

Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Вариант 10-04

Класс 10

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

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

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости шарика при падении на Землю.
- 2) Найти время полета шарика.
- 3) Найти горизонтальное смещение шарика за время полета.

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

2. На противоположных концах тележки массы M , находящейся на гладкой горизонтальной поверхности, стоят два ученика одинаковой массы m каждый. Вначале система неподвижна. Один ученик бросает мяч, а другой ловит. Масса мяча m_1 . После броска тележка движется со скоростью V_1 . Продолжительность полета мяча T . Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

1) Найдите горизонтальную проекцию скорости V_0 мяча (относительно поверхности, на которой находится тележка) в процессе полета.

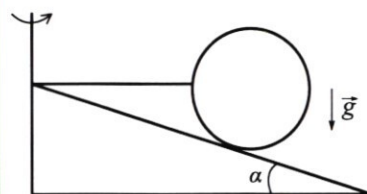
2) Найдите длину L тележки.

3) Найдите скорость V_2 тележки после того, как второй ученик поймает мяч.

3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается горизонтально натянутой нитью, привязанной к вершине 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.

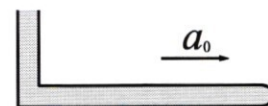


4. Тонкая Г-образная трубка с горизонтальным коленом, закрытым с одного конца, и вертикальным коленом высотой $H = 48$ мм, открытым в атмосферу, заполнена полностью ртутью (см. рис.). Если трубку двигать (в плоскости рисунка) с ускорением, не большим некоторого a_0 , то ртуть из трубки не выливается.

1) Найти давление P_1 внутри трубки в точке А, находящейся от вертикального колена на расстоянии $1/2$ длины горизонтального колена, если трубка движется с ускорением a_0 .

2) Найти давление P_2 в точке А, если трубка движется с ускорением $0,25a_0$.

3) Найти давление P_3 вблизи закрытого конца трубки, если она движется с ускорением $0,3a_0$.



Атмосферное давление $P_0 = 752$ мм рт. ст. Давлением насыщенных паров ртути в условиях опыта пренебречь. Ответы дать в «мм рт. ст.».

5. Поршень делит объем горизонтального герметичного цилиндра на две равные части, в каждой из которых находится вода и водяной пар при температуре $T = 373$ К. Масса воды в каждой части в 4 раза меньше массы пара. Поршень находится на расстоянии $L = 0,4$ м от торцов, площадь поперечного сечения поршня

$S = 25$ см². Масса M поршня такова, что $\frac{Mg}{S} = 0,02P_0$, здесь P_0 – нормальное атмосферное давление.

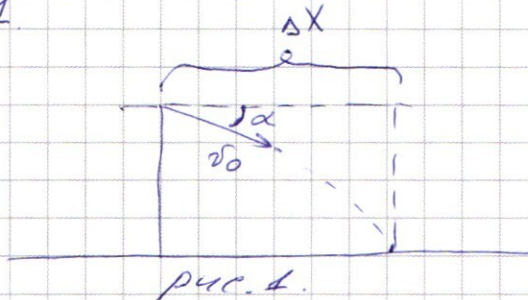
1) Найдите массу m воды в каждой части в начальном состоянии.

2) Цилиндр ставят на дно (ось цилиндра вертикальна). Найдите приращение Δm массы воды под поршнем к моменту установления равновесного состояния.

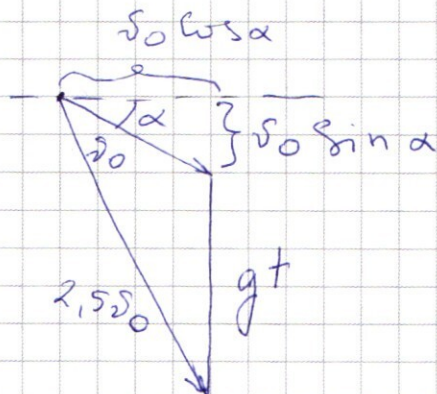
Температура в цилиндре поддерживается постоянной. Трение считайте пренебрежимо малым. Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Объем воды намного меньше объема пара.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 1.



