

Олимпиада «Физтех» по физике, с

Вариант 10-03

Класс 10

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

1. Мальчик бросает стальной шарик с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете шарик все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2V_0$.

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

2) Найти время полета шарика.

3) С какой высоты был брошен шарик?

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. Длина тележки L . Вначале система неподвижна. Один ученик бросает мяч, а другой ловит. Масса мяча m_1 . В процессе полета горизонтальная составляющая скорости мяча относительно поверхности, на которой находится тележка, равна V_0 .

1) Найдите скорость V_1 тележки после броска.

2) Найдите продолжительность T полета мяча.

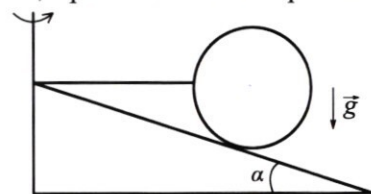
3) Найдите скорость V_2 тележки после того, как второй ученик поймает мяч.

Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

3. Однородный шар массой m находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается горизонтально натянутой нитью длиной L , 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.

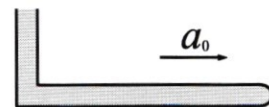


4. Тонкая Г-образная трубка с горизонтальным коленом, закрытым с одного конца, и вертикальным коленом высотой $H = 40$ мм, открытым в атмосферу, заполнена полностью ртутью (см. рис.). Если трубку двигать (в плоскости рисунка) с ускорением, не большим некоторого a_0 , то ртуть из трубки не выливается.

1) Найти давление P_1 внутри трубки в точке А, находящейся от вертикального колена на расстоянии $1/3$ длины горизонтального колена, если трубка движется с ускорением a_0 .

2) Найти давление P_2 в точке А, если трубка движется с ускорением $0,6a_0$.

3) Найти давление P_3 вблизи закрытого конца трубки, если она движется с ускорением $0,8a_0$.



Атмосферное давление $P_0 = 740$ 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 5 раз меньше массы пара. Поршень находится на расстоянии $L = 0,6$ м от торцов, площадь поперечного сечения поршня

$S = 20$ см². Масса M поршня такова, что $\frac{Mg}{S} = 0,01P_0$, здесь P_0 – нормальное атмосферное давление.

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

2) Цилиндр ставят на дно. Найдите вертикальное перемещение h поршня 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

1) Дано:

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

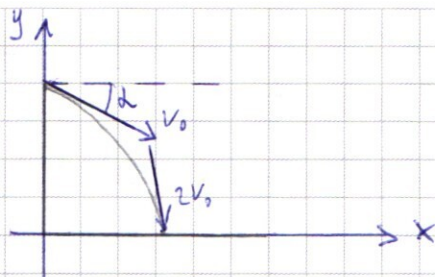
$$\alpha = 30^\circ$$

$$v_k = 2v_0$$

$$v_{ky} = ?$$

$$t = ?$$

$$h = ?$$



Изобразим

треугольник скоростей

$$2\vec{v}_0 = \vec{v}_0 + \vec{gt}$$

применим теорему косинусов:

$$4v_0^2 = v_0^2 + g^2 t^2 - 2v_0 g t \cos(90 + \alpha) =$$

$$= v_0^2 + g^2 t^2 + 2v_0 g t \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{2}$$

$$g^2 t^2 + v_0 g t - 3v_0^2 = 0$$

$$D = v_0^2 g^2 - 4 \cdot g \cdot (-3v_0^2) = 13v_0^2 g^2$$

$$t = \frac{-v_0 g \pm v_0 g \sqrt{13}}{2g^2}$$

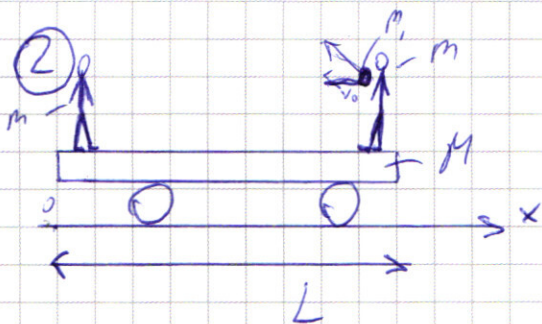
2-й корень не подходит

$$t = \frac{v_0 (\sqrt{13} - 1)}{2g} \approx \frac{10 (3,6 - 1)}{2 \cdot 10} = 1,3 \text{ с}$$

$$\vec{v}_{ky} = \vec{v}_0 \sin \alpha + g t$$

$$v_{ky} = v_0 \sin \alpha + g t = \frac{v_0 \sqrt{13}}{2} \approx \frac{10 \cdot 3,6}{2} = 18 \text{ м/с}$$

$$h = v_0 \sin \alpha t + \frac{g t^2}{2} = \frac{v_0^2}{g} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{13} - 1}{2} \right) + \frac{(\sqrt{13} - 1)^2}{8} \right) \approx \frac{100}{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{3,6 - 1}{2} \right) + \frac{(3,6 - 1)^2}{8} \right) \approx 15 \text{ м}$$



$$v_x = v_0 = \text{const}$$

3. С. У. на ОХ

$$1) \quad 0 = -m_1 v_0 + (M + 2m) v_1$$

$$v_1 = v_0 \frac{m_1}{M + 2m}$$

$$2) \quad L = v_1 T + v_0 T$$

$$T = \frac{L}{v_1 + v_0} = \frac{L}{v_0 \left(\frac{m_1}{M + 2m} + 1 \right)} = \frac{L (M + 2m)}{v_0 (m_1 + 2m + M)}$$

