infty$$

Сопротивление участка 1-2:

$$\frac{1}{R_{\text{общ.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{\text{конд.}}}$$

$$\frac{1}{R_{\text{общ.}}} = \frac{1}{R_1} \quad R_{\text{общ.}} = R_1$$

Закон Ома для цепи:

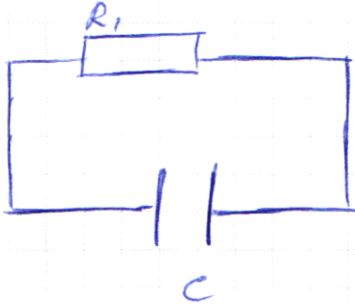
$$1) I = \frac{\epsilon}{r + R_{\text{общ.}}} = \frac{\epsilon}{R + 4R} = \frac{\epsilon}{5R}$$

2) Т.к. резистор R_1 и конденсатор соединены параллельно, то $U_1 = U_{\text{конд.}} = U_{12}$

$$U_{12} = IR_{12} = IR_1$$

$$2) U_{12} = U_{\text{конд.}} = \frac{\epsilon}{5R} \cdot 4R = \frac{4\epsilon}{5}$$

3). Если разомкнуть ключ, то ток будет идти только по схеме:



Теплота будет выделяться пока не разрядится конденсатор \Rightarrow
 $E_{\text{конд}} = Q$

$$\frac{\epsilon U_{\text{конд.}}^2}{2} = Q \quad ; \quad Q = \frac{\epsilon \cdot 16\epsilon^2}{25 \cdot 2} = \frac{8\epsilon^3}{25}$$

Ответ: $I = \frac{\epsilon}{5R}$; $U_{\text{конд.}} = \frac{4}{5}\epsilon$; $Q = \frac{8}{25}\epsilon^3$

(N2) (Продолжение)

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

3СЭ:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{5mu_2^2}{2} + \cancel{\frac{mu_1^2}{2}} + \frac{mu_1^2}{2}$$

энергия макета двоице горки и макета с горкой

$$\frac{mu_1^2}{2} = mgh_{\text{max}}$$

$$u_1^2 = 2gh$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 25u_2^2 - 10u_2V_0 \quad | \quad 10u_2V_0 - 12V_0u_2 = 0$$

$$30u_2^2 - 10u_2V_0 = 0 \quad u_2 = 0$$

$$3u_2^2 - u_2V_0 = 0$$

$$u_2(3u_2 - V_0) = 0$$

$$V_0^2 = 4u_2^2 + u_1^2 + u_2^2 - 2u_1u_2$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2 - 2u_1u_2$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2 \quad u_1 = V_0 - 5u_2$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 25u_2^2 - 10u_2V_0 \Rightarrow$$

$$-2V_0u_2 + 10u_2^2 \quad u_2 = 0$$

$$\Downarrow$$

$$u_1 = V_0$$

$$\left[\begin{array}{l} u_2 = 0 \\ u_2 = \frac{1}{3}V_0 \end{array} \right. \quad h = \frac{V_0^2}{2g}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

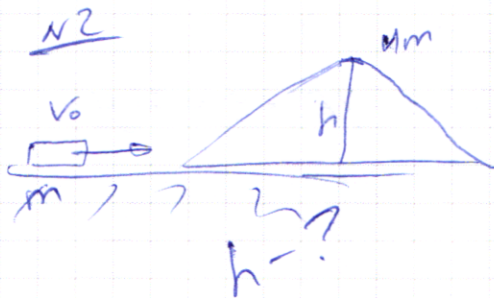
N1.
 $l = 0,18 \text{ м}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

