

Олимпиада «Физтех» по физике, 6

Вариант 10-01

Класс 10

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

1. Камень бросают с вышки со скоростью $V_0 = 8$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. В полете камень все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2,5V_0$.

1) Найти вертикальную компоненту скорости камня при падении на Землю.

2) Найти время полета камня.

3) Найти горизонтальное смещение камня за время полета.

Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 5m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в оси блока можно пренебречь. Коэффициент трения между ящиком и полом μ .



1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?

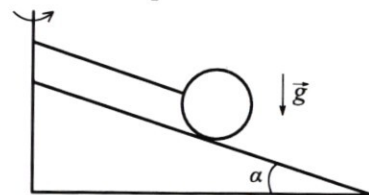
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

3) Какой скорости достигнет ящик, если человек осуществит задуманное, приложив постоянную силу F ($F > F_0$) к канату?

3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается нитью длиной L , привязанной к вертикальной оси, проходящей через вершину клина. Нить параллельна поверхности клина.

1) Найти силу натяжения нити, если система покоится.

2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

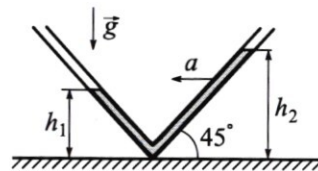


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении уровни масла в коленях трубки устанавливаются на высотах $h_1 = 8$ см и $h_2 = 12$ см.

1) Найдите ускорение a трубки.

2) С какой максимальной скоростью V будет двигаться жидкость относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет»)?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Действие сил трения пренебрежимо мало.



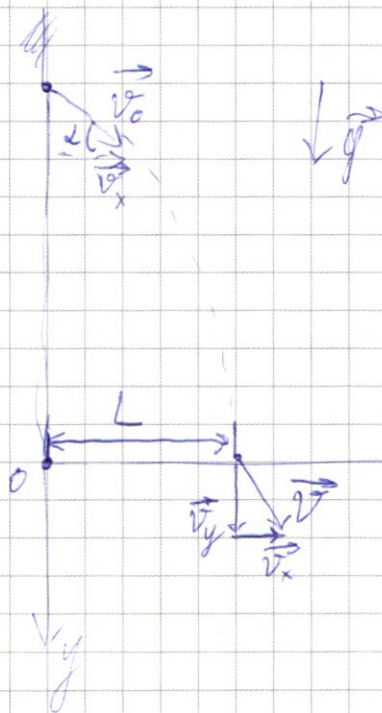
5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 95°C и давлении $P = 8,5 \cdot 10^4$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

1) Найти отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта.

2) Найти отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем пара уменьшится в $\gamma = 4,7$ раза.

Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



W 1

$$v = 2,5 v_0$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

2р

$$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g}t \Rightarrow v_y = v_0 \sin \alpha + gt$$

$$v_y = \sqrt{v^2 - v_x^2} \quad (2) \quad t = \frac{v_y - v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$= \sqrt{(2,5)^2 v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= v_0 \sqrt{(2,5 - \cos \alpha)(2,5 + \cos \alpha)}$$

(1)

$$x = x_0 + v_x t$$

$$(3) \quad L = 0 + v_0 \cos \alpha t$$

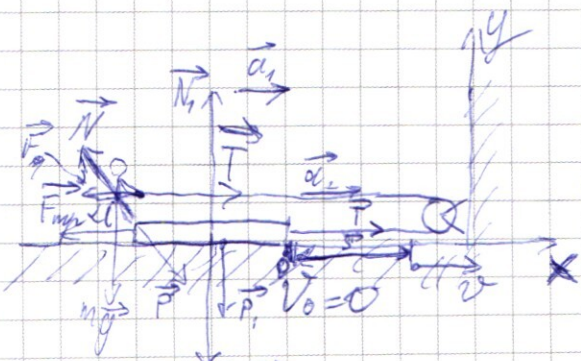
W 2

$$8\sqrt{5} - 4\sqrt{3} =$$

$$= 4\sqrt{3} (2\sqrt{2} - 1)$$

4

$$a_1 = a_2 = a$$



$$N_1 = P_1$$

$N = P$ (III закон Ньютона) сила с которой человек давит на пол

$$I. \quad m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = m\vec{a}_y$$

$$x: T - N \cos \alpha = ma$$

$$y: N \sin \alpha = mg$$

$$II. \quad \vec{F}_{fr} + \vec{T} + \vec{P} + 5m\vec{g} + \vec{N}_1 = 5m\vec{a}_y$$