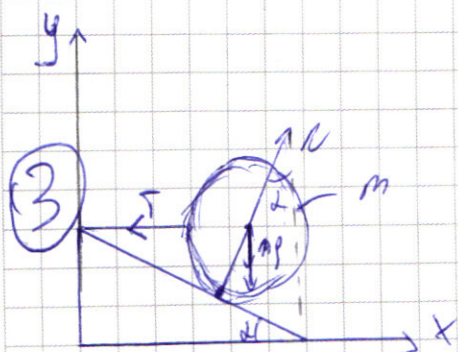
3) Во время всего полета

$P_1 = m_1 v_0$ - импульс движущегося тела по ОХ

$P = (2m + M) v_1$ - импульс тележки

$$\text{Но } P_1 = -P$$

после того, как второй человек выйдет из системы, система опять окажется в равновесии и скорость тележки $v_2 = 0$ м/с

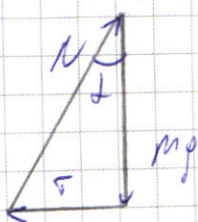


Условие

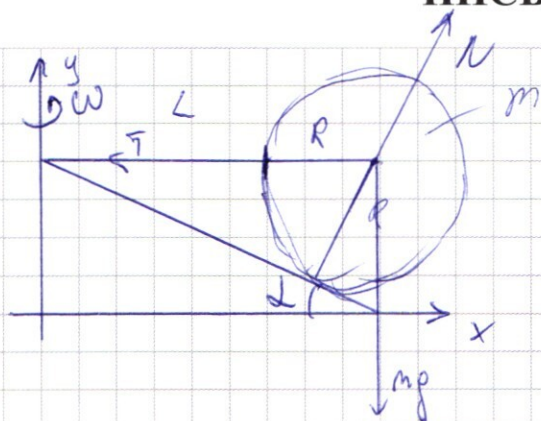
$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{mg}{N} & \text{З.К. по ОУ} \\ \sin \alpha &= \frac{T}{N} & \text{З.К. по ОХ} \\ \tan \alpha &= \frac{T}{mg} \end{aligned}$$

Условие равновесия сил:

$$T = mg \tan \alpha$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



I з.н. по ОХ
 $-m a_{ц.с.} = -T + N \sin \alpha$

II з.н. по ОУ.