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

$$v^2 = 5gl$$

$$v = \sqrt{5gl}$$

$$v = \sqrt{9} = 3$$



ЗСМ: $mv_0 = m(u_1 + u_2) + 4mu_2$

ЗСЭ: $mgh + \frac{4mu_2^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$

$$mgh = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{4mu_2^2}{2}$$

$$\frac{mu_1^2}{2} = mgh$$

$$u_1^2 = 2gh$$

$$v_0 = u_1 + 5u_2 \Rightarrow$$

$$u_2 = \frac{v_0 - u_1}{5}$$

$$u_2^2 = \frac{v_0^2 + u_1^2 - 2v_0u_1}{25}$$

$$= \frac{v_0^2 + 2gh - 2\sqrt{2gh}v_0}{25}$$

$$gh = \frac{v_0^2}{2} - 2 \cdot \frac{v_0^2 + 2gh - 2\sqrt{2gh}v_0}{25}$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{4u_2^2}{2g}$$

$$\frac{v_0^2}{2g} - \frac{4u_2^2}{2g} = h$$

$$\frac{v_0^2}{2g} - \frac{4u_2^2}{2g} = \frac{v_0^2 + 2gh - 2\sqrt{2gh}v_0}{25}$$

$$25 \frac{v_0^2}{2g} - 25 \frac{4u_2^2}{2g} = v_0^2 + 2gh - 2\sqrt{2gh}v_0$$

$$25 \frac{v_0^2}{2g} - v_0^2 - 2gh$$

NS

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

$$R = 8,31$$

$$pV = \nu RT$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$$

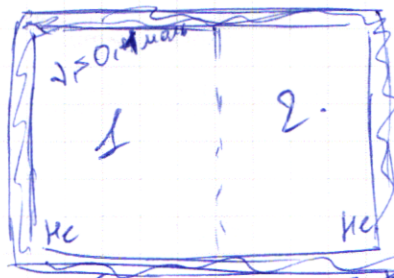
$$U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \cdot 0,11 \cdot R \cdot 400 = 60R$$

$$U_2 = \frac{3}{2} \cdot 0,4 \cdot R \cdot 280 = 168R$$

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

$$T_2 = 280\text{K}$$



$$p_1 \nu_1 = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 \nu_2 = \nu_2 R T_2$$

$$Q = A_1 u_1 + A_2 u_2$$

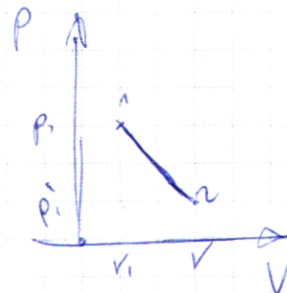
$$\frac{28}{168}$$

$$p_1 + p_2 = p_{\text{atm}}$$

$$\frac{\nu_1 R T_1}{V_0} + \frac{\nu_2 R T_2}{V_0} = (\nu_1 + \nu_2) R \Theta$$

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

$$\Theta = \frac{40 + 112}{0,5} = 152 \cdot 2 = 304\text{K}$$



$$\Delta U_1 + A_1 = \Delta U_2 + A_2$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (\Theta - T_1) + \frac{(p_1' + p_1)}{2} (V - V_1) =$$

$$\frac{3}{2} \nu_2 R (\Theta - T_2) + \frac{(p_2' + p_2)}{2} (V - V_2)$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (\Theta - T_1) + \nu_1 R T_1$$

$$p_1' = \frac{\nu_1 R T_1}{V} \rightarrow p_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{V_1} = \nu_1 R T_1 \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_1} \right)$$

$$p_2' = \frac{\nu_2 R T_2}{V} \rightarrow p_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{V_2}$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (\Theta - T_1) - \nu_1 R T_1 \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_1} \right) \cdot (V_1 - V_0) = \frac{3}{2} \nu_2 R (\Theta - T_2) - \nu_2 R T_2 \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_2} \right)$$