$$x: T + P \cos \alpha - F_{fr} = 5ma$$

$$y: 5mg + P \sin \alpha = N_1$$

$$F_{fr} = \mu N_1$$

$$(1) \quad P_1 \neq 6mg$$

$$F_0 = T \text{ (III з-к Ньютона)}$$

$$2) \begin{cases} T - N \cos \alpha = 0 \\ N \sin \alpha = mg \\ T + N \cos \alpha - \mu N_s = 0 \\ N_s = 6mg \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_0 = N \cos \alpha \\ N \sin \alpha = mg \\ F_0 + N \cos \alpha = \mu \cdot 6mg \end{cases}$$

$$2F_0 = 6\mu mg$$

$$(2) F_0 = 3\mu mg$$

$$3) F = T \text{ (аналогично } F_0 = T)$$

$$\begin{cases} F - N \cos \alpha = ma \\ N \sin \alpha = mg \\ F + N \cos \alpha - \mu \cdot 6mg = 5ma \end{cases}$$

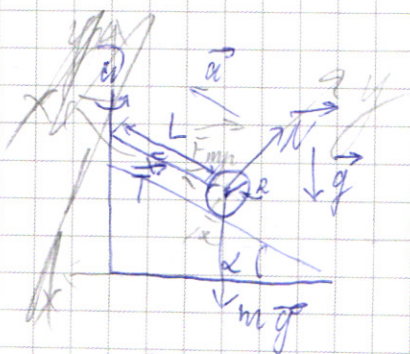
$$2F - \mu \cdot 6mg = 6ma$$

$$\frac{F - 3\mu mg}{3m} = \frac{F}{3m} - \mu g = a$$

$$S = \frac{v^2}{2a}$$

$$S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

$$S = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow v = \sqrt{2aS} = \sqrt{2\left(\frac{F}{3m} - \mu g\right)S} \quad (3)$$



$$\sqrt{3}$$

$$1) \vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$$

$$x: T = mg \sin \alpha$$

$$y: N = mg \cos \alpha$$

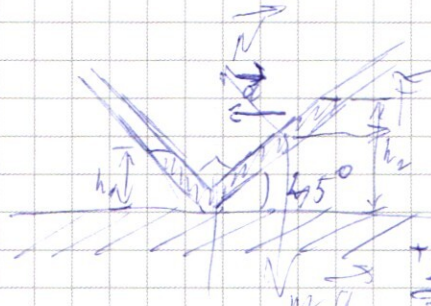
$$2) \vec{T}_1 + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$x: T_1 - mg \sin \alpha = m a_n = \frac{v^2}{L+R}; y: N = mg \cos \alpha$$

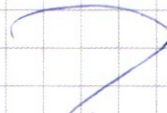
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T_1 = mg \sin \alpha + m \omega^2 (L+R) = m (g \sin \alpha + \omega^2 (L+R))$$

$$\vec{F}_n = -m\omega^2 \vec{r}$$



$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 831 \\ \hline 1368 \\ 26648 \\ 4986 \\ + 2493 \\ \hline 305808 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 85 \\ \times 19 \\ \hline 1700 \\ + 680 \\ \hline 1520 \\ 95 + 273 = \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 55 \\ \times 6661 \\ \hline 59949 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 6661 \\ \hline 39966 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 33 \\ \times 6661 \\ \hline 33305 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 22 \\ \times 6661 \\ \hline 26644 \end{array}$$

$$= 368$$

Изотерм. процесс $\Rightarrow pV = p_1 V_1$
 $t = 95^\circ \text{C}$ $T = 95 + 273 \text{ K}$

