

# Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

## Вариант 10-01

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

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/с<sup>2</sup>. 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  $\mu$ .



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

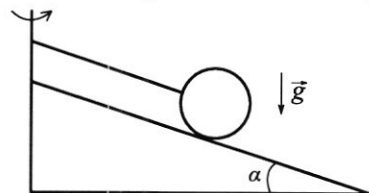
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

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  $\alpha$  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  $\omega$  вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

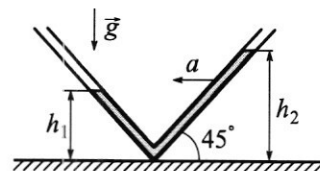


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол  $\alpha = 45^\circ$ . При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении уровни масла в коленях трубки устанавливаются на высотах  $h_1 = 8$  см и  $h_2 = 12$  см.

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/с<sup>2</sup>. Действие сил трения пренебрежимо мало.



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре  $95^\circ\text{C}$  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/см<sup>3</sup>,  $\mu = 18$  г/моль.



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.

Дано:

$$V_0 = 8 \text{ м/с}$$

$$\angle \alpha = 60^\circ$$

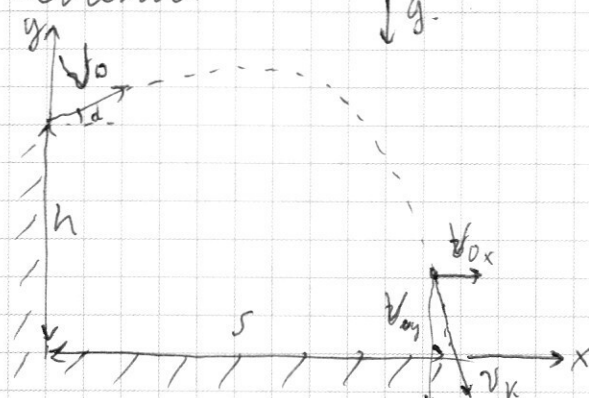
$$v_k = 2,5 V_0$$

1)  $V_y = ?$

2)  $t = ?$

3)  $s = ?$

Решение.



1) Запишем закон изменения скоростей  
по осм:

по оси  $x$   $a = 0 \Rightarrow V_{0x} = \text{const} = V_0 \cos \alpha$

по оси  $y$   $a = g \Rightarrow V_y = V_0 \sin \alpha - gt$

$$\vec{v}_k = \vec{V}_{0x} + \vec{V}_y$$

по Т. Пифагора:

$$2,5^2 V_0^2 = V_0^2 \cos^2 \alpha + (V_0 \sin \alpha - gt)^2$$

$$6,25 V_0^2 = V_0^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) - 2 V_0 \sin \alpha \cdot gt + g^2 t^2$$

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$  — по т. Пифагора.

$$\Rightarrow 5,25 V_0^2 = -2 V_0 \sin \alpha \cdot gt + g^2 t^2$$

$$g^2 t^2 - 2 V_0 \sin \alpha \cdot gt - 5,25 V_0^2 = 0$$

$$\Delta = 4 V_0^2 \sin^2 \alpha + 21 V_0^2 g^2 = V_0^2 g^2 (4 \sin^2 \alpha + 21)$$

$$t = \frac{2 V_0 \sin \alpha \cdot g \pm \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21} \cdot V_0 \cdot g}{2 g^2} = \frac{2 \cdot 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10 \pm \sqrt{4 \cdot \frac{3}{4} + 21} \cdot 8 \cdot 10}{2 \cdot 100}$$

$$t = \frac{2 V_0 \sin \alpha \cdot g \pm \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21} \cdot V_0 \cdot g}{2 g^2}$$

$$\left\{ \begin{aligned} t &= \frac{2V_0 \sin \alpha + \sqrt{4V_0^2 \sin^2 \alpha + 21} \cdot V_0}{2g} = \frac{2 \cdot 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + \sqrt{4 \cdot \frac{3}{4} + 21} \cdot 8}{20} = \frac{8\sqrt{3} + 8\sqrt{24}}{20} \text{ с} \\ t &= \frac{2V_0 \sin \alpha - \sqrt{4V_0^2 \sin^2 \alpha + 21} \cdot V_0}{2g} = \frac{8\sqrt{3} - 8\sqrt{24}}{20} < 0 \text{ - не удовлетворяет условию.} \end{aligned} \right.$$