т.к. по ум. во время полета шарик всё время прибавл. к горизонтальн. поверх. значит, то изначально скорость шарика направл "в землю", (см. рис. 1)



по Т. Пифагора
из рис 2

$$(2,5v_0)^2 - (v_0 \cos \alpha)^2 = v_y^2$$

$$6,25v_0^2 - 0,25v_0^2 =$$

$$= 6v_0^2 = v_y^2$$

$$v_y = v_0 \sqrt{6}$$

v_y - верт. компонента скорости шарика при паден. на землю

$$v_y = v_0 \sin \alpha + gt$$

$$\Rightarrow t = \frac{v_y - v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0 \sqrt{6} - v_0 \frac{\sqrt{3}}{2}}{g} =$$

$$= \frac{v_0 \sqrt{3}}{g \cdot 2} (2\sqrt{2} - 1) - \text{время полета шарика}$$

$$\Delta X = v_0 \cos \alpha t \quad (\text{т.к. горизонт. компонента скорости шарика постоянна})$$

ΔX - гориз. смещ. шарика за время полета

$$\Delta X = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{v_0 \sqrt{3}}{2g} (2\sqrt{2} - 1) = \frac{v_0^2 \sqrt{3}}{4g} (2\sqrt{2} - 1)$$

$$7.0. \quad v_y = v_0 \sqrt{6}$$

$$t = \frac{v_0}{g} \frac{\sqrt{3}}{2} (2\sqrt{2} - 1)$$

$$\Delta x = \frac{v_0^2 \sqrt{3}}{g \cdot 4} (2\sqrt{2} - 1)$$

численно:

$$\sqrt{6} = 2,44$$

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

$$\sqrt{3} = 1,73$$

$$v_y = 8 \cdot 2,44 = 19,52 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{8}{10} \cdot \frac{1,73}{2} (2,8 - 1) =$$

$$= 2 \cdot \frac{1,73}{5} \cdot 1,8 = 0,626$$

$$= 1,4 \text{ с}$$

$$\Delta x = \frac{64 \sqrt{3}}{40} \cdot 1,8 = \frac{8 \sqrt{3} \cdot 1,8}{5} =$$

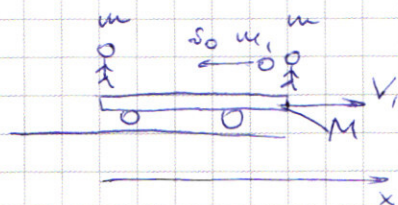
$$= 8 \cdot \frac{1,73}{5} \cdot 1,8 = 5,6 \text{ м}$$

Ответ: $v_y = v_0 \sqrt{6} = 19,52 \text{ м/с}$ — вертик. комп. скорости шарика

$$t = \frac{v_0}{g} \frac{\sqrt{3}}{2} (2\sqrt{2} - 1) = 1,4 \text{ с} \text{ — время полета шарика}$$

$$\Delta x = \frac{v_0^2 \sqrt{3}}{g \cdot 4} (2\sqrt{2} - 1) = 5,6 \text{ м} \text{ — horiz. смещ. шарика за время полета}$$

N 2



Т.к. вся система неподвижна

$$\text{ЗСЦ: } 0 = (2m + M) v_1 - m v_0 \quad (1)$$

(в проекц. на v_x)

$$\Rightarrow v_0 = \frac{2m + M}{m} v_1$$

перейдем в СО тележки



$$s_0 + v_1 t$$

м.ш. СО скоростью $v_0 + v_1$ пролетает L за время T



$$\text{то есть } L = (v_0 + v_1) T = \left(\frac{2m + M}{m} v_1 + v_1 \right) T =$$

$$= v_1 T \frac{2m + M + m}{m} = L$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$v_2 = v_T$
после того, как утенок поймает мяч,
скорость мяча будет равна скорости утенка
в СИ: $(2m+M)v_1 - m_1 v_0 = (2m+M)v_T + m_1 v_T$

