

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр 7.18

(заполняется секретарём)

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

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?

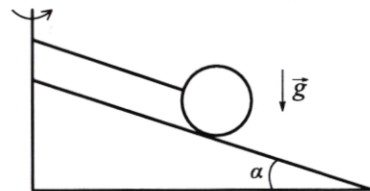
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

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.

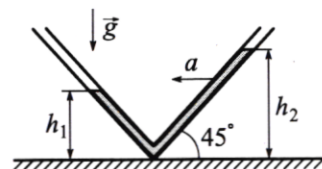
2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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

Дано:

$$V_0 = 8 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$V_y < 0 \text{ (камень}$$

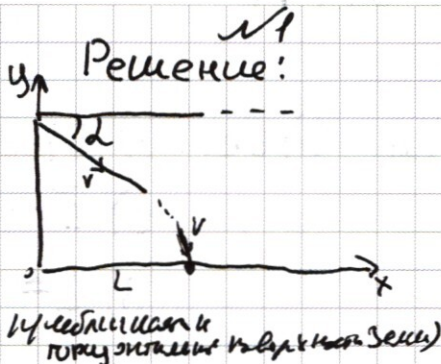
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$V_k = 2,5 V_0$$

Найти:
1) $V_{yk} = ?$

2) $\tau = ?$

3) $L = ?$



Решение: $\checkmark$
1) Поскольку камень

$$V = V_0$$

$$V_{ky} = V_{0y} - g\tau$$

$$V_{0y} = -V \sin \alpha$$

$$V_{0x} = V_{kx} = V \cos \alpha \text{ (т.к. } a_x = 0 \text{)}$$

$$L = V_{0x} \tau = V \cos \alpha \tau$$

$$0 = H + V_{0y} \tau - \frac{g\tau^2}{2} = H - V \sin \alpha \tau - \frac{g\tau^2}{2}$$

$$V_k = V_{0y} \sqrt{V_{ky}^2 + V_{kx}^2} = \sqrt{V_{0y}^2 - 2g\tau V_{0y} +$$

$$+ g^2 \tau^2 + V_{0x}^2} = \sqrt{V^2 \sin^2 \alpha + 2g\tau V \sin \alpha +$$

$$+ g^2 \tau^2 + V^2 \cos^2 \alpha} \Rightarrow V^2 + 2g\tau V \sin \alpha +$$

$$+ g^2 \tau^2 = V_k^2 \Rightarrow g^2 \tau^2 + 2g\tau V \sin \alpha +$$

$$+ (V^2 - V_k^2) = 0$$

$$\tau = \frac{-2g\tau V \sin \alpha \pm \sqrt{4g^2 \tau^2 V^2 \sin^2 \alpha - 4g^2 (V^2 - V_k^2)}}{2g^2}$$

т.к. $\tau > 0$

$$\tau = \frac{-2g\tau V \sin \alpha + \sqrt{4g^2 \tau^2 V^2 \sin^2 \alpha + V_k^2 - V^2}}{g} =$$

$$= \frac{-\sin \alpha V + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + V_k^2 - V_0^2}}{g}$$

$$\approx 1,2276 \text{ с}$$

$$V_{ky} = V_{0y} - g\tau = -V \sin \alpha - g\tau =$$

$$= -V \sin \alpha - g \cdot \left(\frac{-\sin \alpha V + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \alpha + V_k^2 - V_0^2}}{g} \right) =$$

$$V_{ky} = V_{0y} - g\tau = V_0 \sin \alpha - g \cdot \left(\frac{-\sin \alpha V_0 + \sqrt{V_0^2 + V_k^2 + V_0^2 \sin^2 \alpha}}{g} \right) \approx -19,076 \text{ м/с}$$

$$L = V_0 \cos \alpha \cdot \tau = V_0 \cos \alpha \cdot \left(\frac{-\sin \alpha V_0 + \sqrt{V_k^2 - V_0^2 + V_0^2 \sin^2 \alpha}}{g} \right) = 4,9104 \text{ м}$$

Ответ: 1) $V_{ky} \approx -19,076 \text{ м/с}$

2) $\tau \approx 1,2276 \text{ с}$

3) $L \approx 4,9104 \text{ м}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

m S

$M = 5m$

μ

$m_0 = m_1 = 0$

$F_{тр.0} = 0$

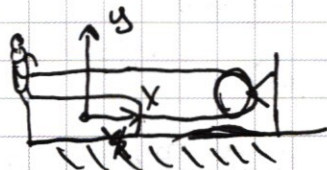
Найти:

