

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-01

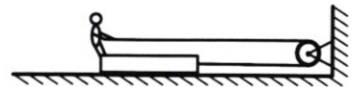
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

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.

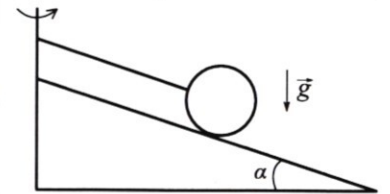
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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 .



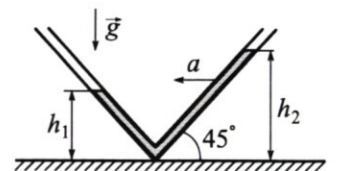
- 1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?
- 2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?
- 3) Какой скорости достигнет ящик, если человек осуществит задуманное, приложив постоянную силу F ($F > F_0$) к канату?

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

N 1.

$$|\vec{v}_1| = 8,25 v_0$$

*) Направим оси как на рисунке.

1) Горизонтальная компонента скорости камня постоянна и

равна $v_0 \cos \alpha$. Тогда, по правилу сложения скоростей:

$$2,5 v_0 = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + v_0^2}$$

$$v_0 = \sqrt{6,25 v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha} = \sqrt{6,25 \cdot 64 - 64 \cdot \frac{1}{4}} = 8\sqrt{6} \text{ м/с.}$$

2) $\vec{v}_1 = \vec{v}_0 + \vec{g} \tau$, где τ — время полёта камня.

В проекции на Oy:

$$g \tau = v_0 \sin \alpha$$

$$\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{8\sqrt{6} \cdot 4\sqrt{3}}{10} = \frac{4\sqrt{6} \cdot 2\sqrt{3}}{5} \text{ с.}$$

3) $\vec{s} = \vec{v}_0 \tau - \frac{g \tau^2}{2}$, или в проекциях на Ox:

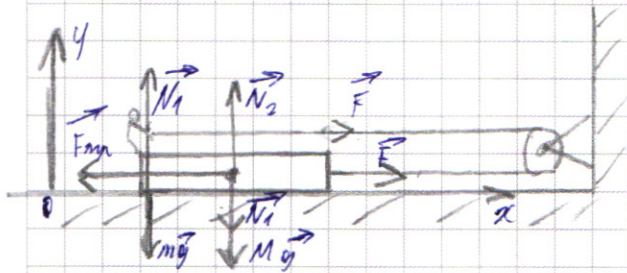
$$l = v_0 \cos \alpha \tau = 4 \cdot \frac{4\sqrt{6} \cdot 2\sqrt{3}}{5} = \frac{16\sqrt{6} \cdot 8\sqrt{3}}{5} \text{ м}$$

(l — горизонтальное смещение)

Ответ: 1) $v_0 = 8\sqrt{6}$; 2) $\tau = \frac{4\sqrt{6} \cdot 2\sqrt{3}}{5}$; 3) $\frac{16\sqrt{6} \cdot 8\sqrt{3}}{5}$

$$l = \frac{16\sqrt{6} \cdot 8\sqrt{3}}{5} \text{ м.}$$

N 2.



На рисунке показаны все силы, действующие на человека и ящик, а также выбраны оси

1) По третьему закону Ньютона ^{давит} человек ~~действует~~ на ящик с

силой $|\vec{N}_1|$, а ящик с человеком на пол с силой $|\vec{N}_2|$ направленным вертикально вниз. Так как движения ^{по} вертикальной оси нет, то по первому закону Ньютона.

$$N_1 = mg \text{ и}$$

$$N_2 = Mg + N_1 = 6mg$$

2) Минимальной силой будет в случае, когда ящик движется с постоянной скоростью. Из первого закона Ньютона:

$$F_0 = F_{тр} = \frac{\mu N_2}{\text{для ящика}} = 6\mu mg$$

3) Из второго закона Ньютона на ось Oх:

$$Mg = F - 6\mu mg$$

$$a = \frac{F - 6\mu mg}{5m}$$

Ящик изначального не движется. Значит:

$$S = \frac{at^2}{2} = 2t = a \sqrt{\frac{2S}{a}}$$

$$v = at = \sqrt{2aS} = \sqrt{\frac{2S(F - 6\mu mg)}{5m}}$$

Ответ: 1) $N_2 = 6mg$ и направлен вниз; 2) $F_0 = 6\mu mg$;

$$3) v = \sqrt{\frac{2S(F - 6\mu mg)}{5m}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

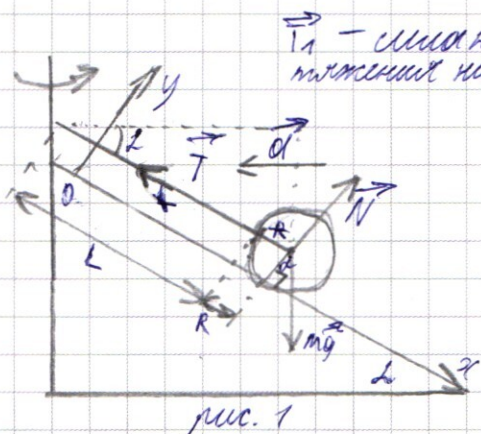


рис. 1

№ 3.