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$p = \frac{\rho R T}{\mu}$$

$$\frac{p\mu}{RT} = \rho$$

$$\begin{array}{r} 91010 \\ 305808 \mid 6661 \\ \hline 26644 \\ 39368 \\ - 33305 \\ \hline 60630 \\ 59949 \\ \hline 68810 \\ 6661 \\ \hline 62149 \end{array}$$

$$\gamma = 4,7$$

$$\frac{V_n}{V_0} = \frac{m_n}{m_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_n}$$

$$= \frac{\rho_0 R T}{\mu p} \cdot \frac{1}{4,7} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{4,7}}$$

$$m_{n0} - m_n = m_0$$

$$m_{n0} - \frac{m_{n0}}{4,7} = m_0$$

$$m_n = \frac{m_{n0}}{4,7} \quad (m.n. \quad V_{n0} = 0,4 V_n)$$

$$\rho_n = \text{const} \Rightarrow \frac{m_{n0}}{V_{n0}} = \frac{m_n}{V_n}$$



$$m'g(h_2 - h_1) = \frac{m'g(h_2 - h_1)}{2} + \frac{m'v^2}{2}$$

$$2g(h_2 - h_1) = g(h_2 - h_1) + v^2$$

$$v = \sqrt{g(h_2 - h_1)} = \sqrt{10 \cdot 0,4} = \sqrt{4} = 2 \text{ м/с}$$

$$m_2 \vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{p}_1 \vec{S} = m_2 \vec{a}$$

$$x: \frac{m_2 g h_1}{2} - N_2 \sin 45^\circ = m_2 a$$

$$y: N_2 \cos 45^\circ = m_2 g$$

$$\Rightarrow \frac{m_1 g}{2} - m_2 g = m_2 a$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{h_1}{h_2}$$

если машина со скоростью v движется по наклонной

$$m_1 g = 2 m_2 (a + g)$$

$$\frac{m_1}{m_2} g = 2(a + g)$$

$$\frac{h_1}{h_2} g = 2a + 2g$$

$$2a = g(2 - \frac{h_1}{h_2})$$

$$a = g(1 - \frac{h_1}{2h_2})$$

$$0 < \sqrt{0,1} <$$

$$2\sqrt{2} \approx 2,8$$

$$\sqrt{2} \approx 1,4$$

$$\sqrt{0,1} \approx 0,32$$

$$\sqrt{3} \approx 1,7$$

$$\sqrt{6} \approx 2,45$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 2,38 \\ \hline 8 \end{array}$$

$$19,04$$

$$19,04 \div 3 = 6,346$$

$$16 \cdot 1,7 \cdot 1,8$$

$$\begin{array}{r} 306 \\ \times 1,6 \\ \hline 1836 \\ + 3060 \\ \hline 4896 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4,896 \\ \times 4 \\ \hline 19,584 \end{array}$$

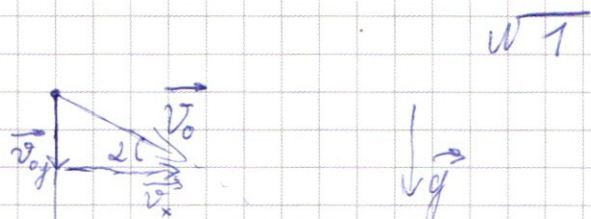
$$\begin{array}{r} 14 \\ \times 1,7 \\ \hline 24 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 1,7 \\ \hline 1,4 \\ + 66 \\ \hline 2,38 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8 \\ \times 3 \\ \hline 24 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,8 \\ \times 1,7 \\ \hline 1,26 \\ + 18 \\ \hline 3,06 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



(т.к. тело всё время
приближалось к оси x,
то $\vec{v}_0$ направлена
как показано на
рисунке)

$$v = 2,5 v_0$$

$$\alpha = 60^\circ$$

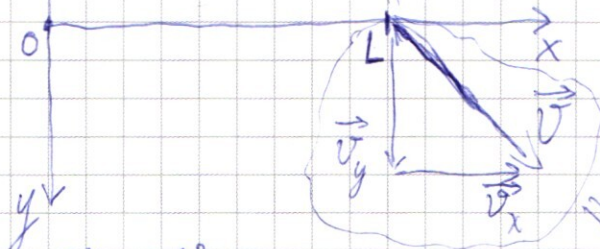
$$v_0 = 8 \text{ м/с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$1) v_y - ?$$

$$2) t - ?$$

$$3) L - ?$$



$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$\begin{aligned} 1) v_y &= \sqrt{v^2 - v_x^2} = \sqrt{(2,5)^2 v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha} = \\ &= v_0 \sqrt{(2,5 + \cos \alpha)(2,5 - \cos \alpha)} = \\ &= 8 \text{ м/с} \cdot \sqrt{(2,5 - 0,5)(2,5 + 0,5)} = \\ &= 8\sqrt{6} \text{ м/с} \approx 19,04 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$$2) \vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g}t \Rightarrow v_y = v_0 \sin \alpha + gt$$