1) $F_0 = ?$

2) $F_0 = ?$

3) Если $F > F_0$:

$V = ?$



↓ $\checkmark$
Решение:

1) $F_g = mg$ $F_{тр.0} + F_{тр.1} = Mg + mg = 6mg$

2) Если $F_0 - \min \Rightarrow a = 0$

3) $F_0 - F_{тр.0} = 0$ $F_{тр.0} = \mu N$
 $N = \frac{F_g}{\mu}$ ($a_y = 0$)

$F_g \cdot \mu = F_0 \Rightarrow 6mg \mu = F_0$

3) Если $F > F_0$, то $a_x > 0$.

$F - F_{тр.0} = m a_x \Rightarrow a = a_x$ ($a_y = 0$)

$V_x = V_{0x} + a \tau$ $S = V_{0x} \tau + \frac{a \tau^2}{2}$ $m_0 = M + m = 6m$

$V_{0x} = 0$ $V = V_x$, т.к. $V_{0y} = 0$ и $a_y = 0$.

$a \frac{\tau^2}{2} = S \Rightarrow \tau = \sqrt{\frac{2S}{a}} \Rightarrow V_x = V = a \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{2Sa} = \sqrt{2S \left(\frac{F - F_{тр.0}}{m_0} \right)} = \sqrt{2S \left(\frac{F - 6m \mu g}{6m} \right)}$

Ответ: 1) $F_0 = 6mg$

2) $F_0 = 6mg \mu$

3) $V = \sqrt{2S \left(\frac{F - 6m \mu g}{6m} \right)}$

$\checkmark$

Дано:

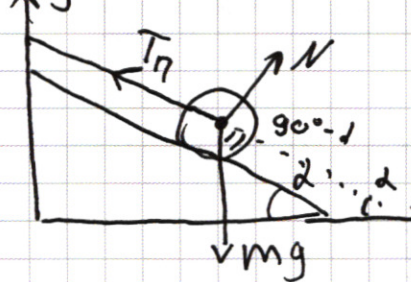
m, R, L, d

Найти:

1) $T_n = ?$

2) $T_B = ?$

Решение:



1) Шар находится

$a = 0$

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

$T_n = mg \sin \alpha$
 ~~$mg \sin \alpha$~~

2) Шар имеет геометрические размеры

Решение:

$R_n = R + L$

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

$T_B \sin \alpha = mg \sin \alpha$

$a_y = w^2 R_n = w^2 (R + L)$

$T_B = mw^2 (R + L) + \frac{mg \sin \alpha}{\sin \alpha}$

Ответ: 1) $T_n = \frac{mg}{\sin \alpha} \sin \alpha$

2) $T_B = mw^2 (R + L) + \frac{mg \sin \alpha}{\sin \alpha}$

Дано: h_1, h_2, d
Найти:

1) $a = ?$

2) $V = ?$ $V_0 = ?$ h_1, h_2, d

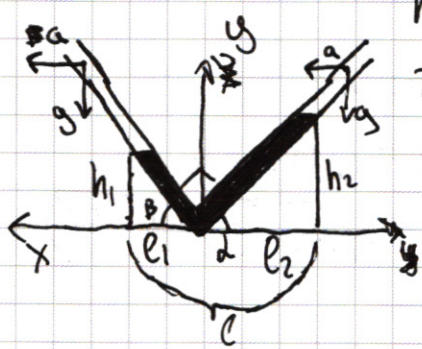
№ 4 $\beta = 90^\circ - \alpha = 45^\circ$ (считая трубку пополам)

$\Delta P = \rho g H_2 - \rho g H_1 = \rho g h_2 \sin \alpha$

$\rho g h_1 / \sin \alpha = \frac{\rho g}{\sin \alpha} (h_2 - h_1)$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{H_1 S}{H_2 S} = \frac{h_1}{h_2}$ $\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{h_1}{h_2}$

Т.к. $d = 45^\circ \Rightarrow l_2 = h_2$
Т.к. $\beta = 45^\circ \Rightarrow l_1 = h_1$
 $\Rightarrow l = h_2 + h_1 = l_2 + l_1$