но из (1) $(2m+M)v_1 - m_1 v_0 = 0$
 $\Rightarrow (2m+M+m_1)v_T = 0$

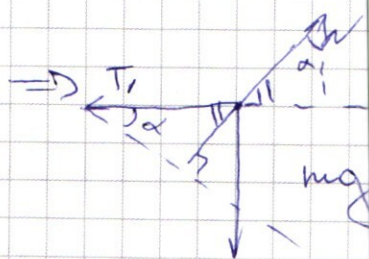
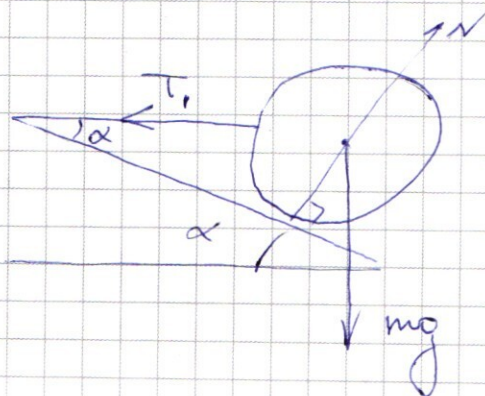
$2m+M+m_1 \neq 0$

значит $v_T = 0$.

т.е. $v_2 = 0$

Ответ: $v_0 = \frac{2m+M}{m_1} v_1$; $L = \frac{(2m+M+m_1)}{m_1} v_1 T$; $v_2 = 0$

№3. Рассмотрим силы, действующие на шар



тогда $mg = N \sin \alpha$

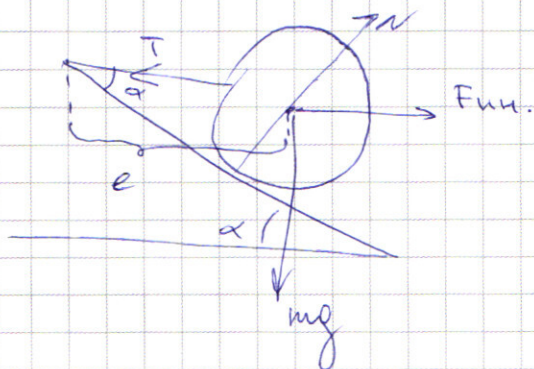
$mg = N \cos \alpha$

$T_1 = N \sin \alpha$

далее перейдем в СО
вращ. с ω вокруг верш. ос.,
проход. через вершину клина

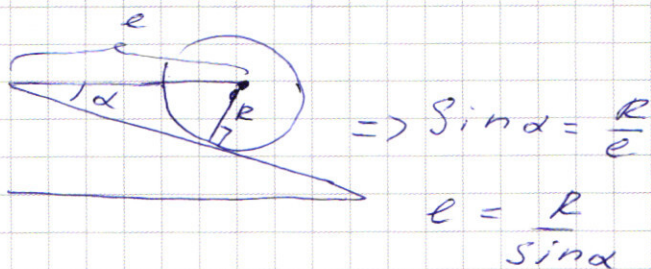
Рассмотрим силы, действующие на шар:

откуда $T_1 = \frac{mg \sin \alpha}{\cos \alpha} = mg \tan \alpha$



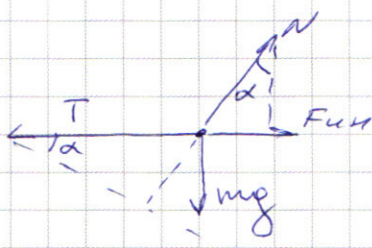
$F_{цн}$ — центробежная сила

$$F_{цн} = m \omega^2 e$$



тогда $F_{цн} =$

$$= \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$$



$$mg = N \cos \alpha$$

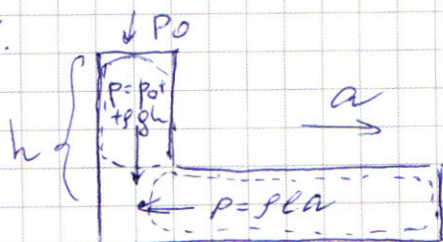
$$T = N \sin \alpha + F_{цн} = mg \tan \alpha + \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$$

1) $T = mg \tan \alpha$

2) $T = mg \tan \alpha + \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$

Ответ: $T = mg \tan \alpha$ — когда система покоится
 $T = mg \tan \alpha + \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$ — когда система вращается

№ 4.



$\rho g h$ — давление соответствует

в мм. рт.ст.

из того, что при $a \leq a_0$ ртуть не вытекает. можно сделать вывод

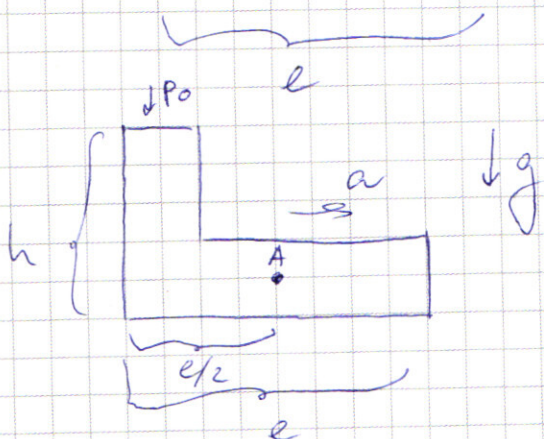
$$p_0 + \rho g h = \rho a_0 l$$

1) $p_0 + \rho g h - \frac{\rho a_0 l}{2} = p_A = p_1$

$$\Rightarrow p_1 = p_0 + \rho g h - \frac{p_0 + \rho g h}{2} =$$

$$= \frac{p_0 + \rho g h}{2} = \frac{752 + 48}{2} =$$

$$= 400 \text{ мм. рт.ст.}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

т.к. $0,25a_0 < a_0$

$$2) p_2 = p_0 + \rho g h - \rho \cdot 0,25 a_0 \cdot \frac{e}{2} =$$

$$= p_0 + \rho g h - \rho \frac{\rho a_0 e}{\rho} = (p_0 + \rho g h) (1 - \frac{e}{2}) =$$

$$= \frac{7}{8} (p_0 + \rho g h) = \frac{7}{8} \cdot 100 = 700 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$p_2 = 700 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$3) p_3 = p_0 + \rho g h - \rho e \cdot 0,3 a_0 = (1 - 0,3) (p_0 + \rho g h) =$$

$$= 0,7 \cdot 100 = 560 \text{ мм. рт. ст.}$$

Ответ: $p_1 = 400 \text{ мм. рт. ст.}$; $p_2 = 700 \text{ мм. рт. ст.}$;
 $p_3 = 560 \text{ мм. рт. ст.}$

№ 5.



$$m_n = 4 \text{ мг}$$

m_n - масса пара

m_b - масса воды

т.к. давление насыщен.
пара равно
атмосфер. давл.