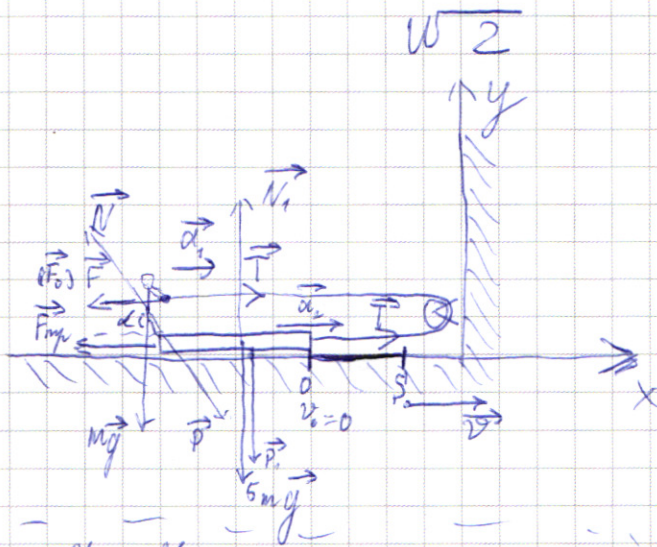
$$t = \frac{v_y - v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{8\sqrt{6} \text{ м/с} - \frac{8 \cdot \sqrt{3}}{2} \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{4\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1)}{10} \text{ с} =$$

$$= 0,4\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1) \text{ с} \approx 1,224 \text{ с}$$

$$3) x = x_0 + v_x t$$

$$\begin{aligned} L &= 0 + v_0 \cos \alpha \cdot t = 8 \text{ м/с} \cdot 0,5 \cdot 0,4\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1) \text{ с} = \\ &= 1,6\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1) \text{ м} \approx 4,896 \text{ м} \end{aligned}$$

Ответ: 1) $8\sqrt{6} \text{ м/с} \approx 19,04 \text{ м/с}$ 2) $0,4\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1) \text{ с} \approx 1,224 \text{ с}$ 3) $1,6\sqrt{3}(2\sqrt{2} - 1) \text{ м} \approx 4,896 \text{ м}$



$S; m; 6m; \mu$

1) $P_1 - ?$

2) $F_0 - ?$

3) $V - ?$

$$a_1 = a_2 = a$$

$$N_1 = P_1$$

$$N = P$$

$$F_{\text{min}} (F_0) = T$$

III з-н Ньютона

$$1) m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = m\vec{a}_1$$

$$y: N \sin \alpha = mg$$

$$\vec{F}_{\text{mp}} + \vec{T} + \vec{P} + 5m\vec{g} + \vec{N}_1 = 5m\vec{a}_2$$

$$y: 5mg + \frac{P \sin \alpha}{N \sin \alpha = mg} = N_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_1 = 6mg$$

2) $m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0$ (т.к. при действии F_{min} , при котором ящик почти не движется (F_0), ящик будет двигаться равномерно)

$$x: T = N \cos \alpha \quad (1)$$

$$\vec{F}_{\text{mp}} + \vec{T} + \vec{P} + 5m\vec{g} + \vec{N}_1 = 5m\vec{a}_2 = 0$$

$$x: T + P \cos \alpha = 6mg \quad (2)$$

$$(1) \text{ и } (2) \Rightarrow 2F_0 = 6mg$$

$$F_0 = 3mg$$

3) аналогично п. 2 разделим проекции II з-н Ньютона на ось x (только с ускорением):