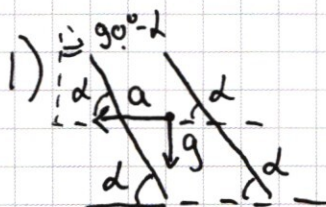
Потенциал в центре тяжести

в трубе (поверхности)

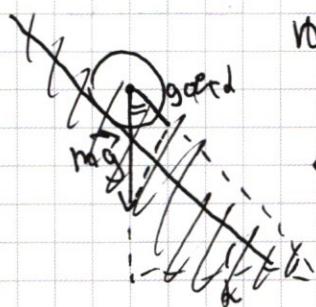
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

выберите ~~и укажите~~ a по оси y

$$\begin{aligned} \frac{ma}{S} = \Delta p &= \frac{\rho g h_1 S a}{S \sin \alpha} + \frac{\rho g h_2 S a}{S \sin \alpha} = \frac{\rho g}{\sin \alpha} (h_1 + h_2) \cdot \\ &= \frac{\rho g}{\sin \alpha} (h_2 - h_1) \Rightarrow a = g \frac{h_2 + h_1}{h_2 - h_1} = 10 \cdot \frac{\frac{8}{100} + \frac{12}{100}}{\frac{12}{100} - \frac{8}{100}} = \\ &= 50 \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} a \cos \alpha - g \sin \alpha &= a_1 \\ -a \cos \alpha - g \sin \alpha &= a_2 \\ \Delta p \neq \Delta p_1 \end{aligned}$$



$$\rho a_1 h_1 = \rho a_2 h_2$$

$$\begin{aligned} h_1 (a \cos \alpha - g \sin \alpha) &= \\ &= (-a \cos \alpha - g \sin \alpha) h_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \cos \alpha (h_1 + h_2) &= \\ &= g \sin \alpha (h_1 - h_2), \text{ где} \end{aligned}$$

$$g_y = -|g|$$

$$a = \frac{-h_1 + h_2}{h_1 + h_2} |g| \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\alpha = 45^\circ \Rightarrow \sin \alpha = \cos \alpha$$

$$a = \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} |g| = \frac{12/100 - 8/100}{8/100 + 12/100} \cdot$$

$$\cdot 10 = \frac{4}{20} \cdot 10 = 2 \text{ м/с}^2 \text{ (направлена к оси х)}$$

2) Перейдем в систему отсчета связанную с трубкой.

Ответ: 1) $a = 2 \text{ м/с}^2$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$t_0 = 95^\circ\text{C} \Rightarrow T_0 = 368\text{K}$$

$$P_0 = P = 8,5 \cdot 10^4 \text{Па}$$

$$\rho_0 = \rho = 1\text{г/см}^3 = 1000 \text{кг/м}^3$$

$$\mu = 18\text{г/мол} = 18 \cdot 10^{-3} \text{кг/мол}$$

$$V_0/V_k = 4,7$$

Найти:

$$1) K' = \frac{\rho_k}{\rho} = ?$$

$$2) \frac{V_0}{V_k} = 4,7 = x :$$

$$L = \frac{V_n}{V_0} = ?$$

$$1) PM \neq \text{const}$$

$$P_0 V_0 = \nu R T_0 \Rightarrow \frac{\nu}{V_0} = \frac{P}{R T_0}$$

$$\rho_n V_0 = \nu \mu$$

$$\rho_n = \frac{\nu}{V_0} \mu = \frac{P}{R T_0} \mu$$

$$K = \frac{\rho_n}{\rho} = \frac{P \cdot \mu}{R T_0 \cdot \rho} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18}{8,31 \cdot 368 \cdot 1000}$$

$$\cdot 10^{-3} \approx 5 \cdot 10^{-4}$$

$$2) \rho_k V_k = \rho V_0$$

$$\rho_k \neq \rho$$

$$\Delta V = 3,7 V_k = \frac{3,7}{4,7} V_0$$

$$P_k V_k = \nu_k T_0 R$$

$$\nu_k = \frac{P_k V_k}{T_0 R} = \frac{P_k V_0}{4,7 T_0 R} = \frac{P_k \nu}{4,7 P}$$

$$P_k = P \Rightarrow \nu_k = \frac{\nu}{4,7} = \frac{\nu}{x} \quad -\nu_k + \nu = \Delta \nu \quad V_0 = \frac{\Delta \nu \mu}{\rho} =$$