$$0 = N \cos \alpha - mg$$

$$Q' = L + R$$

$$\sin \alpha = \frac{R}{L + R}$$

$$R = \frac{L \sin \alpha}{1 - \sin \alpha}$$

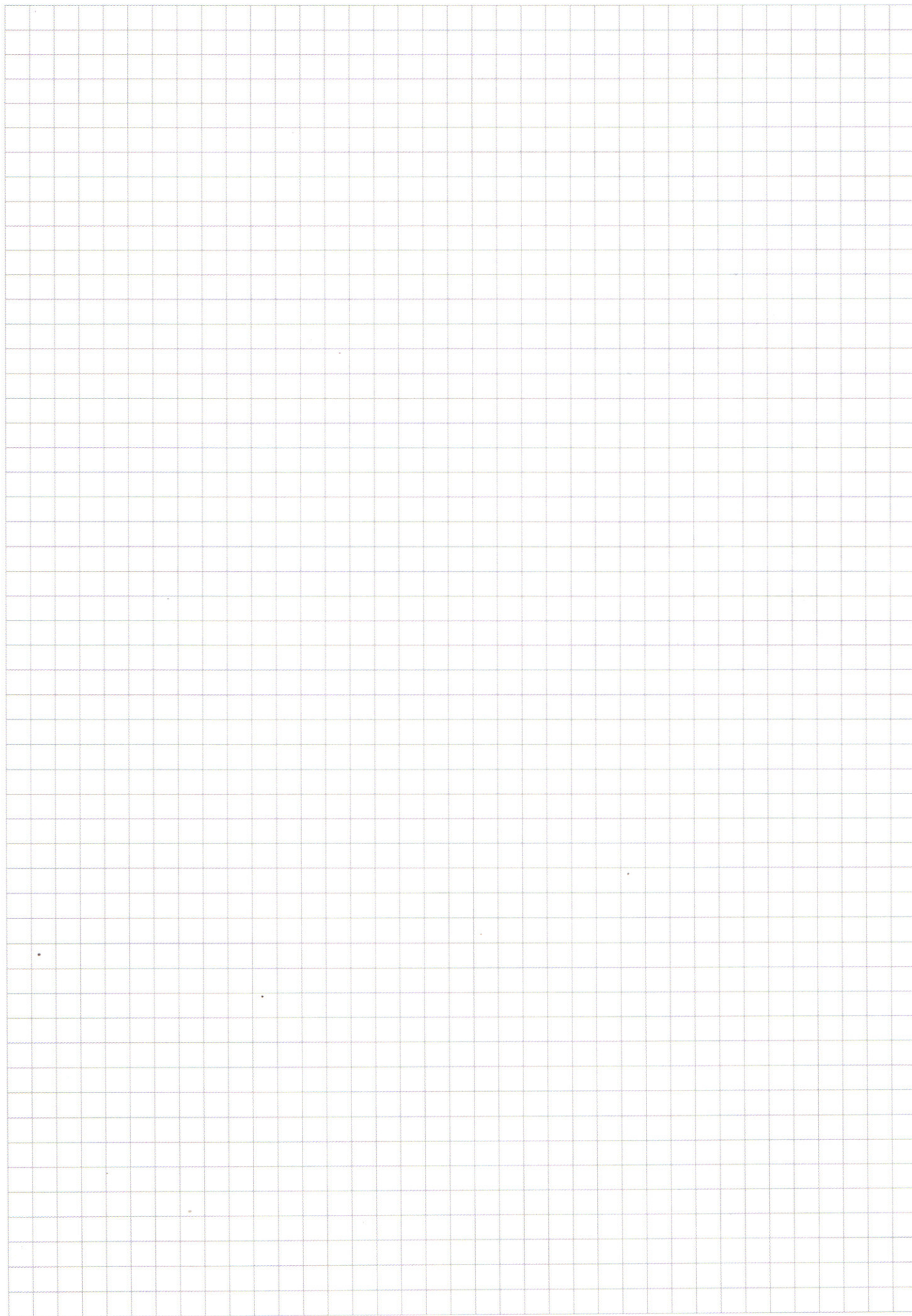
R — кинем. Т.к. плоскость касания

$$a_{ц.с.} = \omega^2 R$$

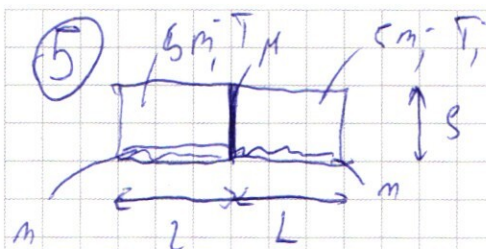
$$m \frac{\omega^2 L}{1 - \sin \alpha} = T - mg \tan \alpha$$

$$T = m \left(\frac{\omega^2 L}{1 - \sin \alpha} + g \tan \alpha \right)$$

(4)



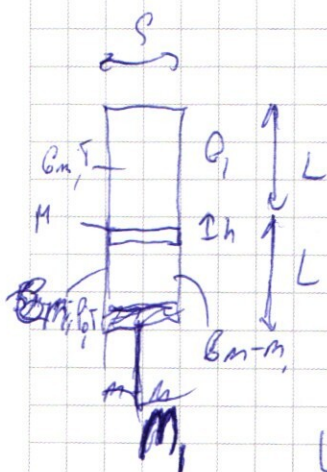
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{M_p}{s} = 0,01 P_0$$

$P_1 = P_0$ - давление насыщенных паров при ЗДЗ Кельвина

$$P_0 L s = \frac{5 m R T}{\mu}$$



т.к. снизу вода исп. в давление = P_0 .
давл. пар. при
т.к. есть парикель, то разн. давлений

$$m = \frac{10 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 8,31 \cdot 333} \approx P_1 < P_0 \Rightarrow \text{все вода испарилась}$$

$$P_1 (L+h)/s = \frac{6 m R T}{\mu}$$

$$P_0 (L-h)/s = \frac{(6 m - m_1) R T}{\mu}$$

$$P_0 - P_1 = \frac{M_p}{s} = 0,01 P_0$$

$$h = \frac{7 \cdot 0,8}{33} = \frac{0,4}{11} \approx 0,3 \text{ м}$$

$$P_0 s (0,99 (L+h)) = \frac{6 m R T}{\mu}$$

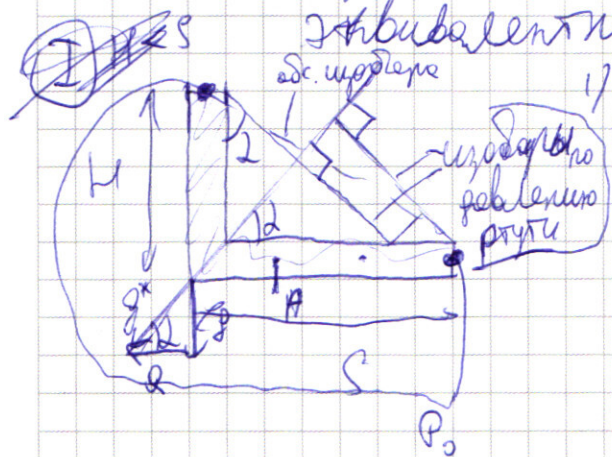
$$0,99 h = L \left(\frac{180}{1000} - \frac{99}{1000} \right)$$

$$99 h = 21 L \quad | \quad h = \frac{21 L}{99}$$

$$P_0 s (0,99 (L+h) - (L-h)) = \frac{m_1 R T}{\mu}$$

4)

Передача в до. трубах и дуга используется эквивалентное сопротивление.