$\vec{T}_1$ — сила натяжения нити без вращения; $\vec{T}_2$ — сила натяжения нити во время вращения с угловой скоростью ω

1) М.к. система покоится, то, по первому закону Ньютона на ось Ox :

$$T_1 = mg \sin \alpha$$

2) М.к. систему начали вра-

щать с постоянной скоростью, появилось центростремительное ускорение. Зопишем уравнение второго закона Ньютона на ось Ox :

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

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

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

$\Downarrow$

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

($\alpha = \omega^2 (R+L) \cos \alpha$, $R+L$, м.к. $\omega^2 (R+L) \cos \alpha$ — центростремительное ускорение, $m \omega^2 (R+L) \cos \alpha$ — сила, вызываемая этим ускорением)

Ответ: 1) $T_1 = mg \sin \alpha$, 2) $T_2 = m \omega^2 (R+L) \cos \alpha + mg \sin \alpha$

№ 5.

1) $p = \frac{p_n}{\mu} RT$, где p_n — плотность пара, $T = 95 + 273 = 368 \text{ K}$.

* Отсюда:

$$p_n = \frac{p \mu}{RT} \quad (\text{и плотность паров})$$

Получаем:

$$k = \frac{p_n}{p} = \frac{p \mu}{p RT} \approx 0,0005$$

$$2) \begin{cases} pV_1 = J_1 RT \\ pV_2 = J_2 RT \end{cases}, \text{ где } V_1 - \text{начальный объем пара; } J_1 - \text{начальное кол-во пара; } J_2 - \text{кол-во пара при } V_2;$$

$$V_2 = \frac{V_1}{\gamma}$$

Откуда:

$$\frac{J_1}{J_2} = \gamma = \frac{\frac{m_1}{M}}{\frac{m_2}{M}} = \frac{m_1}{m_2}, \text{ где } m_1 - \text{начальная масса пара, а } m_2 - \text{масса пара при } V_2.$$

Поучаем:

$$m_1 = \gamma m_2$$

$\Delta m = m_b = m_1 - m_2 = m_2(\gamma - 1)$, где Δm - кол-во сконденсировавшегося пара, а m_b - масса волагуившейся воды, когда объем пара V_2 .

Также:

$$\begin{cases} m_2 = \rho_n V_2 \\ m_2(\gamma - 1) = \rho V_b \end{cases}$$

$$\Downarrow$$

$$n = \frac{V_2}{V_b} = \frac{\rho}{\rho_n(\gamma - 1)} = \frac{\rho RT}{\rho_n M(\gamma - 1)} \approx \frac{1}{0,0005 \cdot 3,7} \approx 540$$

Ответ: 1) $k = \frac{\rho_n M}{\rho RT} \approx 0,0005$ 2) $n = \frac{V_2}{V_b} \approx 540$

N4.

1) Давления создаваемые левой и правой частями трубки в нижней точке соответственно равны:

$$p_1 = \rho g h_1$$

$$p_2 = \rho g h_2, \text{ где } \rho - \text{плотность жидкости}$$

в трубке.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Запишем второй уравнение второго закона Ньютона для жидкости в проекциях на горизонт:

$$m a = p_2 S - p_1 S, \text{ где } m - \text{масса жидкости};$$

S - площадь поперечного сечения трубки.

$$m = \rho \left(\frac{h_1 + h_2}{\sin \alpha} \right) S \quad \left\{ \begin{array}{l} \cos 45^\circ = \sin 45^\circ, \text{ потому что } \end{array} \right. \quad \text{представим } \frac{h_1}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \rho \frac{h_1}{\cos \alpha} \text{ как } \rho \frac{h_1}{\sin \alpha}$$

Получаем:

$$\rho \left(\frac{h_1 + h_2}{\sin \alpha} \right) S a = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S$$

$$a = g \sin \alpha \cdot \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 10 \cdot \frac{4}{20} = \sqrt{2} \text{ м/с}^2$$

2) Максимальной скоростью жидкости относительно неподвижной трубки будет ^{тогда} в момент, когда уровни жидкостей выравняются. Из ЗСЭ:

$m_1 g h_1 + m_2 g h_2 = m g h + m g h + m v^2$ (*), где m_1 - ^{начальная} масса жидкости слева; m_2 - ^{начальная} масса жидкости справа; h - уровень жидкости слева и справа ^в равновесном состоянии; m - масса жидкости слева и справа в равновесном состоянии; v - ~~тогда~~

$$m_1 = \frac{\rho h_1}{\sin \alpha} S; \quad m_2 = \frac{\rho h_2}{\sin \alpha} S; \quad h = \left(\frac{h_1}{\sin \alpha} + \frac{h_2 - h_1}{2 \sin \alpha} \right) \sin \alpha = \frac{h_1 + h_2}{2},$$

$$m = \frac{\rho h}{\sin \alpha} S = \frac{\rho (h_1 + h_2)}{2 \sin \alpha} S$$

Подставим ^{на} указанные выше в (*), получаем:

$$\frac{\rho g h_1^2}{\sin \alpha} S + \frac{\rho g h_2^2}{\sin \alpha} S = \rho g \frac{(h_1 + h_2)^2}{2 \sin \alpha} S + \frac{\rho (h_1 + h_2)}{2 \sin \alpha} S v^2$$

Откуда получаем:

$$v^2 = g \frac{(h_2 - h_1)^2}{h_1 + h_2}$$

$$\Downarrow$$
$$v = (h_2 - h_1) \sqrt{\frac{g}{h_1 + h_2}} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{10}{0,2}} = 0,04 \sqrt{50} \text{ м/с}$$
$$= 0,2 \sqrt{2} \text{ м/с}$$

Ответ: 1) $\alpha = \sqrt{2} \text{ м/с}^2$; 2) $v = 0,2 \sqrt{2} \text{ м/с}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 1

$v_0 \cos \alpha = \text{const}$
 $2,5 v_0 = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + 2gh}$
 $\sqrt{6,25 v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha} = v_y =$
 $= \sqrt{6,25 \cdot 64 - 64 \cdot \frac{1}{4}} = \sqrt{400 - 16} = \sqrt{384} = 2\sqrt{96} = 4\sqrt{24} = 8\sqrt{6}$

$\vec{v}_y = \vec{v}_0 + g t$
 2) $v_0 \sin \alpha + v_y = g t$

$$\frac{v_0 \sin \alpha + v_y}{g} = \frac{4\sqrt{3} + 8\sqrt{6}}{10} = \frac{2\sqrt{3} + 4\sqrt{6}}{5}$$

3) $v_0 \cos \alpha t = l = 4 \cdot \frac{4\sqrt{3} + 8\sqrt{6}}{10} = \frac{8\sqrt{3} + 16\sqrt{6}}{5}$

N 2

1) $N = m_0 + 5 m_0 = 6 m_0$
 2) $F_0 = \mu N = 6 \mu m_0 g$
 3) $F - 6 \mu m_0 g = 5 m_0 a$
 $a = \frac{F - 6 \mu m_0 g}{5 m_0}$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

$$v = at = \sqrt{\frac{2s(F - 6 \mu m_0 g)}{5 m_0}}$$

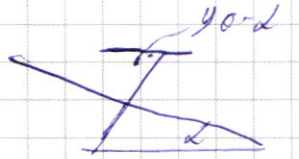
N 3.

$$1) T = mg \sin \alpha$$

$$2) \cancel{m a_y = T - mg \sin \alpha} \quad T \cos \alpha = m \omega (L+R)$$

$$\cancel{T = m \omega (L+R) + mg \sin \alpha} \quad \cancel{T = \frac{m \omega (L+R)}{\cos \alpha}}$$

$$N = mg \cos \alpha \quad \cancel{mg \sin \alpha}$$



$$\frac{85 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{368 \cdot 8,31} \cdot 10^{-3} =$$

$$\frac{0,18 \cdot 8,5}{368 \cdot 8,31}$$

$$m a_y = T \cos \alpha - N \sin \alpha = T \cos \alpha - mg \cos \alpha \sin \alpha$$

$$\frac{m \omega (L+R) \cos \alpha + mg \cos \alpha \sin \alpha}{\cos \alpha} = T$$

$$T = m \omega (L+R) + mg \sin \alpha$$

$$\begin{array}{r} 0,18 \\ \times 8,5 \\ \hline 90 \\ 144 \\ \hline 1,530 = 1,53 \end{array}$$

$$m a_y = T \cos \alpha - N \sin \alpha = T \cos \alpha - mg \cos \alpha \sin \alpha + mg \sin \alpha \sin \alpha$$

$$\frac{m \omega^2 (L+R) \cos \alpha (1 - \sin^2 \alpha) + mg \cos \alpha \sin \alpha}{\cos \alpha} = T$$

$$\frac{m \omega^2 (L+R) \cos \alpha (1 - \sin^2 \alpha) + mg \cos \alpha}{\cos \alpha} = m \omega^2 (L+R) (1 - \sin^2 \alpha) +$$

$$+ mg$$

$$N_1 = \frac{m a - F}{\cos \alpha}$$

$$\cancel{m a = T - N \cos \alpha}$$

$$m a = F + N_1 \cos \alpha$$

$$5 m a = F - \mu (N_1 \sin \alpha + 5 m g)$$

$$m a \cos \alpha = T - mg \sin \alpha$$

$$5 m a = F - \mu (m a - F) / \cos \alpha +$$

$$T = m \omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + mg \sin \alpha = + 5 m g$$

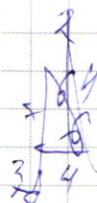
$$= m \omega^2 (L+R) (1 - \sin^2 \alpha) + mg \sin \alpha$$

14.