$$pV = \nu RT = \frac{m_n}{\mu} RT$$

то

$$p \cdot L \cdot S$$

$$p_0 L \cdot S = \frac{m_n}{\mu} RT$$

т.к. объем воды мал,
по сравнению с воздухом
 $V_{\text{пара}} = L \cdot S$ - объем пара

$$\Rightarrow m_n = \frac{\mu p_0 L \cdot S}{RT} = \frac{18 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 \cdot 25}{10^5 \cdot 8,31 \cdot 373}$$

$$= \frac{1800}{3100} = \frac{18}{31} = 0,582$$

$$m_b = \frac{m_n}{4} = \frac{\mu p_0 L S}{4RT}$$

$$m_b = \frac{m_n}{4} = 0,142$$

T	P ₀
V ₁	
P ₀	
V ₂	

$$\Delta P = 0,02 p_0$$

$$P_1 + \Delta P = P_2$$

V_1, V_2 - новые объемы

ΔP - давл., кот. создает поршень

$$P_2 = \frac{m_0 - \Delta m}{\mu} \frac{RT}{V_2}$$

будем считать, что при установлении равновесия температура не меняется ~~иначе~~

$$P_1 = \frac{(m_0 + \Delta m)}{\mu} \frac{RT}{V_1}$$

т.к. $T = \text{const.}$, а объемов всего можно пренебречь

$$\frac{(m_0 + \Delta m)}{\mu} \frac{RT}{V_1} + \Delta P = \frac{(m_0 - \Delta m)}{\mu} \frac{RT}{V_2}$$

$$\begin{aligned} \frac{m_0 + \Delta m}{\mu} RT &= P_1 V_1 = P_2 V_2 = \frac{m_0 - \Delta m}{\mu} RT \\ \frac{(m_0 + \Delta m)}{V_1} + \frac{\mu \Delta P}{RT} &= \frac{(m_0 - \Delta m)}{V_2} \\ \mu \Delta P &= \frac{(m_0 - \Delta m)}{V_2} - \frac{(m_0 + \Delta m)}{V_1} \\ &= \frac{V_1(m_0 - \Delta m) - V_2(m_0 + \Delta m)}{V_1 V_2} \\ &= \frac{m_0(V_1 - V_2) - \Delta m(V_1 + V_2)}{V_1 V_2} \end{aligned}$$

в конечной сит.

либо ~~вся~~ весь пар превр. в воду над поршнем, либо только его часть.

рассмотрим первую сит.

$$P_1 = \frac{(m_0 + \Delta m)}{\mu} \frac{RT}{V_1} = \frac{5 m_B RT}{2 \mu L S} = \frac{5 p_0}{8}$$

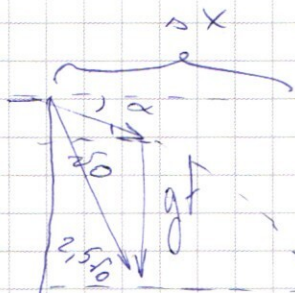
$$P_1 + \Delta P = 0,625 p_0 + 0,02 p_0 = 0,645 p_0 < p_0$$

$\Rightarrow$ часть пара над поршнем не сконденсир.

т.к. давл. насыщ. пара при конкретн. T постоянно.

$$p_0 = \frac{m_0 - \Delta m}{\mu} \frac{RT}{V_2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\begin{array}{r} 25 \\ 25 \\ \hline 125 \\ + 500 \\ \hline 625 \end{array}$$

$$\begin{aligned} (2,55v_0)^2 - (v_0 \cos \alpha)^2 &= \\ &= 6,25 - 0,25 v_0^2 = \\ &= 6v_0^2 = v_y^2 \end{aligned}$$

$$v_y = v_0 \sqrt{6}$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha + gt$$

$$v_y - v_0 \sin \alpha = t$$

$$\frac{v_0 \sqrt{6} - v_0 \sqrt{3}}{g} = \frac{v_0 \sqrt{3} (\sqrt{2} - 1)}{g} = \frac{v_0 \sqrt{3} (\sqrt{2} - 1)}{2g}$$

$$v_0 \cos \alpha t = \Delta X$$

$$\frac{v_0}{2} \frac{v_0 \sqrt{3} (\sqrt{2} - 1)}{g} = \frac{v_0^2}{g} \frac{\sqrt{3} (\sqrt{2} - 1)}{4} = \frac{v_0^2}{g} \frac{\sqrt{3} (\sqrt{2} - 1)}{4}$$