$$P_0 + P \sqrt{p^2 + q^2} \sin \alpha = P \sqrt{p^2 + q^2} S \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2}}$$

$$\cos \alpha = \frac{q}{\sqrt{p^2 + q^2}}$$

$$P_0 + P \sin \alpha = P S \alpha$$

$$S = \frac{P_0 + P \sin \alpha}{P \alpha}$$

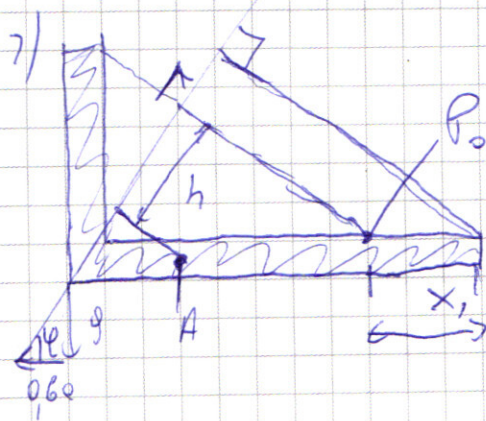
т.к. путь не известен

$$P_1 = P_0 + P \sqrt{p^2 + q^2} \frac{2S \cos \alpha}{3}$$

$$P_1 = P_0 + \frac{2PS}{3} \alpha$$

$$P_1 = P_0 + \frac{2PS}{3} \left(\frac{P_0 + P \sin \alpha}{2P} \right) =$$

$$= \frac{2(P_0 + P \sin \alpha)}{3} = \frac{2}{3} P \sin (49 + \pi) = 7000 \text{ мм. р. ст.}$$



$$P_0 = P \sqrt{p^2 + 0.36q^2} \times \cos \varphi = P \times 0.6q$$

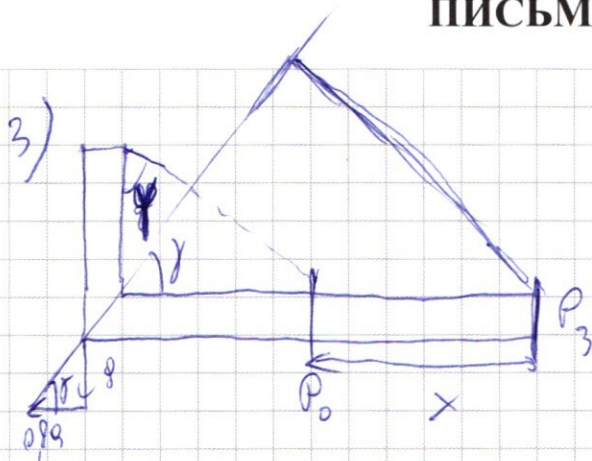
$$h = (S - \frac{S}{3} - X_1) \cos \varphi$$

$$P_2 = P_0 + P \sqrt{p^2 + 0.36q^2} \left(\frac{2S}{3} - \frac{P_0}{P \alpha} \right) \cos \varphi$$

$$P_2 = P_0 + P \left(\frac{2S}{3} - \frac{P_0}{P \alpha} \right) 0.6q$$

$$P_2 = P_0 + \frac{0.2}{3} P \sin \alpha = 0.4P_0 + 0.2P \sin \alpha = 0.4(249 + \pi) = 304 \text{ мм. р. ст.}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$P_0 P_3 = P_0$$

$y = 0.8x$ мм. рт. ст.