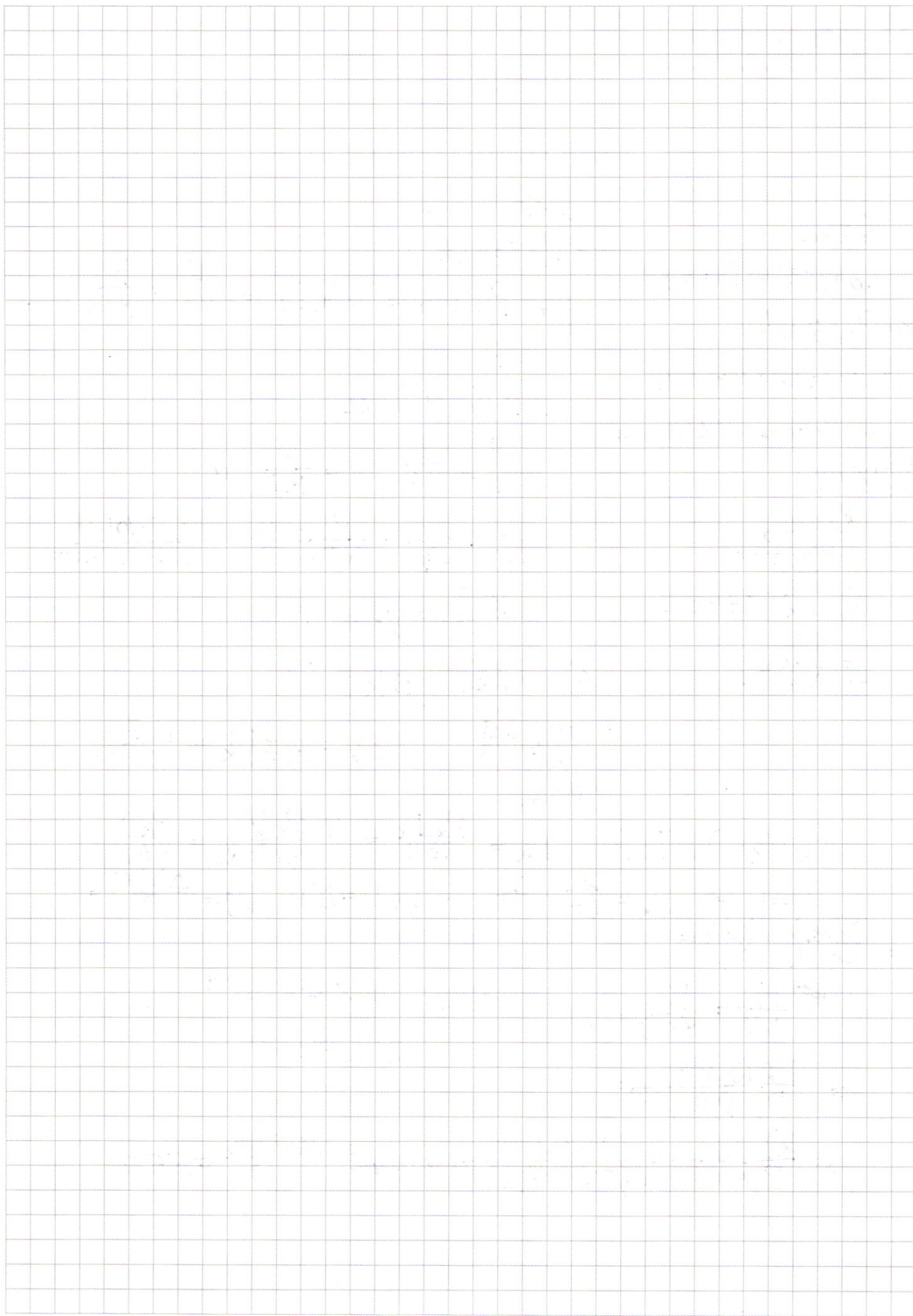
$$\frac{V_k}{V_0} = \frac{V_0}{4,7 V_0} =$$

$$= \frac{\nu R T_0 \rho x}{P x \nu \mu (x-1)} =$$

$$= \frac{R T_0 \cdot \rho}{P \mu (x-1)} = \frac{8,31 \cdot 368 \cdot 1000}{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 (4,7-1)} \approx \frac{2000}{3,7} \approx 550$$