$$\begin{array}{r} 2,4 \\ 2,4 \\ \hline 96 \\ + 480 \\ \hline 576 \end{array}$$

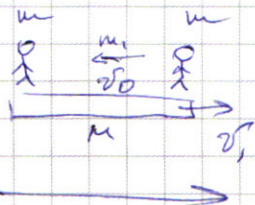
$$\begin{array}{r} 1,45 \\ 1,45 \\ \hline 1225 \\ + 9000 \\ \hline 2,2 \\ 44 \\ + 440 \\ \hline 484 \\ 60025 \end{array}$$

$$\frac{1,2}{2} = 0,6$$

$$\begin{array}{r} 2,7 \\ 2,7 \\ \hline 189 \\ + 540 \\ \hline 729 \\ 2,44 \\ 6,25 \\ \hline 1,44 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 696 \\ + 1218 \\ \hline 1914 \\ 2,44 \\ 8 \\ \hline 19,52 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,73 \\ 1,73 \\ \hline 171 \\ + 11970 \\ \hline 17100 \\ 29241 \\ 746 \\ \hline 173 \\ 173 \\ \hline 612110 \\ 17300 \\ \hline 29929 \end{array}$$



$$0 = (M + dm) v_1 - m v_0$$

$$v_0 = \frac{M + dm}{m_1} v_1$$

$$(M + 2m) v_1 - m v_0 =$$

$$= (M + 2m) v_1 + m v_1$$

$$v_1 = \frac{M + 2m v_1 - m v_0}{M + 2m + m}$$

? 0

Pot

1/4

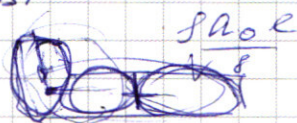
$$Pot + pgh = \frac{p a_0 L}{4} = \frac{3}{4} (Pot + pgh)$$

$$\frac{m_1 \Delta v}{\Delta t} = \frac{(2m + M) \Delta v}{\Delta t}$$

$$m_1 v_0 = (2m + M) v_1$$

$$- m_1 v_0$$

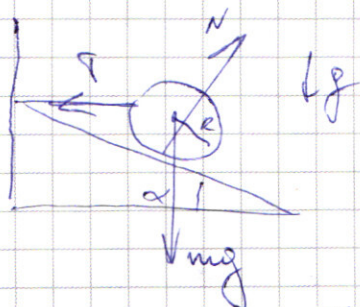
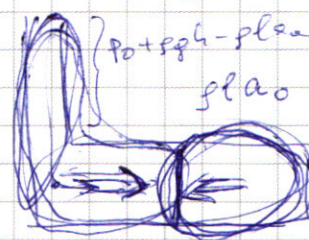
$$m_1 (v_1 - v_0) = (2m + M) (v_1 - v_0)$$