$$P_3 = P_0 - P \sqrt{0.8^2 + 0.64^2} \times \cos \gamma$$

$$P_3 = P_0 - P \times 0.8$$

$$\text{и } \sin \gamma = (0.8 - x_2) / 0.8x$$

$$0.8 - \sin \gamma = x_2$$

$$\sin \gamma = \frac{0.8}{0.8x}$$

$$\cancel{P_3} = \frac{P_0 + P \sin \gamma}{0.8} - \frac{P \sin \gamma}{0.8}$$

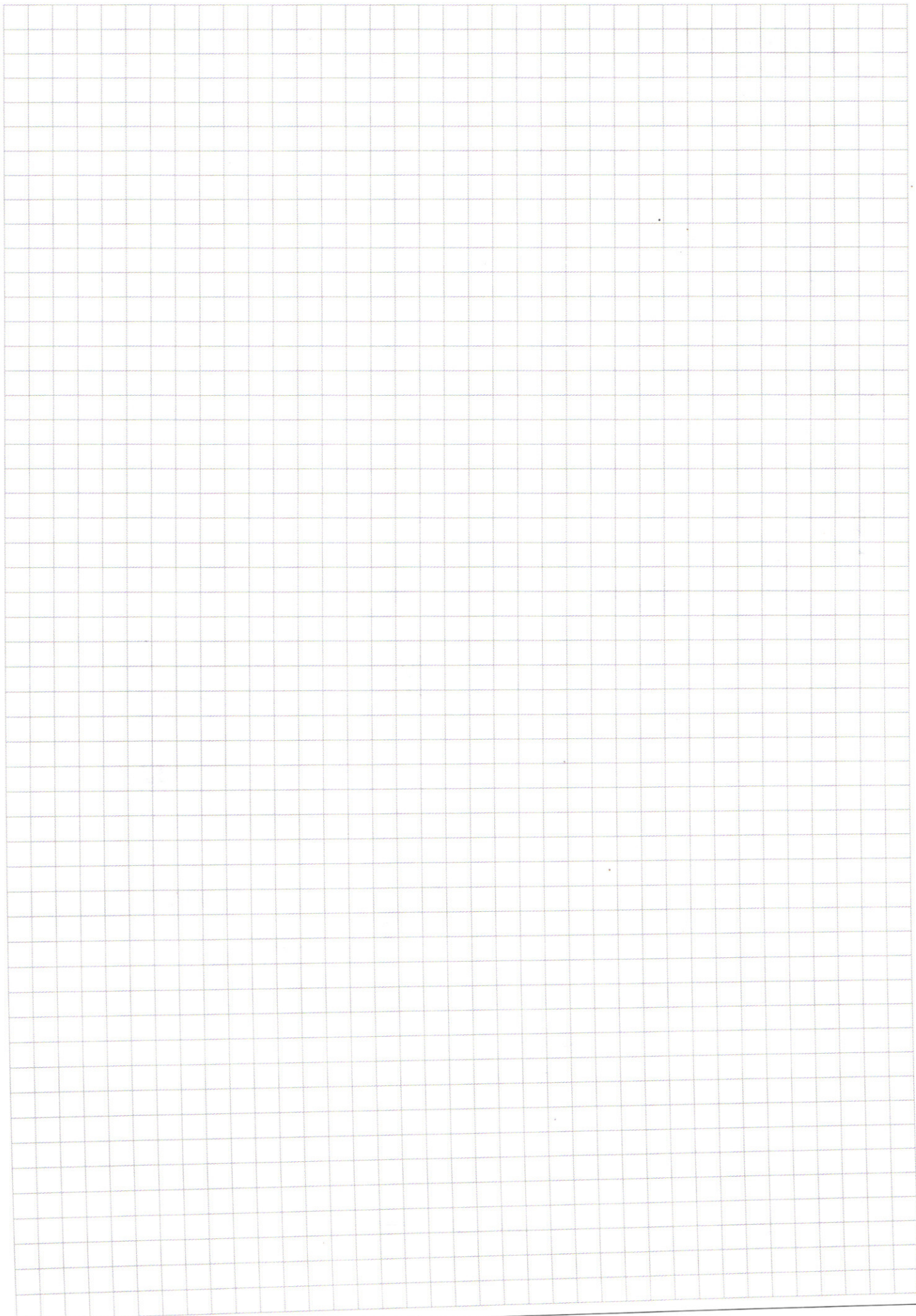
$$x_2 = \frac{0.8(P_0 + P \sin \gamma)}{0.8} - \frac{P \sin \gamma}{0.8}$$

$$x_2 = \frac{0.8P_0 - 0.2P \sin \gamma}{0.8}$$

$$P_3 = P_0 - P \times 0.8 \left(\frac{0.8P_0 - 0.2P \sin \gamma}{0.8} \right)$$

$$P_3 = 0.2(P_0 + P \sin \gamma)$$

$$P_3 = 0.2 \times 0.8 (y + x) = 370 \text{ мм. рт. ст.}$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①

$7V_0 - ?$
 $+ ?$
 $h - ?$

3.6
 3.6
 71.6
 $+ 10.80$
 $\sqrt{17.94} \approx 3.8$

$3 < \sqrt{13} < 4$
 $2 \quad 1.8$

$\tau \approx 1.30$

3.755
 0.155
 0.845
 0.65
 0.1945
 1.495

$U_{ky} \approx 18 \text{ м/с}$

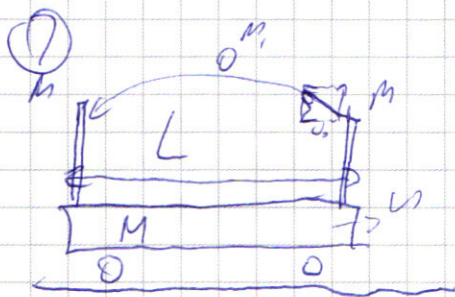
$h = U_0 \sin 60 + \frac{g \tau^2}{2}$
 $h \approx 10(3.6 + \frac{10 \cdot 1.3^2}{2})$
 $h \approx 37.54$

$U_{ky} = g \tau + U_0 \sin 60 =$
 $= g \cdot \frac{U_0 (\sqrt{13} - 1)}{2g} + U_0 \sin 60 =$
 $= \frac{U_0 \sqrt{13}}{2}$

$13 - 2\sqrt{13}$

$U_0^2 \sqrt{13} - 1 + \frac{U_0^2}{8} (\sqrt{13} - 1)^2 = \frac{U_0^2}{8} (\sqrt{13} - 1 + \frac{(\sqrt{13} - 1)^2}{8})$

$U_0^2 + g^2 \tau^2 + 7U_0 g \tau \cos 60 = 4U_0^2$
 $(g^2) \tau^2 + (7U_0 g \cos 60) \tau - 3U_0^2 = 0$
 $D = 4U_0^2 g^2 \cos^2 60 + 12g^2 U_0^2 =$
 $= g^2 U_0^2 (4 \cos^2 60 + 12) = 13g^2 U_0^2$
 $\tau = \frac{-7U_0 g \cos 60 \pm g U_0 \sqrt{13}}{2g^2}$
 $\tau = \frac{U_0 (\sqrt{13} - 1)}{2g}$