$$\cdot (V_2 - V)$$

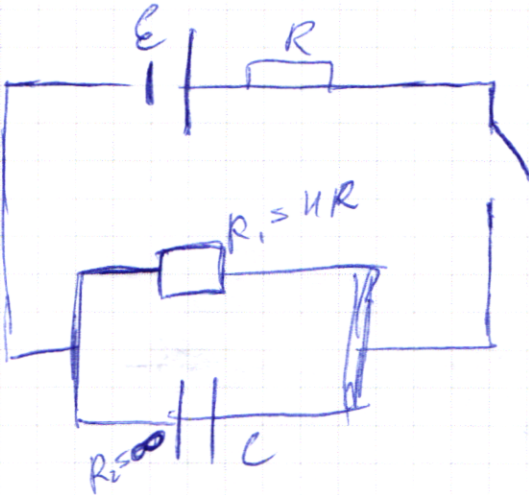
$$\frac{3}{2} \nu_1 R (\Theta - T_1) - \nu_1 R T_1 \frac{V_1^2 - V^2}{V V_1} = \frac{3}{2} \nu_2 R (\Theta - T_2) - \nu_2 R T_2 \frac{V_2^2 - V^2}{V V_2}$$

$$m V_0 = m (u_1)$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

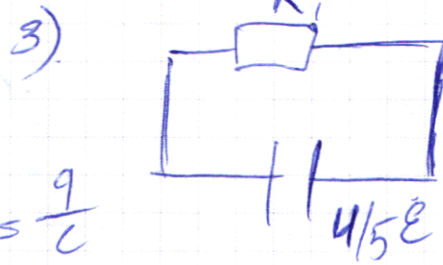
№ 3.



1)
$$I = \frac{\varepsilon}{R + 4R} = \frac{\varepsilon}{5R}$$

2)
$$U = IR_1$$

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

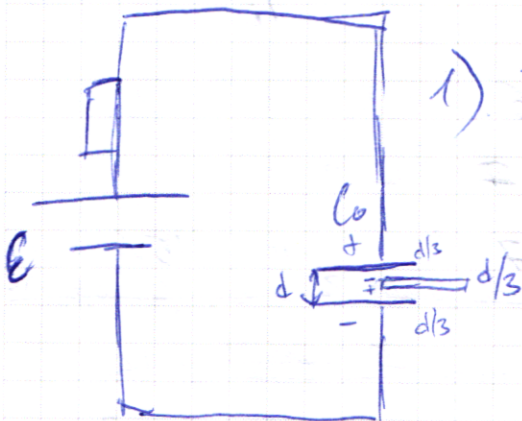


$$U = \frac{q}{C}$$

$$q = \frac{4}{5}\varepsilon C$$

$$Q = \frac{CU^2}{2} = \frac{C \cdot 16\varepsilon^2}{50} = \frac{16C\varepsilon^2}{50} = \frac{8}{25}C\varepsilon^2$$

№ 4.



1) два конденсатора

~~$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$$~~

~~$$C_1 = \frac{C}{2}$$~~ ~~$$C_2 = \frac{C}{2}$$~~

$$C_1 = \frac{C}{2}$$

$$C_1 = \frac{3C_0}{2}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d/3}$$

тогда

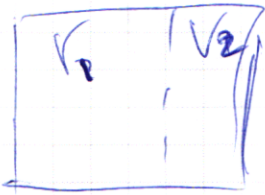
$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

$$S = \frac{dC_0 \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$$

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

2)

13.



Если перегородка не порвалась

$$Q = \Delta U + A$$

$$0 = \Delta U + 0 \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Rightarrow U = \text{const}$$

Добе газа один.

$$\gamma_1(\theta - T_1) + \gamma_2(\theta - T_2) = 0$$

$$\gamma_1\theta - \gamma_1T_1 + \gamma_2\theta - \gamma_2T_2 = 0$$

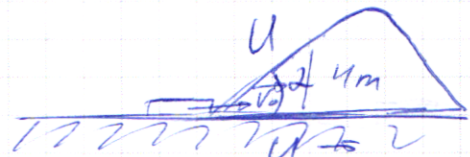
$$\theta(\gamma_1 + \gamma_2) = \gamma_2T_2 + \gamma_1T_1$$

$$p_{\text{кон.}} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 304}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 152 \text{ кПа} \quad \theta = 304 \text{ К}$$