3)  $V_y = V_0 \sin \alpha - gt = V_0 \sin \alpha - V_0 \cdot \sin \alpha \neq V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}$   
 $V_y = -V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}$  - ответ отрицательный,  
 т.к. проекция  $V_y$  на ось  $y$  отрицательная.  
 $|V_y| = |V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}|$   
 $V_y = -8\sqrt{24} \text{ м/с} \Rightarrow |V_y| = 8\sqrt{24} \text{ м/с}$

4) Запишем уравнение движения по  $Ox$ :  
 $S = \frac{2V_0 \cos \alpha \cdot t}{2} = V_0 \cos \alpha \left( \frac{2V_0 \sin \alpha + V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}}{2g} \right) =$   
 $= \frac{V_0 \sin 2\alpha + V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}}{2g} = \frac{8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 8\sqrt{24}}{20} = \frac{4\sqrt{3} + 8\sqrt{24}}{20} = \frac{2\sqrt{3} + 2\sqrt{24}}{5}$   
 $= \frac{\sqrt{3} + 2\sqrt{6}}{5} \text{ м.}$

Ответ: 1)  $V_y = V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21} = 8\sqrt{24} \text{ м/с} = 16\sqrt{6} \text{ м/с}$

2)  $t = \frac{2V_0 \sin \alpha + \sqrt{4V_0^2 \sin^2 \alpha + 21} \cdot V_0}{2g} = \frac{8\sqrt{3} + 8\sqrt{24}}{20} \text{ с} = \frac{2\sqrt{3} + 2\sqrt{24}}{5} \text{ с} = \frac{2\sqrt{3} + 2\sqrt{6}}{5} \text{ с}$

3)  $S = \frac{V_0 \sin 2\alpha + V_0 \sqrt{4 \sin^2 \alpha + 21}}{2g} = \frac{\sqrt{3} + 2\sqrt{6}}{5} \text{ м.}$

и т.д.

Дано:

$m; M = 5m;$

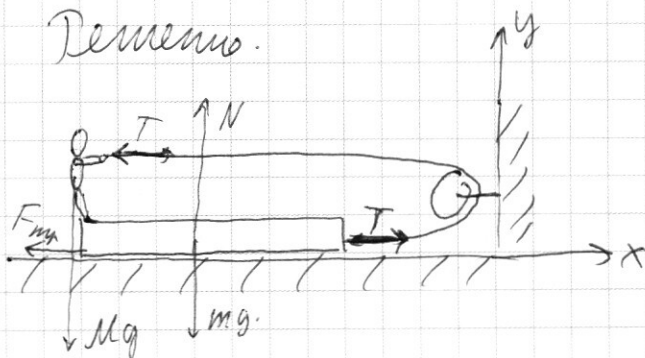
$S; \mu; F$

1)  $P = ?$

2)  $F_0 = ?$

3)  $v = ?$

Решение.



1)  $P = N$  - 3 закон Ньютона

2) По 2-3 законам на ось  $Oy$ :  $0 = N - Mg - mg$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