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

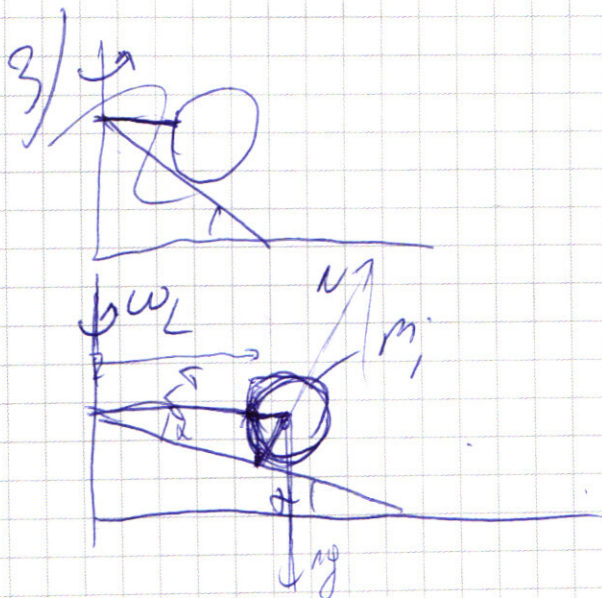
$$v_1 = v_0 \frac{m_1}{2m + M}$$

$$\Delta = \frac{L}{v_1 + v_0} = \frac{L}{v_0 \left(\frac{m}{2m + M} + 1 \right)} = \frac{L (2m + M)}{v_0 (m + 2m + M)}$$

$$\Delta = \frac{L}{v_1 + v_0} = \frac{L}{v_0 \left(\frac{m}{2m + M} + 1 \right)} = \frac{L (2m + M)}{v_0 (m + 2m + M)}$$

~~42 = 0~~

$$(2m + M) v' - m_1 v_0 = (2m + M) v_2$$



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

$$\Delta = mg \tan \alpha$$

$$m \omega^2 L = T - N \sin \alpha$$

$$N \cos \alpha = mg$$

$$m \omega^2 L = T - mg \tan \alpha$$

$$1 - \sin \alpha = \cos \alpha$$

$$R' = L + \frac{L \sin \alpha}{1 - \sin \alpha}$$

$$R' = \frac{L}{1 - \sin \alpha}$$

$$\Delta = m(\omega^2 R + g \tan \alpha)$$

$$R \leq L$$

$$T R \cos \alpha = mg R$$

$$L + \frac{R}{L + R} = g h_2$$

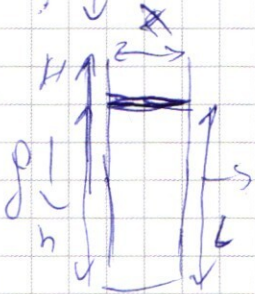
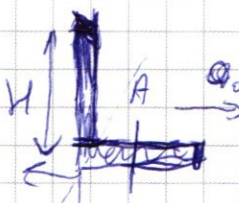
$$R = L \sin \alpha + R \sin \alpha$$

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

$$mg \cos \alpha = N$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

④

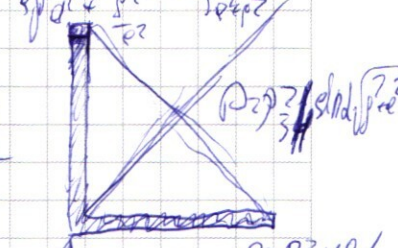


$$P_{\text{зад}} = \frac{P}{\sqrt{1 + \frac{L^2}{H^2}}}$$

$$P = P_{\text{зад}} \times \sqrt{1 + \frac{L^2}{H^2}}$$

$$P = P_{\text{зад}} \times \sqrt{1 + \frac{L^2}{H^2}}$$

$$\sin \alpha = \frac{L}{\sqrt{L^2 + H^2}}$$

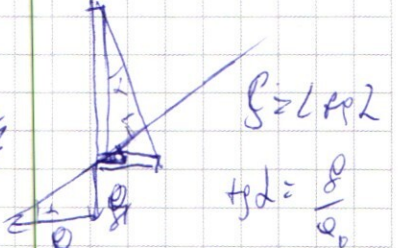


$$\cos \alpha = \frac{H}{\sqrt{L^2 + H^2}}$$

$$\frac{H-L}{x} = \tan \alpha \quad L \sin \alpha = S \cos \alpha$$

$$H = L + \frac{x}{2} + \frac{L}{2}$$

$$L = \frac{H+L}{2}$$



$$\frac{2(H-L)}{x} = \tan \alpha$$

$$x = (H-L) \tan \alpha \quad S = L \frac{L}{H}$$

$$S = (H-L) \tan \alpha$$

$$S = (H-L) \tan \alpha$$

$$S = \frac{H^2 - L^2}{\cos^2 \alpha}$$

$$(\tan^2 \alpha + 1) \cos^2 \alpha = 1$$

$$(H-L) \tan \alpha = (H-L) x \quad \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$$

