

Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 10

Вариант 10-01

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

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.

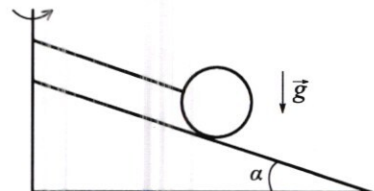
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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 .



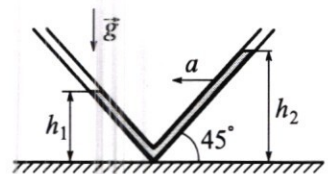
- 1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?
- 2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?
- 3) Какой скорости достигнет ящик, если человек осуществит задуманное, приложив постоянную силу F ($F > F_0$) к канату?

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

Задача 1.

Дано:

$$V_0 = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$V_3 = 2,5 V_0$$

Найти:

1) V_y - ?

2) t

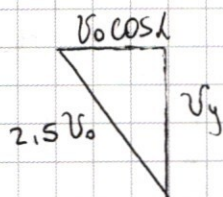
3) S_x

I) Поскольку ускорения по оси Ox нет, то
проекция скорости всегда одинакова (на ось Ox)

$$V_x = V_0 \cos \alpha$$

Рассмотрим векторный Δ скоростей:

Распишем длины векторов



По теореме Пифагора:

$$\sqrt{6,25 V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha} = V_y$$

$$V_y = V_0 \sqrt{6,25 - 0,5^2}$$

$$V_y = V_0 \sqrt{6}$$

$$V_y = 8 \cdot \sqrt{6} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 19,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

II) $V_y(t) = V_0 \sin \alpha - gt$

Вспомогательное с тем, что в выпр. осей V_y имеет отриц. проекцию

$$\frac{V_0 \sin \alpha - V_y(t)}{g} = t \Rightarrow \frac{-8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 19,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10} = t$$

Ответ (2): $t \approx 1,3 \text{ с}$

Обозначения:

- V_3 - скорость бляхмент парения
- t - время полета
- V_x - проекция V_3 на Ox
- S_x - ~~проекция~~ смещение к
- V_y - проекция V_3 на Oy

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр}} = 0$$

$$\boxed{\text{Ответ (2): } F_0 = 3 \text{ мкг}}$$

$$2F_{\text{тяги}} = F_0$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot 6 \text{ мкг}$$

$$2F_0 - 6 \mu \text{ мкг} = 0$$

$$\boxed{F_0 = 3 \mu \text{ мкг}}$$

III. Если же $F (= \text{const}) > F_0$, то система пойдет с ускорением расстояние S .

Найдем ускорение (a)

$$F - 6 \mu \text{ мкг} = 6 \text{ мкг} \quad F = 2F_{\text{тяги}}$$

$$\frac{F}{6 \text{ мкг}} - \mu g = a$$

Выполним формулу, связывающую скорости, ускорение и расст.:

$$\frac{v_k^2 - v_n^2}{2a} = S$$

$v_n = 0$, т.к. система изначально покоилась.

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

$$\boxed{v_k = \sqrt{2aS}}$$

$$\boxed{v_k = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{F}{6 \text{ мкг}} - \mu g \right) S}}$$

Ответ (3):

$$v_k = \sqrt{2 \left(\frac{F}{6 \text{ мкг}} - \mu g \right) S}$$

$$v_k = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{F}{6 \text{ мкг}} - \mu g \right) S}$$

Ответ:

$$\begin{aligned} 1) \quad N = P &= 6 \text{ мкг} \\ 2) \quad F_0 &= 3 \mu \text{ мкг} \\ 3) \quad v_k &= \sqrt{2 \left(\frac{F}{6 \text{ мкг}} - \mu g \right) S} \end{aligned}$$

Задача 3

Дано:

m - масса шара

R - радиус шара

α - $\angle$ наклона
плоск. к гор.

L - длина нити

Найти:

1) T_n - сила натяжения
нити при покое. сист.