12

3CU: $mV_0 = mu_1 + 4mu_2$

$$V_0 = u_1 + 4u_2$$



3CQ: $\frac{mu_1^2}{2} = mgh \quad u_1^2 = 2gh \quad mV_0 = \dots$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mu_1^2}{2} + \frac{4mu_2^2}{2} \quad mV_0 = mu \cos \alpha +$$

$$V_0^2 = u_1^2 + u_2^2$$

~~$$V_0^2 = 2gh + u_2^2$$~~
$$V_0 = u_1 + 4u_2$$

~~$$\begin{cases} V_0^2 = u_1^2 + 16u_2^2 + 8u_1u_2 \\ V_0 = u_1 + 4u_2 \end{cases}$$~~

$$u_2 = \frac{V_0 - u_1}{4}$$

$$V_0^2 = u_1^2 + \frac{V_0^2 + u_1^2 - 2u_1V_0}{16}$$

~~$$mV_0 = mu_1 + 5mu_2$$~~

$$mV_0 = mu_1 + mu_2 + 4mu_2 = mu_1 + 5mu_2$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

$$16V_0^2 = 16u_1^2 + V_0^2 + u_1^2 - 2u_1V_0$$

$$15V_0^2 = 17u_1^2 - 2u_1V_0$$

$$17u_1^2 - 2u_1V_0 - 15V_0^2 = 0$$
~~$$D = 4V_0^2 + 100V_0^2 = (8V_0)^2$$~~

$$u_1 = \frac{2V_0 + 8V_0}{10} = V_0$$

~~$$u_2 = \frac{2V_0 - 8V_0}{10} = -\frac{3}{5}V_0$$~~

~~$$D = 4V_0^2 + 100V_0^2 = 104V_0^2 = (32V_0)^2$$~~

$$u_1 = \frac{2V_0 + 32V_0}{34} = V_0$$

~~100~~
~~1020~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

$$V_0^2 = (u_1 + 5u_2)^2 = u_1^2 + 10u_1u_2 + 25u_2^2$$

$$V_0^2 = u_1^2 + u_2^2 + 2u_1u_2 + u_2^2$$

$$\begin{cases} V_0^2 = u_1^2 + 2u_2^2 + 2u_1u_2 \\ V_0 = u_1 + 5u_2 \end{cases}$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2$$

$$V_0^2 = V_0^2 + 25u_2^2 - 10V_0u_2 + 2u_2^2 + 2(V_0 - 5u_2)u_2 =$$

$$25u_2^2 - 10V_0u_2 + 2u_2^2 + 2V_0u_2 - 10u_2^2 = 0$$

$$17u_2^2 - 8V_0u_2 = 0$$

$$u_2(17u_2 - 8V_0) = 0$$

$$u_2 = \frac{8V_0}{17}$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2 = V_0 - 5 \cdot \frac{8V_0}{17} = V_0 \left(1 - \frac{40}{17}\right) = -\frac{23V_0}{17}$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2 = -\frac{23V_0}{17} + 5 \cdot \frac{8V_0}{17} = \frac{-23V_0 + 40V_0}{17} = \frac{17V_0}{17} = V_0$$

$$mV_0 = m(u_1 + u_2) + 4mu_2$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{m(u_1 + u_2)^2}{2} + \frac{4mu_2^2}{2}$$

$$V_0^2 = u_1^2 + 4u_2^2$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

$$V_0^2 = V_0^2 + 25u_2^2 - 10u_2V_0 + 4u_2^2$$

$$V_0 = u_1 + 4u_2$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{5mu_2^2}{2} +$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = mgh + \frac{4mu_2^2}{2} + \frac{mu_1^2}{2}$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2$$