$$H = L + L \tan \alpha$$

$$\frac{2 \cos \alpha}{3} \quad \frac{2}{3} S \cos \alpha$$

$$P = \frac{P}{3} S \cos \alpha \sqrt{1 + \frac{L^2}{H^2}}$$

$$P = \frac{2}{3} PL \frac{L}{H}$$

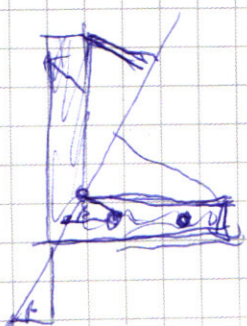
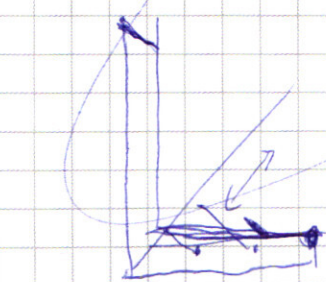
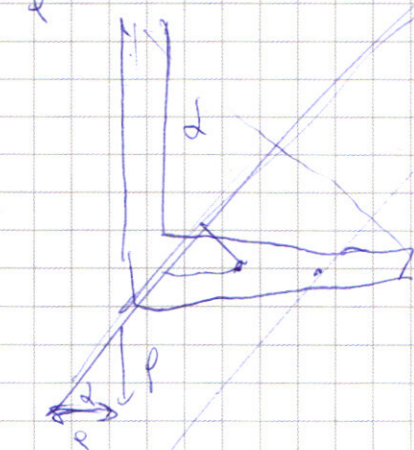
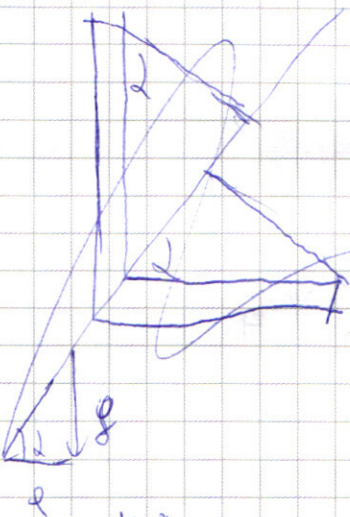
$$P = \frac{2}{3} L \frac{L}{H} \frac{H}{\cos \alpha}$$

$$(H-L)$$

$$\frac{S}{3} \sin \alpha$$

$$L \quad P = \frac{2}{3} L \frac{L}{H}$$

$$= \frac{P}{3} L \frac{L}{H} \cos \alpha \sqrt{1 + \frac{L^2}{H^2}}$$



$$\cos \alpha = \frac{L}{p} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g^2}{L^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0.6^2}{0.36^2}}}$$

$$\cos \alpha = \frac{0.36}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}}$$

$$\sin \alpha = \frac{0.6}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}}$$

$$S = \frac{p}{2} \quad \frac{L}{S} = \frac{g}{S} = \tan \alpha$$

$$h = \frac{2}{3} L \sin \alpha \quad h = \frac{2}{3} \cdot 0.36 \cdot \frac{0.6}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}}$$

$$P_1 = p \frac{2}{3} H \sin \alpha = \frac{2}{3} p g H$$

$$P_2 = p \frac{2}{3} H \sin \alpha = \frac{2}{3} p g H$$

$$h_2 = -\frac{S}{3} \cos \alpha + L \sin \alpha$$

$$h_2 = \frac{L \cdot g}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}} - \frac{L \cdot 0.36}{3g \sqrt{0.36^2 + 0.6^2}} =$$

$$= \frac{L}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}} \left(g - \frac{0.36}{3} \right)$$

$$P_3 = p \frac{L}{\sqrt{0.36^2 + 0.6^2}} \left(g - \frac{0.36}{3} \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

④



$$h \sin \alpha = S \cos \alpha$$

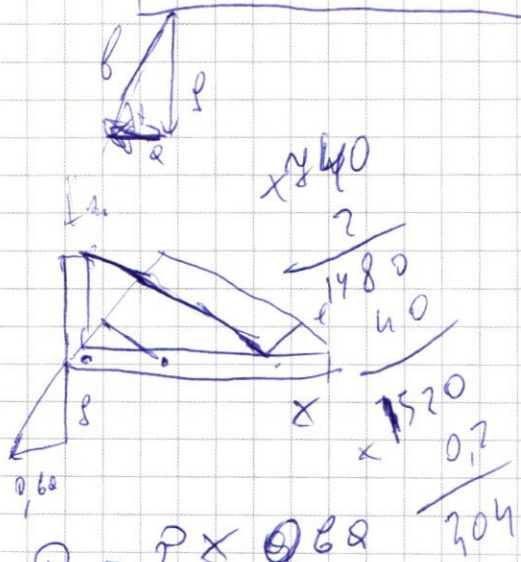
$$\frac{h \sin \alpha}{\sqrt{h^2 + x^2}} = \frac{S \cos \alpha}{\sqrt{S^2 + x^2}}$$

$$P_0 + P \sin \alpha \sqrt{h^2 + x^2} = S \cos \alpha \sqrt{S^2 + x^2}$$

$$P_0 + P \sin \alpha = S \cos \alpha$$

$$\frac{P_0}{P} \neq \frac{P_0 + P \sin \alpha}{P}$$

$$\frac{P_0 + P \sin \alpha}{P} = S$$



$$P_0 = P \times 0.68$$

$$P_1 = \frac{P S \cos \alpha}{\sqrt{h^2 + x^2}}$$

$$S - \frac{S}{3} - x \cos \alpha = h$$

$$P_2 = P \sqrt{h^2 + x^2} \left(\frac{2S}{3} - x \right) 0.68$$

$$P_1 = \frac{P S}{3} \cos \alpha$$

$$P_2 = P \left(\frac{2}{3} \frac{P_0 + P \sin \alpha}{P} - \frac{P_0}{P} \right) 0.68$$

$$P_1 = \frac{P}{3} \left(\frac{P_0 + P \sin \alpha}{P} \right) =$$

$$P_2 = 0.6 \left(\frac{2}{3} P_0 + \frac{2}{3} P \sin \alpha - \frac{5 P_0}{3} \right)$$

$$= \frac{P_0 + P \sin \alpha}{3}$$

$$P_2 = \frac{6}{10} \left(\frac{2}{3} P \sin \alpha - P_0 \right) \frac{2S}{3} = \frac{2(P_0 + P \sin \alpha)}{3 P} - \frac{P_0}{P} = \frac{P \sin \alpha - P_0}{3 P}$$