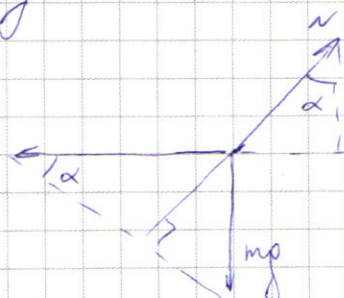
$$Pot + pgh = p a_0 L / 4$$

$$p_0 + pgh = p_0 a_0 L$$

$$p_0 + pgh$$



$$mg + T + N = 0$$



$$\begin{array}{r} 18 \text{ (31)} \\ 150 \\ 155 \\ 250 \\ 244 \end{array}$$

$$mg = N \cos \alpha$$

$$T = N \sin \alpha$$

$$T = \frac{mg \sin \alpha}{\cos \alpha} = mg \tan \alpha$$

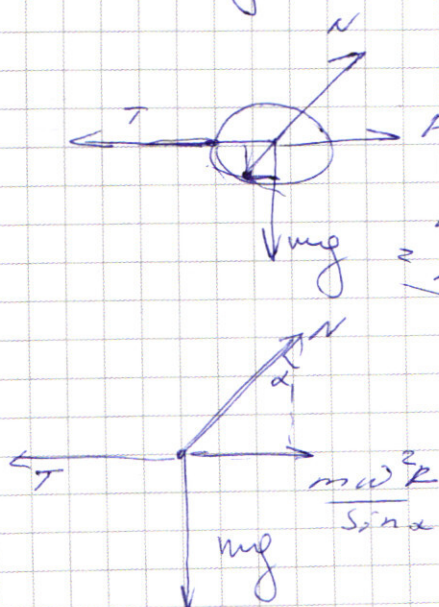
$$(R + l) \sin \alpha = R$$

$$l \sin \alpha = R (1 - \sin \alpha)$$

$$l = \frac{R (1 - \sin \alpha)}{\sin \alpha}$$

$$l \sin \alpha = R$$

$$l = \frac{R}{\sin \alpha}$$

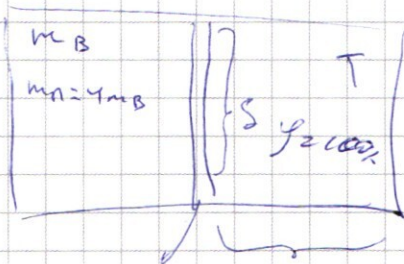


$$F_{\text{cent}} = m \omega^2 R = \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$$

$$\omega N = mg$$

$$T = N \sin \alpha + \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha} = mg \tan \alpha + \frac{m \omega^2 R}{\sin \alpha}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{m_p}{s} = 0,02 p_0$$

$$\frac{p_{OL}}{L+sh} = \frac{p_{OL}}{L+sh} + 0,02p_{OL}$$

$$\frac{L + sh - L + sh}{L^2 - sh^2} = \frac{202}{L}$$

$$\frac{\angle 2sh}{1^2 - sh^2} = 0,02$$

$$\frac{100 \angle \Delta h}{L^2 - \Delta h^2} = 1$$

$$\Delta h^2 + 100\Delta h - l^2 = 0$$

$$D = (100L)^2 + 4L^2 = L^2(10000 + 4)$$

$$(2) \quad P_2 = P_0 + \rho gh - \rho a l = P_0 + \rho gh$$

$$P_A = p_0 + \rho g h - \frac{\rho a_0 l}{8} = p_0 + \rho g h - 0,3 \rho a_0 l = \frac{\rho a_0 l}{2} = \frac{p_0 + \rho g h}{2} = 376 + 242 = 618$$

$$z = (p_0 + \rho g h) / \rho = 0,7 (p_0 + \rho g h) / \rho \quad p_{A0} \quad p_{A0} l = p_0 + \rho g h$$

$$= \frac{\rho_0}{\rho_0 + \rho g h} = \frac{560 \text{ мм. р. ст.} \cdot \frac{\rho_0}{2}}{\rho_0 + \rho g h} = \frac{\rho_0 + \rho g h}{\rho_0 + \rho g h} = 1$$

700 мм рт.ст.

$P_0 + P_0 g^2$

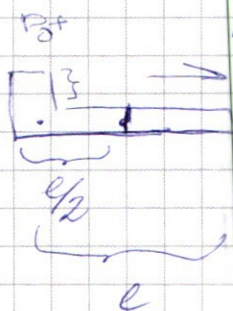
$$\textcircled{1} P_A = P_0 + \rho g h - \rho a \frac{L}{2} =$$

$$= P_0 + \rho g h - \frac{\rho a_0 L}{2} = \left| \frac{P_0 + \rho g h}{2} \right|$$