$$\text{Ответ: } 1) K \approx 5 \cdot 10^{-4}$$

$$2) L \approx 550$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{1530}{368 \cdot 8,31 \cdot 1000}$$

$$19^2 + 16^2$$

$$\begin{array}{r} 153 \\ 305808 \\ 51 \\ \hline 101936 \end{array}$$

$$\underline{1}$$

$$4,8$$

$$\begin{array}{r} 1,2276 \\ \times 4 \\ \hline 19,904 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 101936 \\ 51 \\ \hline \end{array}$$

$$\frac{510000}{101936} \cdot 10^{-4}$$

$$831 \cdot 12 \cdot 368$$

$$1,2276$$

$$12,276$$

$$\begin{array}{r} 1,7 \\ 6,8 \end{array}$$

$$\begin{aligned} (800 + 30 + 1)(300 + 60 + 8) &= \\ &= 800 \cdot 30000 + 8000 + 300 + 48000 + \\ &+ 24000 + 60 + 6400 + 240 + 8 = 28 \\ &= 305808 \end{aligned}$$

$$153 = 51 \cdot 3 \quad 17 \cdot 9$$

$$368 = 12$$

$$\frac{1}{200} = 0,0$$

$$104$$

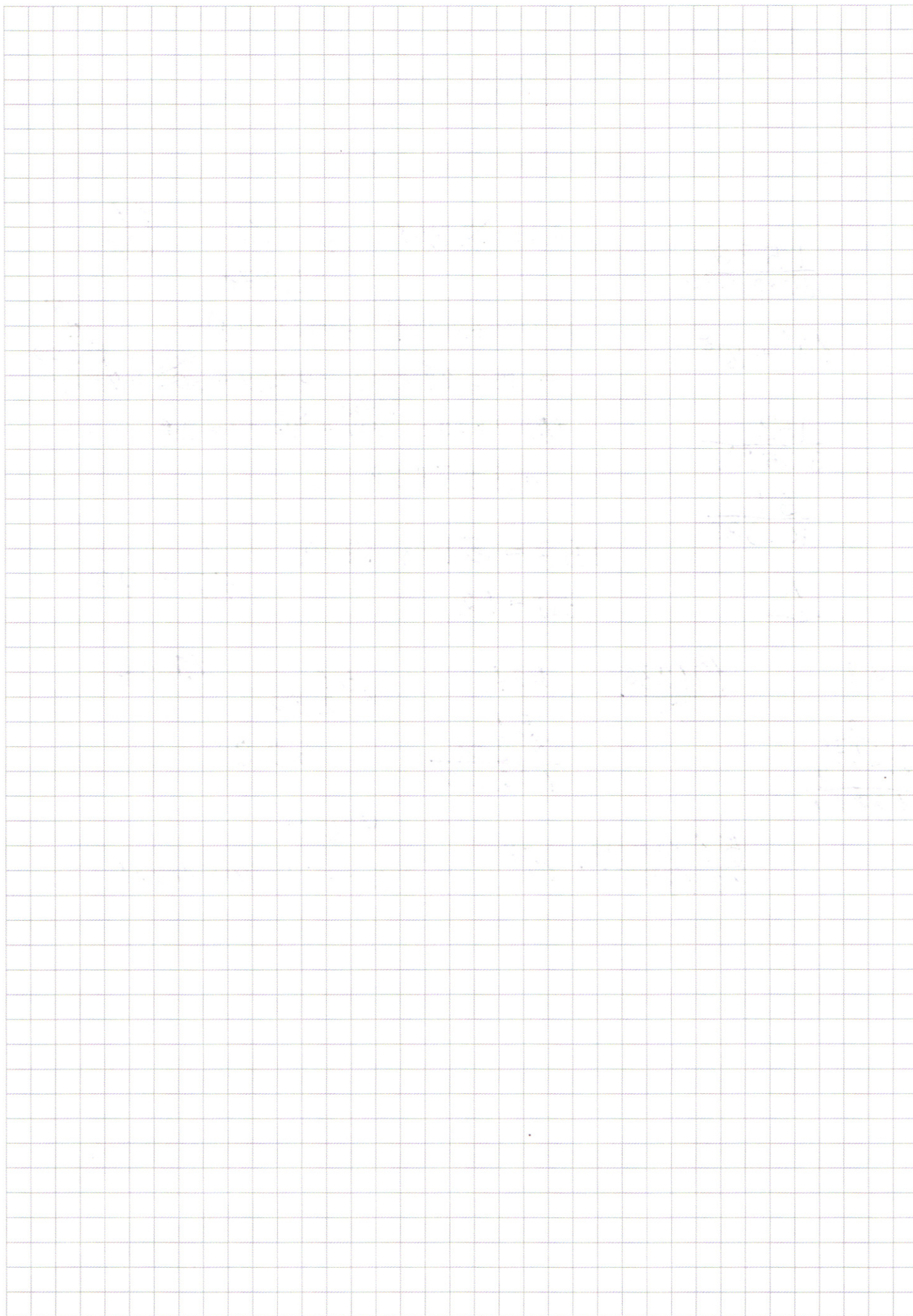
$$\begin{array}{r} 51 \\ \times 200 \\ \hline 10200 \end{array}$$