$$x: T = F N \cos \alpha = ma \quad (3)$$

$$x: T + N \cos \alpha - 6mg = 5ma \quad (4)$$

$$(3) \text{ и } (4): 2F - 6mg = 6ma$$

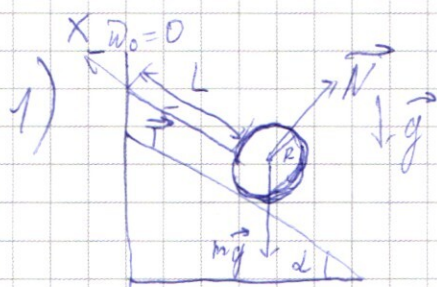
$$a = \frac{F}{3m} - mg$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$x = x_0 + \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

$$s = 0 + \frac{v^2 - 0}{2a} \Rightarrow v = \sqrt{2as} = \sqrt{2\left(\frac{F}{3m} - mg\right)s}$$

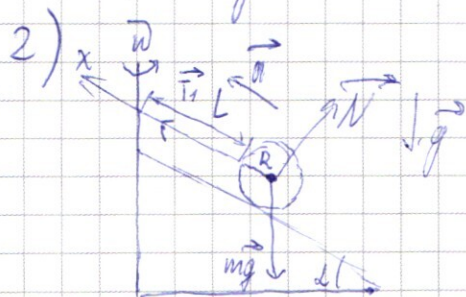
Ответ: 1) $6mg$; 2) $3mg$; 3) $\sqrt{2\left(\frac{F}{3m} - mg\right)s}$
 $\sqrt{3}$



$L; R; m; \alpha; \omega$
 1) $T - ?$
 2) $T_1 - ?$

$$\vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$$

x: $T = mg \sin \alpha$



$$\vec{T}_1 + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

x: $T_1 - mg \sin \alpha = m a_n$
 $a_n = \omega^2(L+R)$
 $\Rightarrow T_1 = mg \sin \alpha + m\omega^2(L+R) = m(g \sin \alpha + \omega^2(L+R))$

Ответ: 1) $mg \sin \alpha$; 2) $m(g \sin \alpha + \omega^2(L+R))$
 $\sqrt{5}$

1) П.к. температура не изменяется (процесс изотермический)

то $g_n = \text{const.}$
 $\downarrow$
 масса пара

По 3-й формуле Менделеева:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{или} \quad p = \frac{g_n}{\mu} RT \Rightarrow g_n = \frac{\mu p}{RT}$$

$$g_n = \frac{\mu \cdot p}{g \cdot R \cdot T} = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 8,5 \cdot 10^4}{10^3 \cdot 831 \cdot (95 + 273)} = \frac{18 \cdot 85}{831 \cdot 368 \cdot 10^3} =$$

$$= \frac{152}{305808 \cdot 10^2} \approx 0,000005$$

2) Т.е. $g_n = \text{const}$, но если V_n уменьшается в "n" раз, то m_n также уменьшается в "n" раз. $\Rightarrow$
 $\downarrow$ $\downarrow$
 масса пара $\downarrow$ объем пара

$$\Rightarrow m_n = \frac{m_{no}}{\gamma}$$

Соответственно $m_v = m_{no} - m_n = m_{no} \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) =$
 $\downarrow$
 масса образовавшейся воды $= \frac{m_{no}(\gamma - 1)}{\gamma}$

$$\frac{V_n}{V_v} = \frac{m_n}{g_n} \cdot \frac{g_v}{m_v} = \frac{g_v RT}{\mu p} \cdot \frac{m_{no}}{\gamma} \cdot \frac{\gamma}{m_{no}(\gamma - 1)} =$$

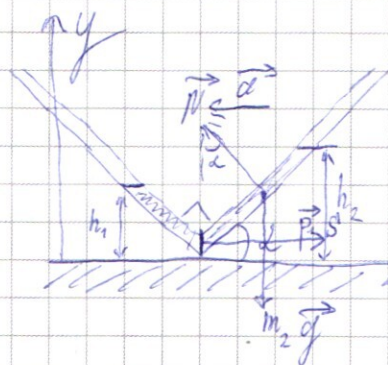
$$= \frac{g_v RT}{\mu p(\gamma - 1)} = \frac{831 \cdot 368 \cdot 10^3}{18 \cdot 85 \cdot 3,7} = \frac{305808 \cdot 10^3}{153 \cdot 37} = \frac{305808}{6667} \cdot 10^3$$