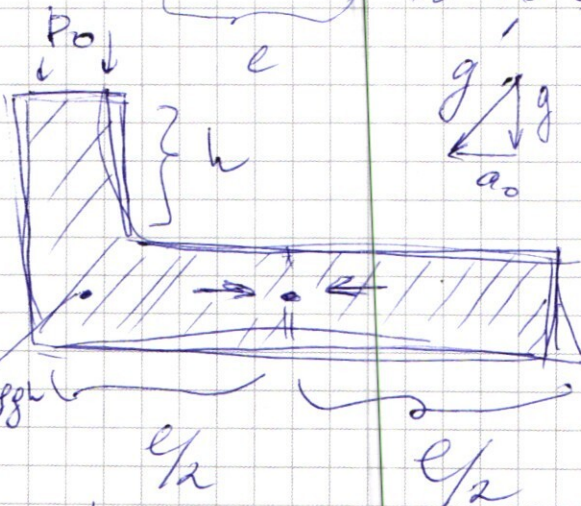
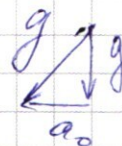
$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} (RT)$$

4.5

Наглед
мога



$$\begin{array}{r} 102 \\ 102 \\ \hline 1004 \\ + 204 \\ \hline 1208 \\ \hline 10404 \\ \hline 1 \end{array}$$



$$p = p_0 + \rho g h$$

$$p_0 L S = \frac{m}{\mu} R T$$

$$m_n = \frac{p_0 L S \mu}{R T} = 10^5 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 18 = \frac{1800}{8,31 \cdot 373} = 0,58$$

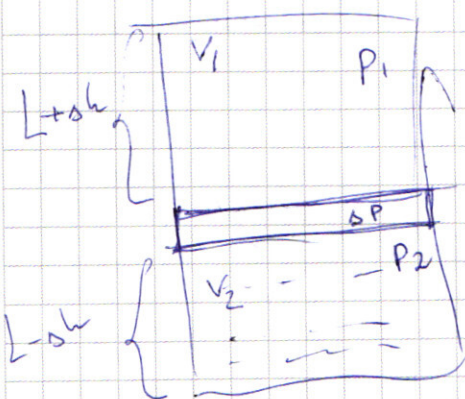
$$m_{\text{до}} = \frac{m_n}{4}$$

$$\frac{p_0 L S \mu}{R T} = \frac{1800}{373 \cdot 8,31} = \frac{18}{31} \approx 0,58$$

$$\frac{1800}{3100} = \frac{18}{31} \approx 0,58$$

$$\begin{array}{r} 0,1252 \text{ вопр} \\ 0,52 \text{ нагр} \\ \hline 62 \end{array}$$

$$P_A \cdot \mu^3 = \frac{D \cdot \mu}{\text{моль} \cdot \text{к}} \cdot \kappa$$



$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

$$\Delta \mu \ll 1$$

$$\Delta T \text{ мало}$$

$$V_1 P_1 = V_2 P_2$$

$$\begin{aligned} 100 L sh &= L^2 - sh^2 \\ sh^2 + 100 L sh - L^2 &= 0 \\ D &= L^2 \cdot 10^4 + 4 L^2 = 8,3 \\ 10004 L &= 273 \\ 273 &= 8,3 \\ 273 &= 8,3 \\ 273 &= 8,3 \end{aligned}$$

$$\frac{m_n}{\mu} R T = \frac{m_n R T}{\mu (L+sh) S} + \Delta P$$

$$P_1 (L+sh) S + \Delta P = (L-sh) P_2$$

$$2 L^2 sh = 0,02 L^2 - 0,02 sh^2$$

$$\frac{2 L sh}{L^2 - sh^2} = 0,02$$

$$\frac{L}{L-sh} = \frac{L}{L+sh} + 0,02$$

$$\frac{1}{1-\frac{sh}{L}} = \frac{1}{1+\frac{sh}{L}} + \frac{0,02}{L}$$