17

$$\begin{array}{r} 1 \quad 2 \\ 6,25 \\ \times 64 \\ \hline 2500 \\ 3750 \\ \hline 400,00 = 400 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 400 \\ - 16 \\ \hline 384 \end{array}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5.

$$P = \frac{p_n}{M} RT$$

$$p_n = \frac{PM}{RT}$$

$$\begin{array}{r} 85 \\ \times 18 \\ \hline 680 \\ 85 \\ \hline 1530 \end{array}$$

$$k = \frac{p_n}{P} = \frac{PM}{PRT} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 8,31 \cdot 368} =$$

$$= \frac{85 \cdot 18}{8310 \cdot 368} \approx 0,0005$$

$$\begin{array}{r} 8310 \\ \times 368 \\ \hline 49860 \\ 166480 \\ 83100 \\ \hline 305808 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15300000 \\ 305808 \\ \hline 0,0005 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15300000 \\ 1529040 \\ \hline 8960 \end{array}$$

$$2) pV_1 = J_1 RT$$

$$pV_2 = J_2 RT$$

$$pV_1 = \frac{m_1}{M} RT$$

$$\frac{pV_1}{4,7} = \frac{m_2}{M} RT$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{m_1}{m_2} = 4,7$$

$$m_1 = 4,7 m_2$$

$$\Delta M = m_1 - m_2 = 4,7 m_2 - m_2 = 3,7 m_2$$

$$m_2 = \frac{p_n}{P} \cdot \frac{P}{RT} V_2$$

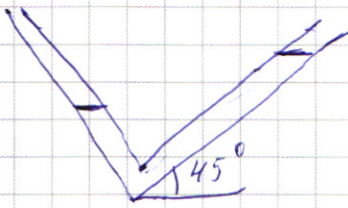
$$3,7 m_2 = \frac{P}{RT} V_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P}{p_n} \cdot \frac{1}{3,7} = \frac{P}{\frac{PM}{RT} \cdot 3,7} = \frac{PRT}{PM \cdot 3,7} = \frac{1}{0,0005 \cdot 3,7}$$

$$\begin{array}{r} 3,7 \overline{) 0,0005} \\ \underline{37000} 5 \\ 35 \\ \underline{20} \\ 20 \\ \underline{0} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3 100000 185 \\ 3,7 980 \\ \hline 0,0005 750 \\ 90000 5 140 \\ \hline 100 \end{array}$$

W4.



$$\begin{aligned} 1) \quad \rho g h_2 S - \rho g h_1 S &= \rho g \left(\frac{h_1 + h_2}{\sin 45^\circ} \right) S a \\ \rho g (h_2 - h_1) &= \rho (h_1 + h_2) \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} a \\ \frac{\sqrt{2}}{2} g \cdot \frac{h_2 - h_1}{h_1 + h_2} &= a = \frac{\sqrt{2}}{10} g = \sqrt{2} \end{aligned}$$

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



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

$h_1 + h_2 = \text{const}$

$$\begin{aligned} m_1 g h_1 + m_2 g h_2 &= \\ &= m g h - m g h + \frac{m v^2}{2} \end{aligned}$$

$$m_1 = \frac{\rho g h_1}{\sin 45^\circ} S \quad m_2 = \frac{\rho g h_2}{\sin 45^\circ} S$$

$$h = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{2} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$m = \frac{\rho g \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) S}{\sin 45^\circ}$$

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

$$\frac{\rho g (h_1^2 + h_2^2)}{2 \sin 45^\circ} S = \rho g \frac{(h_1 + h_2)^2}{2 \sin 45^\circ} S + \frac{1}{2} \frac{\rho g (h_1 + h_2)^2}{2 \sin 45^\circ} v^2$$

$$\rho (h_1^2 + h_2^2) = \rho (h_1^2 + 2 h_1 h_2 + h_2^2) + (h_1 + h_2) v^2$$

$$\begin{aligned} \frac{\rho (h_2 - h_1)^2}{h_1 + h_2} &= v^2 \quad v = \sqrt{\frac{g}{h_1 + h_2}} (h_2 - h_1) \\ &= \sqrt{\frac{g}{h_1 + h_2}} (h_2 - h_1) \end{aligned}$$