$$\approx 46910$$

Ответ: 1) $5 \cdot 10^{-6}$; 2) 46910
 $\sqrt{4}$

$\rightarrow$ (след. страница)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$h_1 = 8 \text{ см}$$

$$h_2 = 12 \text{ см}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$1) a - ?$$

$$2) V_{\text{max}} - ?$$

1) На поверхность в правой части сосуда действуют силы:

$$m_2 \vec{g} + \vec{N} + \vec{p}_1 S = m_2 \vec{a}$$

$$x: \frac{\rho g h_1 S}{2} - N \sin \alpha = -m_2 a$$

$$y: N \cos \alpha = m_2 g$$

$$\cos \alpha = \sin \alpha (\alpha = 45^\circ)$$

$$\rho S h_1 = m_1$$

$$\Rightarrow \frac{m_1 g}{2} - m_2 g = -m_2 a$$

$$m_1 g = 2 m_2 (g - a)$$

$$\frac{m_1}{m_2} g = 2g - 2a$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{h_1}{h_2} \text{ (если масса сосуда пренебрежимо мала)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{h_1}{h_2} g = 2g - 2a$$

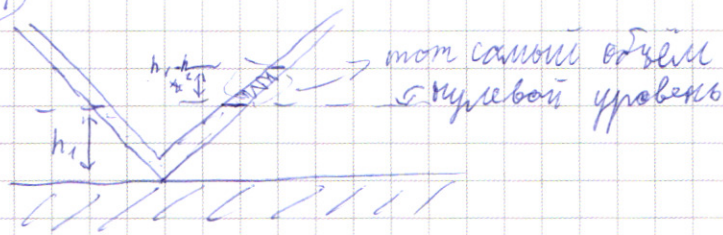
$$a = g \left(1 - \frac{h_1}{2h_2}\right) = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \left(1 - \frac{1}{6}\right) \approx 8,33 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

2) П.к. действие сил трения пренебрежимо мало, то для жидкости относительно сосуда $\vec{a}'' = 0$ выполняется з-н сохранения механической энергии.

Запишем этот з-н относительно точки

объёма ~~вод~~ жидкости выше h_1

(до:)

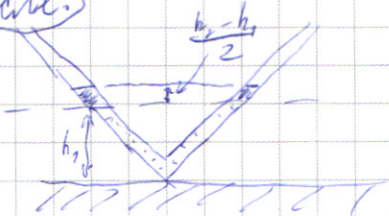


потенциальная энергия

Первоначально тот объём имеет $E_n = E_n = m'g(h_2 - h_1)$, который далее переходит частично в E_k . E_k будет кинетической энергией

увеличиваться, когда E_n будет уменьшаться (т.е. грубо говоря с силу несжимаемости жидкости объём, зажатый в высоте h_1 , будет оставаться на месте, а верхние слои объёма, зажатые в высоте $h_2 - h_1$, будут оказываться выше h_1 в левой части сосуда, но ниже h_2 (своего первоначального положения) и таким образом $E_n \downarrow \Rightarrow E_k \uparrow$) до тех пор пока уровни в левой и правой частях не будут одинаковы.

(после:)



$$E_2 = E_{n_2} + E_{k_2} = \frac{m'g(h_2 - h_1)}{2} + \frac{m'v^2}{2}$$

При дальнейшем движении жидкости слои будут переходить в более высокие из-за чего $E_n \uparrow \Rightarrow E_k \downarrow$. Значит v_{max} будет в случае E_2 .

$$E_1 = E_2 \Rightarrow 2m'g(h_2 - h_1) = m'g(h_2 - h_1) + m'v_{max}^2$$

$$v_{max} = \sqrt{g(h_2 - h_1)} = \sqrt{10 \frac{м}{с^2} \cdot 0,04 м} = \sqrt{0,4} \frac{м}{с} = 2\sqrt{0,1} \frac{м}{с} \approx 0,64 \frac{м}{с}$$

Ответ: 1) $8,33 \frac{м}{с}$; 2) $2\sqrt{0,1} \frac{м}{с} \approx 0,64 \frac{м}{с}$