$$\times 51$$

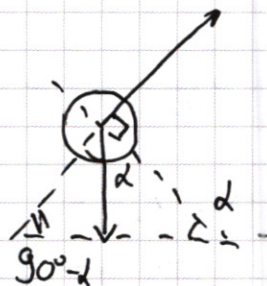
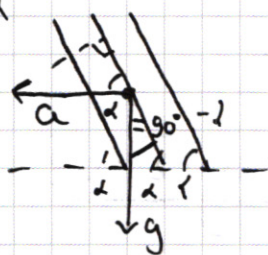
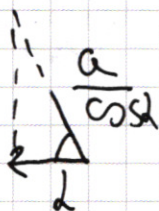
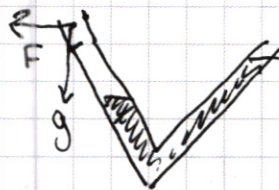
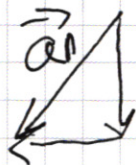
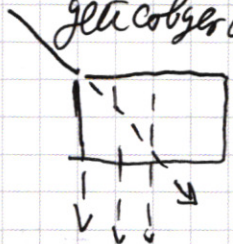
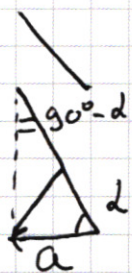
$$509$$

$$18076$$

$$\begin{aligned} &400 - \\ &(20 - 1)^2, \quad 400 - 40 + 1 \end{aligned}$$



На поверхности 2) с какой силой F_0 действовала.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$64 \cdot \frac{3}{4}$$

$$\frac{8.5}{2}$$

$$20$$

$$48 - 64$$

$$2,5 \sqrt{0^2} - 16$$

$$400 - 16 = 384 = 8 \sqrt{2 \cdot 3}$$

$$128 = 2 \cdot 64$$

То-есть мы имеем
который нужен, чтобы

$$384 = 3 \cdot 128$$

$$50000$$

$$1,41$$

$$-8 \frac{\sqrt{3}}{2} 5$$

$$-4\sqrt{3} + 8\sqrt{2} \cdot \sqrt{3}$$

$$141.141 =$$

$$8 \cdot 1,4 \times \frac{37}{16}$$

$$7,28$$

$$8 \cdot 1,41 =$$

$$= 11,28$$

$$(800 + 300 + 1)$$

$$=$$

$$1,41$$

$$\begin{array}{r} 7,28 \\ \times 37 \\ \hline 600 \\ 222 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 37 \\ 550 \\ \hline 1850 \\ 18509000 \end{array}$$

$$(140+1)(140+1) = 140^2 + 280 + 1$$

$$(100+40)(100+40) = 10000 + 8000 + 1600 = 18400$$

$$140^2 + 560 + 4$$

$$0,728$$

$$144$$

$$\begin{array}{r} 140^2 \\ 728 \\ \times 17 \\ \hline 4996 \\ + 728 \\ \hline 12276 \end{array}$$

$$7,28 \cdot 1,7$$

$$800 \cdot 300 =$$

$$831 \cdot 368$$

$$8,31 \cdot 368$$

$$1530$$

$$\begin{aligned} & (80+5)(10+8) = 800 + 50 + \\ & + 640 + 40 = 1530 \end{aligned}$$

$$8,5 \cdot$$

$$\frac{8,5 \cdot 18}{368 \cdot 8,31 \cdot 1000}$$

$$+ 273 + 95 = 368$$

$$8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}$$