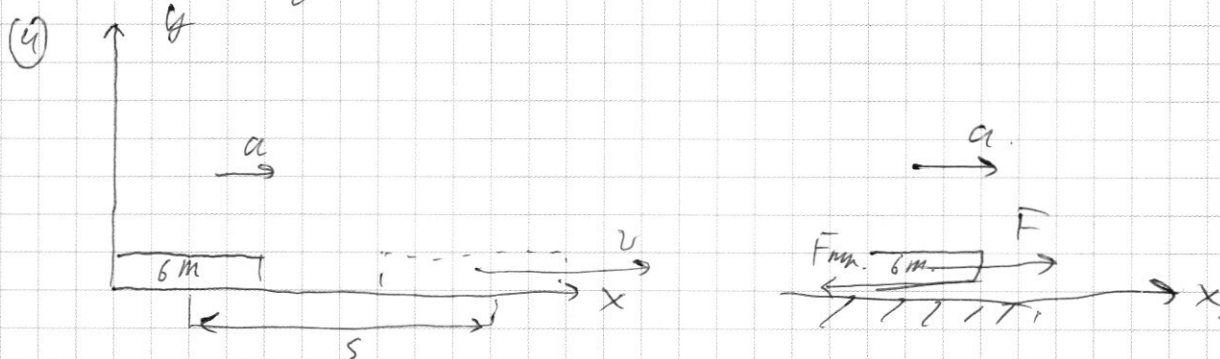
$$N = Mg + mg = 6mg = P$$

$$P = 6mg$$

- ③ По 2 3. Ньютона по Ох: для эска  
 $0 = T - F_{\text{тр}} - \text{где при т.к. стальной сила минимална}$   
- льна, то  $a = 0 \Rightarrow ma = 0 \Rightarrow$

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

$$T = \bar{F}_0 = 6\mu mg$$



- а) По 2 3. Ньютона на Ох:

$$6ma = F - F_{\text{тр}}$$

$$a = \frac{F - \mu 6mg}{6m} = \frac{F}{6m} - \mu g$$

б)  $s = v_0 t + \frac{a}{2} t^2$ ,  $v_0 = 0$ , т.к. тело покоилось  $\Rightarrow$

$$s = \frac{at^2}{2}; t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{\frac{F}{6m} - \mu g}} = \sqrt{\frac{12ms}{F - \mu mg \cdot 6}}$$

в)  $v = at = a \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{2sa} = \sqrt{2s \left( \frac{F}{6m} - \mu g \right)}$

Ответ: 1)  $P = 6mg$ ; 2)  $\bar{F}_0 = 6\mu mg$ ;  $v = \sqrt{2s \cdot \left( \frac{F}{6m} - \mu g \right)}$

и 3



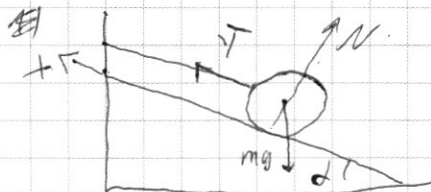
Дано:

 $m; R; l; L;$   
 $\omega$ 

1)  $T = ?$

2)  $T_2 = ?$

Решение.

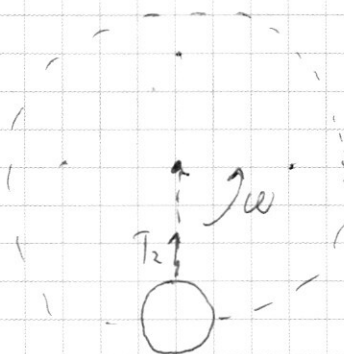
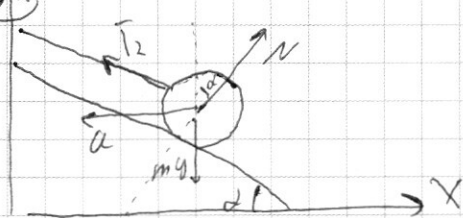


1) По 2 з. Складываем на ось x:

$$0 = T - mg \sin \alpha.$$

$$T = mg \sin \alpha.$$

2)  $y \uparrow \omega \leftarrow$



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

2) По 2 з. Складываем на ось x:

~~$$-ma = -T_2 + N \cos \alpha - T_2 \sin \alpha + N \cos \alpha \sin \alpha.$$~~