$$V_0 = u_1 + 3u_2$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2$$

$$V_0^2 = u_1^2 + V_0^2 + 16u_2^2 - 8u_1V_0$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 9u_2^2 - 6u_2V_0$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

$$V_0^2 = (u_1 + u_2)^2 + 4u_2^2$$

$$V_0^2 = (V_0 - 4u_2)^2 + 4u_2^2$$

$$V_0^2 = V_0^2 + 16u_2^2 - 8V_0u_2 + 4u_2^2$$

$$20u_2^2 - 8V_0u_2 = 0$$

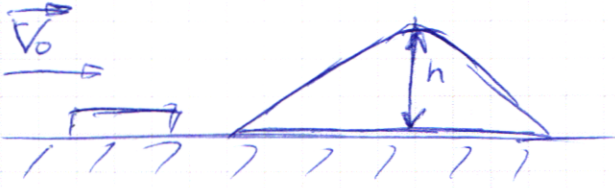
$$5u_2^2 - 2V_0u_2 = 0$$

$$u_2 = \frac{2V_0}{5}$$

$$5u_2 - 2V_0 = 0$$

$$u_2 = \frac{2V_0}{5}$$

N2



$$mgh_{\max} = \frac{m u_1^2}{2}$$

~~$$u_1 = \sqrt{2gh}$$~~

$$h = \frac{u_1^2}{2g}$$

$$mV_0 = m u_1 + 4m u_2$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{5m u_2^2}{2} + \frac{m u_1^2}{2}$$

$$\begin{cases} V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2 \\ V_0 = u_1 + 4u_2 \end{cases}$$

$$u_1 = V_0 - 4u_2$$

~~$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 16u_2^2 - 8V_0 u_2$$~~

~~$$21u_2^2 - 8V_0 u_2 = 0$$~~

~~$$u_2 = \frac{8}{21} V_0$$~~

~~$$mV_0 = m(u_1 + 4u_2)$$~~

~~$$mV_0 = m u_1 + 4m u_2$$~~

~~$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{4m u_2^2}{2} + \frac{m(u_1 - u_2)^2}{2}$$~~

~~$$V_0^2 = 4u_2^2 + (u_1 - u_2)^2$$~~

3CU:

$$mV_0 = m(u_1 + u_2) + 4m u_2$$

3C7:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{4m u_2^2}{2} + \frac{m(u_1 + u_2)^2}{2}$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{4m u_2^2}{2} + \frac{m u_1^2}{2} + \frac{m u_2^2}{2} +$$

~~$$+ \frac{2m u_1 u_2}{2}$$~~

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{4m u_2^2}{2} + \frac{m u_2^2}{2} + \frac{m u_1^2}{2}$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{5m u_2^2}{2} + \frac{m u_1^2}{2}$$

$$mV_0 = m(u_1 + u_2) + 4m u_2$$

$$V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2$$

$$V_0 = u_1 + 5u_2$$

$$u_1 = V_0 - 5u_2$$

~~$$V_0^2 = 5V_0^2 + 125u_2^2 - 50u_2 V_0$$~~

~~$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 25u_2^2 - 10u_2 V_0$$~~

~~$$30u_2^2 - 10u_2 V_0 = 0$$~~

~~$$u_2 = \frac{1}{3} V_0$$~~

~~$$V_0 = u_1 + 3u_2$$~~

~~$$u_1 = V_0 - 3u_2$$~~

~~$$V_0^2 = 5u_2^2 + u_1^2$$~~

~~$$V_0^2 = 5u_2^2 + V_0^2 + 9u_2^2 - 6u_2 V_0$$~~

~~$$14u_2^2 - 6u_2 V_0 = 0$$~~

~~$$7u_2^2 - 3u_2 V_0 = 0 \quad u_2 = \frac{3}{7} V_0$$~~