В
3

0

$$S = \frac{P_0 + P_H S}{P_0}$$

$$P_2 = \left(S - \frac{S}{3} - X \right) \cos \left(\sqrt{P^2 + 0,360^2} \right) =$$

$$= P_0 \cos \left(\frac{2S}{3} - X \right)$$

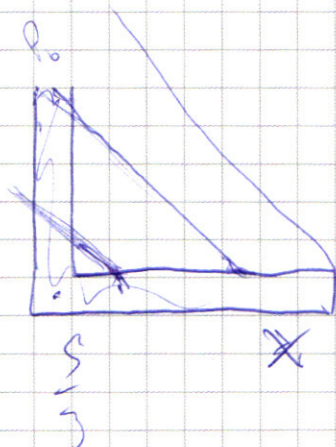
$$P \times 0,60 = P_0$$

$$P_2 = P_0 \cos \left(\frac{2(P_0 + P_H S)}{5P_0} - \frac{X}{\sqrt{P^2 + 0,360^2}} \right) =$$

$$P_2 = 0,2 \left(\frac{P_H S - 3P_0}{S} \right) =$$

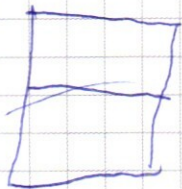
$$= 0,2 P_H (H - 3S)$$

2



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5



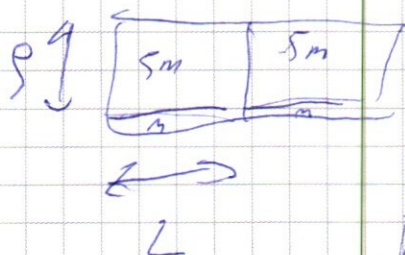
$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

$$PSL = \frac{5m}{\mu} RT$$

$$\gamma = 343 - 273 = 100$$

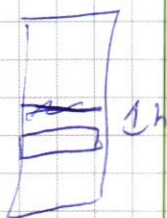
$$P_0 SL = \frac{5m}{\mu} RT$$

$$m = \frac{P_0 SL \mu}{5RT}$$



$$\gamma = 343$$

$$M_p = 0,01 P_0 S$$



$$\gamma = \frac{(6m - m_1)}{\mu}$$

$$(P_1 + P_0) S(L+h) = 2 RT$$

$$(P_2) S(L+h) = 2 RT$$

$$P_2 = P_1 - P_0 \frac{m_1}{S}$$

$$P_2 - P_1 = P_0 + \frac{m_1 p}{S}$$

$$S(P_2 - P_1)L - P_2 h - P_1 h = \frac{RT}{\mu} (m_1 - m_2)$$

$$S(P_2 L - P_2 h - P_1 L + P_1 h) = (P_2 - P_1) RT$$

$$S(L+h) = \frac{(6m - m_1)}{\mu} RT$$

$$P_2 S(L+h) = \frac{(6m - m_2)}{\mu} RT$$

$$P_2 - P_1 = 0,01 P_0 + \frac{m_1 p}{S}$$

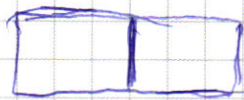
$$\frac{1}{2} \left(\frac{6m - m_1}{\mu} RT \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{6m - m_1 + 6m - m_2}{\mu} \right)$$

$$+ 2m = - 6m_1 + m_2$$

$$m_2 = m_1 + 2m$$

$$m_2 = 7m - m_1$$

$$S \left((P_1 - P_0) + \frac{m_1 g}{S} \right) L + h \left(2P_2 + P_0 - \frac{m_1 g}{S} \right) = \frac{(2m - m_1) R T}{\mu}$$



$$P_0 L S = \frac{5m}{\mu} R T$$



0,99 P₀

$$P_1 S / (L + h) = \frac{6m}{\mu} R T$$

$$P_0 S / (L - h) = \frac{(6m - m_1)}{\mu} R T$$

$$P_0 - P_1 = 0,01 P_0$$

$$P_1 = 0,99 P_0$$

$$P_0 (0,99(L + h) - (L - h)) = \frac{m_1 R T}{\mu}$$

$$P_0 S (1,99h - 0,01L) = \frac{m_1 R T}{\mu}$$

$$P_0 S (1,99h - 0,01L + L - h) = \frac{6m R T}{\mu}$$

$$P_0 S (0,99h + 0,99L) = \frac{6m R T}{\mu}$$

$$0,99h = L \left(\frac{180 - 100}{100} \right) =$$

$$= \frac{P_0 S L}{S R T} \cdot \frac{6 R T}{\mu}$$

$$99h = 19L$$

$$h = \frac{19}{99} L$$