~~По 2 з. Складываем на ось y:~~

~~$$0 = mg - T_2 \cos \alpha - N \cos \alpha.$$~~

~~Решим систему уравнений.~~

~~$$\begin{cases} ma = (T_2 - N) \sin \alpha. \\ mg = (T_2 + N) \cos \alpha. \end{cases} \quad ; \quad \text{значения } a = \omega^2 (L + R) \cos \alpha.$$~~

~~$$-ma = -T_2 \cos \alpha + N \sin \alpha.$$~~

По 2 з. Складываем на ось y:

$$0 = mg - N \cos \alpha - T \sin \alpha.$$

Решим систему уравнений:

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} ma = T_2 \cos \alpha - N \cdot \sin \alpha \\ 0 + mg = N \cos \alpha + T_2 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{ma}{\sin \alpha} = T_2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha - N \\ \frac{mg}{\cos \alpha} = N + T_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{cases}$$

Сложим 2 уравнения.

$$T_2 (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha) = \frac{ma}{\sin \alpha} + \frac{mg}{\cos \alpha} \quad | \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \alpha)$$

$$T_2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = ma \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1 \quad - \text{ска. триг. тождество} \Rightarrow$$

$$T_2 = ma \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

$$\text{Заметим } a = \omega^2 (L+R) \cdot \cos \alpha \Rightarrow$$

$$T_2 = m \omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + mg \sin \alpha$$

$$\text{Ответ: } 1) T = mg \sin \alpha;$$

$$2) T_2 = m \omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + mg \sin \alpha.$$

нч.

Дано:

$$\angle \alpha = 45^\circ$$

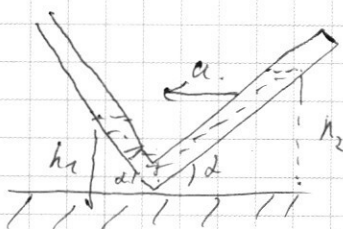
$$h_1 = 8 \text{ см}$$

$$h_2 = 12 \text{ см}$$

$$1) a = ?$$

$$2) V_{\max} = ?$$

Решение



1) по 2 3. Ньютона

$$m \cdot a = \rho g h_2 - \rho g h_1 = S \cdot ;$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot (h_1 + h_2) \cdot \sin \alpha \Rightarrow$$

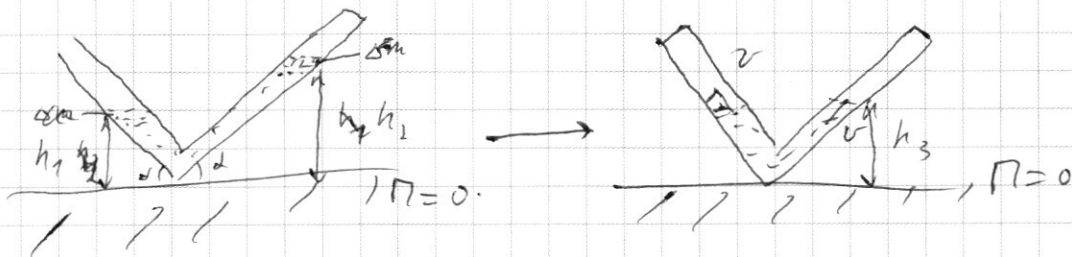
$$\rho \cdot S (h_1 + h_2) \cdot \sin \alpha \cdot a = \rho g h_1 \cdot S - \rho g h_2 \cdot S$$

$$\rho (h_1 + h_2) \cdot a \cdot \sin \alpha = \rho g (h_2 - h_1)$$

$$a = \frac{g(h_2 - h_1)}{(h_1 + h_2) \cdot \sin \alpha} = \frac{10 \cdot (0,12 - 0,08)}{(0,12 + 0,08) \cdot \sqrt{2}} = \frac{20 \cdot (0,04)}{0,20 \sqrt{2}} = \frac{20 \cdot 4}{20 \sqrt{2}} =$$

$$= \frac{4\sqrt{2}}{2} = 2\sqrt{2} \text{ (м/с}^2\text{)}$$

2)