2) T_d - сила натяжения
нити при вращ. с ω
(угл.ск)

Запишем $\Pi^{\vec{a}}$ 3-х Ньютона:

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

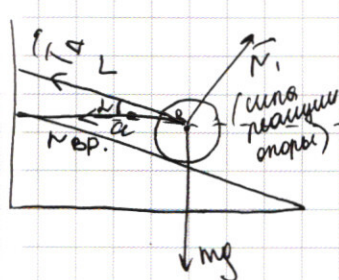
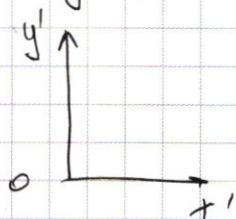
Поскольку тело покоится, то ускорения
нет:

Запишем проеции сил (в осях oxy)

$Ox:$ $T_n = mg \sin \alpha$

Ответ(1): $T_n = mg \sin \alpha$

II. Если же система вращается, то ц.м. шара имеет
ускорение a , направленное горизонтально.



$R_{вр}$ - радиус вращения ц.м.

$$R_{вр} = (L + R) \cos \alpha$$

~~Найдем ускорение~~ Найдем ускорение: $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$

Тогда запишем $\Pi^{\vec{a}}$ 3-х Ньютона:

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

$$a = \omega^2 \cdot (L + R) \cos \alpha$$

Распишем проеции в осях $ox'y'$:

$Ox:$ $T_d \cos \alpha - N \sin \alpha = m \omega^2 (L + R) \cos \alpha$

$Oy:$ ~~$N \cos \alpha = mg$~~ $N \cos \alpha + T_d \sin \alpha = mg$

$$N = \frac{mg - T_d \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Подставив формулу для m в уравнение II^ю из системы уравнений

$$T_A \cos \alpha - \frac{mg - T_A \sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = m \omega^2 (L+R) \cos \alpha$$

$$T_A \cos \alpha - (mg - T_A \sin \alpha) \tan \alpha = m \omega^2 (L+R) \cos \alpha$$

$$T_A \cos \alpha - mg \tan \alpha + T_A \sin \alpha \tan \alpha = m \omega^2 (L+R) \cos \alpha$$

$$T_A (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \alpha) = m \omega^2 (L+R) \cos \alpha + mg \tan \alpha$$

$$T_A = \frac{m (\omega^2 (L+R) \cos \alpha + g \tan \alpha)}{\frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\cos \alpha}}$$

$$T_A = \frac{m (\omega^2 (L+R) \cos \alpha + g \tan \alpha) \cos \alpha}{1}$$

$$T_A = m (\omega^2 \cos^2 \alpha (L+R) + g \sin \alpha)$$

Ответ: 1) $T_n = mg \sin \alpha$

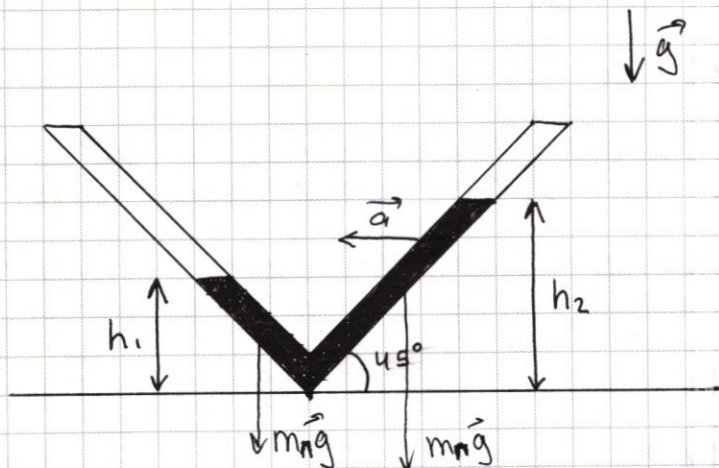
2) $T_A = m (\omega^2 \cos^2 \alpha (L+R) + g \sin \alpha)$

Задача 4

Дано:
 $\alpha = 45^\circ$ (см. рис)
 $h_1 = 8 \text{ см}$
 $h_2 = 12 \text{ см}$

Найти:

- 1) a и μ воды
- 2) $\max V$ воды



Давление масла в нижней точке левого колена:

$$P_n = \rho_m h_1 g$$

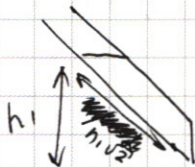
Давление масла в нижней точке правого колена:

$$p_n = h_2 \rho_m g$$

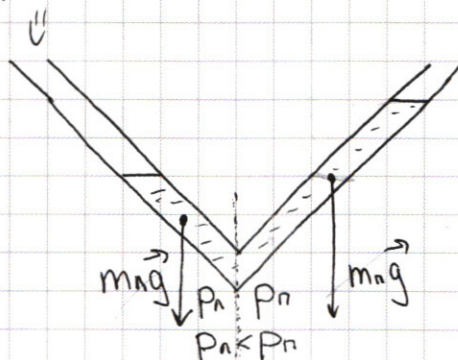
Разница давлений $\Delta p = (h_2 - h_1) \rho_m g$.