1) Пл. к. сечение одинаково, то на сколько поднимется  $h_1$ , то на столько опустится  $h_2 \Rightarrow$

$$\begin{cases} h_3 = h_2 - \Delta h \\ h_3 = h_1 + \Delta h \end{cases}, \text{ где } \Delta h - \text{изменение воды.}$$

$$2 h_3 = h_2 + h_1$$

$$h_3 = \frac{h_2 + h_1}{2}$$

2) По 3. 6. 7: Вода будет совершать колебания, поэтому в тех случаях в (1) равновесия, то есть в то есть, когда вода уравновешивается.

Возьмем Рассмотрим движение бесконечно малой Рассмотрим движение бесконечно

малой части воды  $\Delta m$  на высоте  $h_2$  и  $h_1$ .

По 3. 6. 7:

$$\Delta m g h_1 + \Delta m g h_2 = \frac{2 \Delta m g h_3}{2} - 2 \Delta m g h_3$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$gh_1 + gh_2 = v_{\max}^2 + 2gh_3$$

$$v_{\max}^2 = g(h_1 + h_2 - 2h_3)$$

Рассмотрим движение скамеечки массы  $m$  в воде (1.) на высоте  $h_1$

По 3.с.э:

$$\Delta m g h_1 = \Delta m g h_3 + \frac{\Delta m v_{\max}^2}{2}$$

$$v_{\max} = \sqrt{2g(h_1 - h_3)}$$

$$v_{\max} = \sqrt{2g(h_1 - h_3)} = \sqrt{2g(h_1 - \frac{h_1 + h_2}{2})} = \sqrt{g(h_1 - h_2)} \sqrt{g(h_1 - h_2)} =$$

$$= \sqrt{10 \cdot 0,04}$$

По 3.с.э:

$$\Delta m g h_2 = \Delta m g h_3 + \frac{\Delta m v_{\max}^2}{2}$$

$$v_{\max} = \sqrt{2g(h_2 - h_3)} = \sqrt{2g(h_2 - \frac{h_1 + h_2}{2})} = \sqrt{g(h_2 - h_1)} = \sqrt{10(0,012 - 0,008)} =$$

$$= \sqrt{10 \cdot 0,004} = 0,2\sqrt{10} = \frac{\sqrt{10}}{5} \text{ м/с}$$

Ответ: 1)  $a = \frac{g(h_2 - h_1)}{(h_1 + h_2) \cdot \sin \alpha} = 2\sqrt{2} \text{ м/с}^2$

2)  $v_{\max} = \frac{\sqrt{10}}{5} \text{ м/с}$

У5

Дано:

$$T = 368 \text{ K}$$

$$\mu = 100 \text{ K}$$

$$P = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

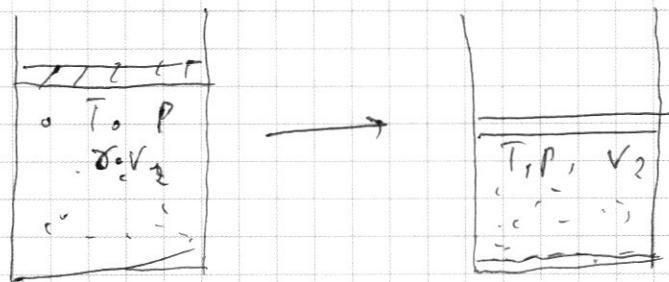
$$T = \text{const}$$

$$\delta = \frac{V_1}{V_2} = 4,7$$

$$1) \frac{p_n}{p_b}?$$

$$2) \frac{V_n}{V_b}?$$

Решение.