Масса масла в левом колене: (площадь сечения)

$$h_1 \sqrt{2} \cdot S \cdot \rho_m = m_l$$



Масса масла в правом колене: $m_n = h_2 \sqrt{2} S \rho_m$.



Из-за разницы

Поскольку трубка движется, возникает разница давлений

$$\begin{aligned} (h_2 - h_1) \rho_m g &= \rho_m \sqrt{2} (h_1 + h_2) a \\ \boxed{\frac{(h_2 - h_1) g}{\sqrt{2} (h_1 + h_2)}} &= a \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} \Delta p &= (h_2 - h_1) \rho_m g \\ \Delta p &= \frac{F}{S}, \text{ где } F - \text{ сила} \\ &\quad S - \text{ площадь приложения} \\ F &= m_B \cdot a \\ m_B &= m_l + m_n = h_1 S \rho_m \sqrt{2} + h_2 S \rho_m \sqrt{2} = S \rho_m \sqrt{2} (h_1 + h_2) \end{aligned} \right.$$

$$a = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ см}}{\sqrt{2} \cdot 20 \text{ см}} = \frac{10}{5\sqrt{2}} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 1,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

От вет (1) : $a = 1,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

II. Если трубка остановится моментально, то вода в ней будет двигаться

Максимальная скорость воды в трубке будет в момент, когда трубка остановится.

1 момент - трубка только что остановилась

2 момент - вода пришла в состояние покоя

1) $a = 0$



2)

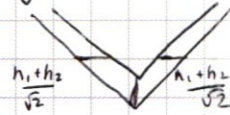


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

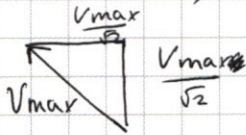
Максимальная скорость у воды будет в момент прохождения у.м. всей воды точки перегиба (дольше у.м. свободного падения будет уменьшать скорость)

ЗОЭ:

$$\frac{m_B V_{\max}^2}{2} = m_B H g$$



H - высота, на которой скорость станет $= 0$.



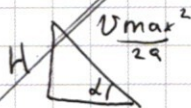
$$V_{\max}(t) = 0 = g t \Rightarrow \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = g t$$

$$V_{\max x} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$t = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2} g}$$

ЗОЭ это время вода остановится
у.м. придет этот путь к ускорению
высота у.м. станет равна вершине

$$S = \frac{V_{\max}^2}{2a}$$



$$H = \frac{V_{\max}^2}{2a} \cdot \sin \alpha = \frac{V_{\max}^2}{2a} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{H}{\frac{V_{\max}^2}{2a}} = \sin \alpha \Rightarrow H = \frac{V_{\max}^2}{2a} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{V_{\max}^2 \sqrt{2}}{4a}$$



Тогда ЗОЭ вычислит так:

$$\frac{m_B V_{\max}^2}{2} =$$

Вода тормозится с ускор

$$S = V_{\max} \cdot t - \frac{g}{\sqrt{2}} \cdot t^2 = \frac{V_{\max}^2}{\sqrt{2} g} - \frac{g}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{\max}^2}{g^2}$$

$$H = \frac{V_{\max}^2 \sqrt{2}}{4a}$$

ЗОЭ:

$$\frac{V_{\max}^2}{2} = \frac{V_{\max}^2 \sqrt{2}}{4a} \cdot g$$

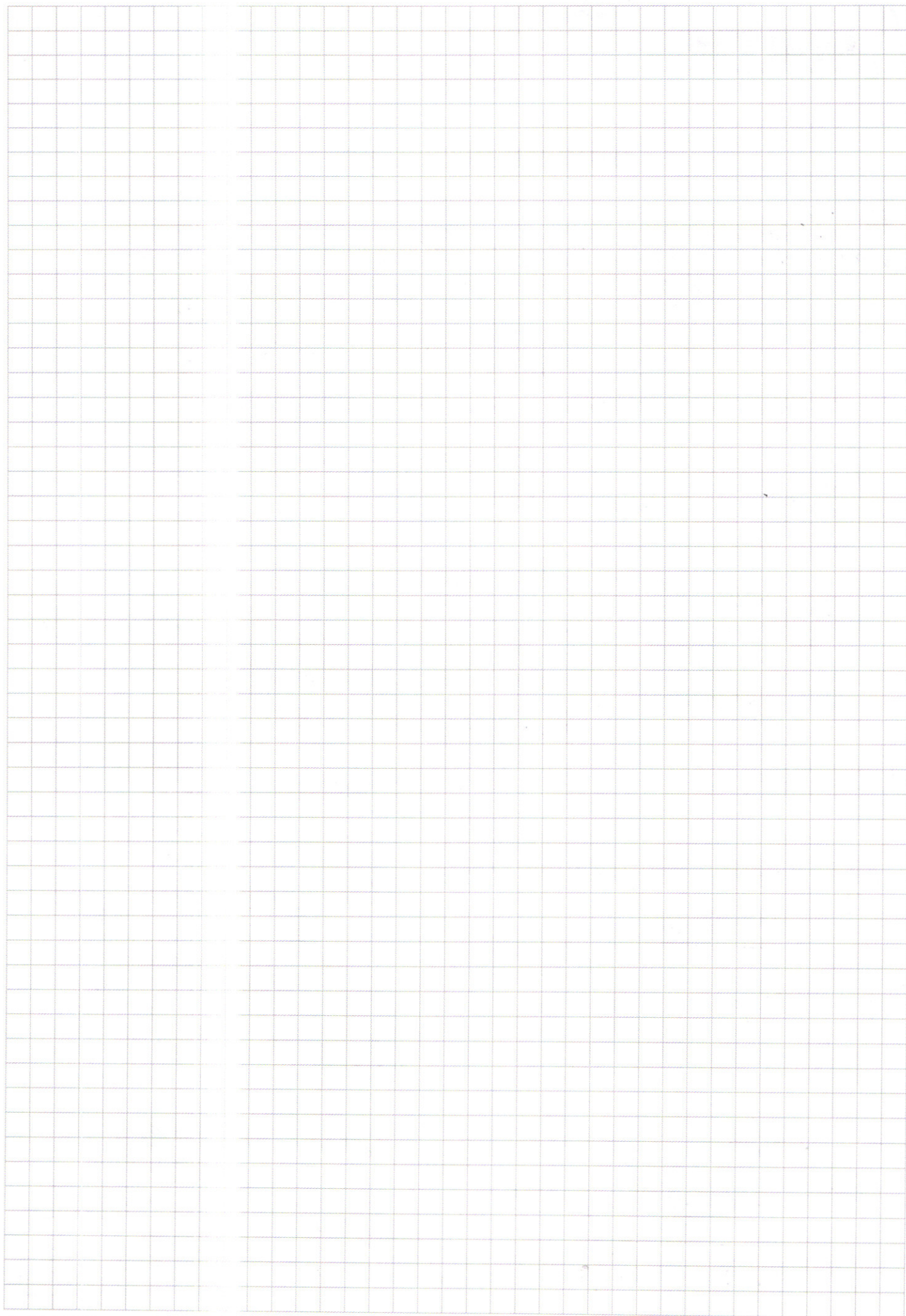
Тепло остановится
нада все придет в
период

$$\text{высота } H = \frac{h_1 + h_2}{\sqrt{2}}$$

$$\text{ЗОЭ: } \frac{m_B V_{\max}^2}{2} = m_B \frac{h_1 + h_2}{\sqrt{2}} g$$

Ответ(2):

$$V_{\max} = \sqrt{\sqrt{2} (h_1 + h_2) g} \Rightarrow V_{\max} = \sqrt{\sqrt{2} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0.2 \text{ м}} = \boxed{V_{\max} = \sqrt{2 \sqrt{2}} \frac{\text{м}}{\text{с}}}$$



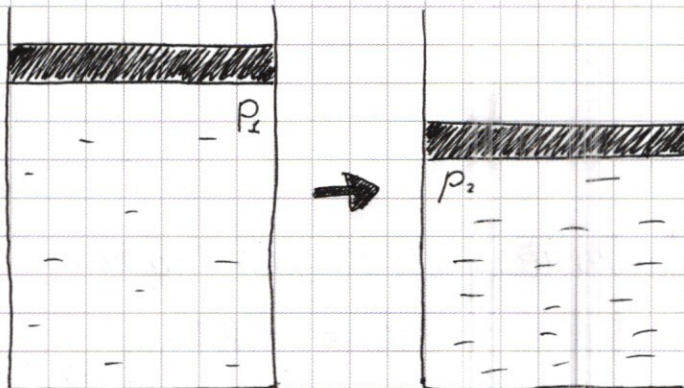
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5

Дано:
 $T = 95^\circ \text{C}$
 $\rho_{\text{воды}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $M_{\text{воды}} = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$
 $P_1 = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$
 $\gamma = 4,7$
 медленный изотерм.
 процесс



Найти:

1) $\frac{P_{\text{пара}}}{P_{\text{воды}}} = K - ?$

$$K = \frac{P_{\text{пара}}}{P_{\text{воды}}} = \frac{\frac{m_{\text{пара}}}{V_{\text{пара}}}}{\rho_{\text{воды}}} =$$

2) $\frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{воды}}} = L - ?$

после уменьшения

Заком М-К: $P_1 V_1 = \nu R T$ $P_2 V_2 = \nu R T$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = 1 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$m_{\text{пара}} = \nu M$; $V_{\text{пара}}$

$P_{\text{пара}} = \frac{\nu}{V} \cdot M = \frac{P_1}{RT} \cdot M$. Подставим в 1 формулу:

$$K = \frac{P_1 M}{RT \rho_{\text{воды}}} = \frac{P_1 M}{RT \rho_{\text{воды}}} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{8,31 \cdot \frac{95^\circ \text{C}}{368 \text{ K}} \cdot 1000 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}} =$$

Т в К = $95^\circ + 273^\circ$

$$= \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{8,31 \cdot 368 \text{ K} \cdot 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 10^4} = \frac{8,5}{8,31 \cdot 2,5} = \frac{8,5}{20,775} \approx 0,41.$$

Ответ (1): $0,41 = K$

2) Если объем пара увеличился в $\gamma = 4,7$ раз, то объем воды увеличился в $\gamma = 4,7$ раз.

Точно так же пропорционально ^{уменьшился} увеличился объем, увеличилось давление:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{\gamma} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{\gamma} \Rightarrow P_2 = \gamma P_1$$

$$P_2 = 4,7 \cdot 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$P_2 = 3,995 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Уравнение М-К для пара:

$$PV_0 = \gamma RT \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow PV_0 = \frac{m_0}{\mu} RT \\ \gamma = \frac{m_0}{\mu} \end{array} \right.$$

Если объем пара $V_K = \frac{V_0}{\gamma}$, то перепишем уравнение:

$$P \frac{V_0}{\gamma} = \gamma_1 RT \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow P \frac{V_0}{\gamma} = \frac{m_n}{\mu} RT \\ \gamma_1 = \frac{m_n}{\mu} \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} m_n - \text{конечная} \\ \text{масса пара} \end{array} \right.$$

$$m_n = \frac{m_0}{\gamma} - \text{масса пара (конеч)}$$

$$m_B = m_0 - \frac{m_0}{\gamma} = m_0 \frac{\gamma - 1}{\gamma}$$

$\Downarrow$

$$V_n = \frac{m_n}{\rho_n} = \frac{m_0}{\gamma \rho_n}$$

$$V_B = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{m_0 (\gamma - 1)}{\gamma \rho_B}$$

$$\Rightarrow \frac{V_n}{V_B} = \frac{m_0 \cdot \gamma \cdot \rho_B}{m_0 \gamma (\gamma - 1) \rho_n} = \frac{\rho_B}{\rho_n (\gamma - 1)}$$

$$\frac{V_n}{V_B} = \frac{\rho_B}{\rho_n (\gamma - 1)} = \frac{1}{K(\gamma - 1)} = \frac{1}{0,41 \cdot 3,7} = \frac{1}{1,517} \approx 0,7.$$

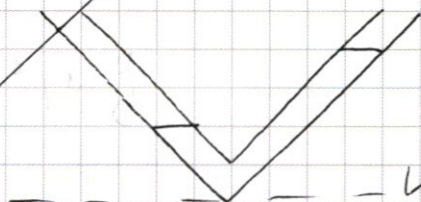
Ответ:

1)	0,41
2)	0,7

$$\begin{array}{r} 2 \\ 3,7 \\ 0,41 \\ \hline 1,517 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда запишем закон сохранения энергии:



$K/E = 0$ (потенциальной энергии)

Здесь нужно записать для ц.м. всей воды

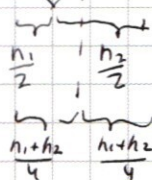
Найдем ц.м. воды. (вернее по высоте)

Координата по x
с началом координат
в ц.м. левого плеча:

$$x_{лк} = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} = \frac{h_1 + h_2}{4}$$

координата относит.
изгиба трубы:

$$x = \frac{h_2}{2} - \frac{h_1 + h_2}{4} = \frac{2h_2 - h_1 - h_2}{4} = \frac{h_2 - h_1}{4}$$



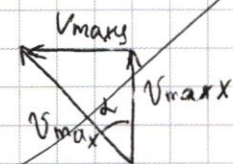
Высота этой точки ($\alpha = 45^\circ \Rightarrow \tan \alpha = 1$) $y = \frac{h_2 - h_1}{4}$

Тогда ЗСЭ для ц.м.:

$$\frac{h_2 - h_1}{4} g + \frac{V_{max}^2}{2} = g H$$

H - высота, на которой скорость воды станет $= 0$.