1) Уравнение МЖ для 1 случая:

$$p V_2 \delta = \frac{m R T}{\mu}$$

$$p = \frac{m R T}{\delta V_2 \mu}; \quad \frac{m}{\delta V_2} = p_n \Rightarrow \frac{p}{\delta \mu} = p_n \Rightarrow p_n = \frac{p \mu}{\delta R T}$$

$$\frac{p_n}{p_b} = \frac{p \mu}{R T p_b} = \frac{2,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 368 \cdot 1000} = \frac{153 \cdot 10}{2454,4 \cdot 1000} =$$

$$= \frac{153 \cdot 10^{-2}}{2454,4} \approx 0,06 \cdot 10^{-2} = 6 \cdot 10^{-4}$$

2) П.к. пар находится, то  $p = \text{const.} = p_{\text{н.п.}}$

и уравнения МЖ для 1 и 2 случая:

$$\begin{cases} p \cdot V_2 \cdot \delta = \frac{m R T}{\mu} \\ p V_2 = \frac{m_2 R T}{\mu} \end{cases} \Rightarrow \frac{m}{m_2} = \delta$$

$$dm_b = (m - m_2) = m \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)$$

$$a) V_b = \frac{m_b}{p_b} \quad V_b = \frac{m_b}{p_b}$$

$$b) V_n = \frac{m_2}{p_n} \quad V_n = \frac{m_2}{p_n} \Rightarrow$$

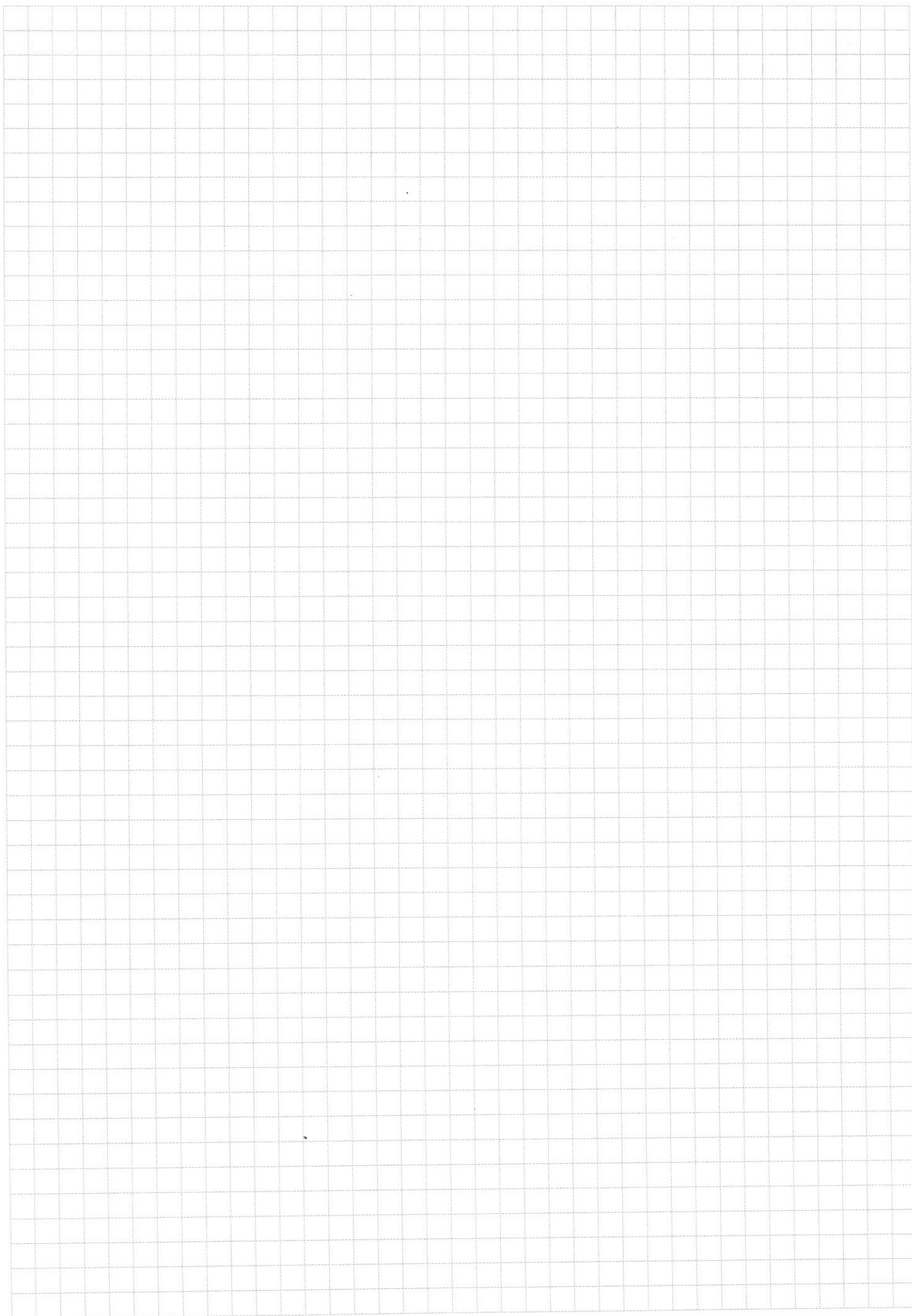
$$\frac{V_n}{V_{n2}} = \frac{m_2 p_n}{m_b p_b} = \frac{m}{\delta \cdot m \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} \cdot \frac{p_n}{R T p_b} = \frac{p_n}{(\delta - 1) R T p_b} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{3,7} \approx 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{p_n}{p_b} = 6 \cdot 10^{-4} \quad 2) \frac{V_n}{V_2} = \frac{p_n}{(\delta - 1) R T p_b} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{V_n}{V_B} = \frac{m_2 \cdot p_B}{m_B \cdot p_n} = \frac{m}{\delta \cdot m(1-\delta)} \cdot \frac{RT p_B}{p \cdot \mu} = \frac{RT \cdot p_B}{(\delta-1) \cdot p \cdot \mu} = \frac{1}{3,7 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} =$$
$$= \frac{1}{22,2} \cdot 10^4 = 0,05 \cdot 10^4 = 500$$