или



Тепло остается висеть, когда
 V_{maxx} становится $= 0$.

$$V_{maxx}(t) = 0 = gt \Rightarrow \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = gt$$

$$V_{maxx} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{V_{max}}{\sqrt{2} g} = t$$

$$\begin{array}{r} 85000 \\ - 83100 \\ \hline 1900 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 332 \\ 20775 \\ \hline 83100 \end{array}$$



$(h_1, h_2) \cdot \rho$

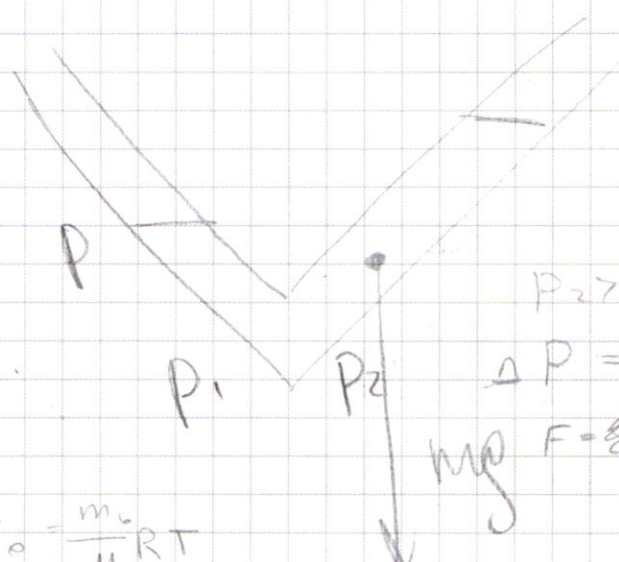
$\frac{F}{S}$

$$\begin{array}{r} 2.5 \\ 4.2 \\ \hline 5.95 \\ 3.0 \\ \hline 33.95 \end{array}$$

$$P_1 = \rho \cdot h_1 \cdot g$$

$$P_2 = \rho \cdot h_2 \cdot g$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$



$$P_2 > P_1$$

$$\Delta P = F \cdot S$$

$$F = \frac{\rho \cdot g \cdot \sqrt{2} \cdot (h_1 + h_2) \cdot a}{S}$$

$$P \cdot V_0 = \frac{m_0}{\mu} R T$$

$$\Delta P = \Delta F$$

$$\frac{P_0}{\mu} = \frac{m_0}{\mu} R T$$

при объеме V_0/μ

m_0 - масса пара

$$m_0 = \frac{m_0}{\mu}$$

масса пара

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

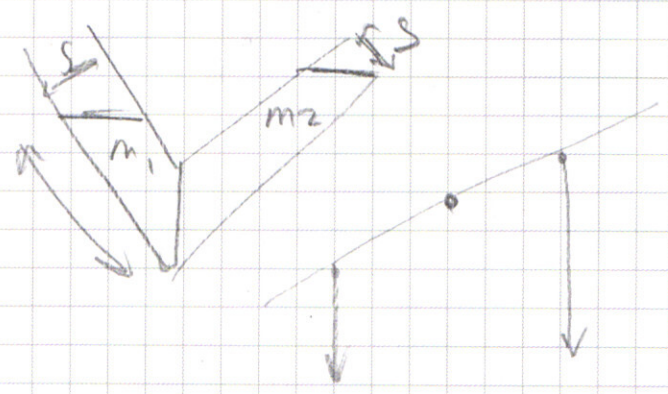
масса б

$$m_b = m_0 - \frac{m_0}{\mu} = m_0 \frac{\mu - 1}{\mu}$$

$$\frac{m_0}{m_b}$$

$$\frac{P_2}{\mu}$$

$$m_1 =$$



$$g(h_2 - h_1) = \frac{\rho \cdot g \cdot \sqrt{2} \cdot (h_1 + h_2) \cdot a}{S}$$