Ответ: 1)  $\frac{p_n}{p_B} = \frac{p \cdot \mu}{RT \cdot p_B} = 6 \cdot 10^{-4}$ ; 2)  $\frac{V_n}{V_B} = \frac{RT p_B}{(\delta-1) \cdot p \cdot \mu} = 500.$





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$x: v_0 \cos \alpha \quad S = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$h = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$v_{kx} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{ky} = v_{0y} - gt$$

$$2,5 V_0^2 = v_0^2 \cos^2 \alpha + v_0^2 \sin^2 \alpha - 2v_{0y}gt + g^2 t^2$$

$$2,5 v$$

$$\begin{array}{r} \times 2,5 \\ 2,5 \\ \hline + 725 \\ 50 \\ \hline 6,25 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 5,25 \\ 5,25 \\ \hline 21,00 \end{array}$$

$$2. \quad S = \frac{v_k + v_0}{2} \cdot t = \frac{v_0 + at + v_0}{2} \cdot t = \frac{2v_0 t + at^2}{2} = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

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

$$\begin{array}{r} + 243 \\ 95 \\ \hline 368 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 8,5 \\ 18 \\ \hline + 680 \\ 85 \\ \hline 1530 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 368 \\ 8,3 \\ \hline + 1104 \\ 2344 \\ \hline 2454,4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0 \\ 2454 \mid 153 \\ - 153 \\ \hline 924 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1530 \mid 24544 \\ 0 \mid 0,06 \\ \hline 153000 \\ - 147264 \\ \hline \end{array}$$

$$6 \div 3,7 =$$

$$\begin{array}{r} \times 3,7 \\ 6 \\ \hline 202,2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10 \mid 222 \\ - 200 \\ \hline 22 \\ - 20 \\ \hline 2 \\ - 2 \\ \hline 0 \end{array}$$



