

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вло:

1. Гайку бросают с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете гайка все время приближалась к горизонтальной поверхности Земли и упала на нее со скоростью $2V_0$.

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости гайки при падении на Землю.
- 2) Найти время полета гайки.
- 3) С какой высоты была брошена гайка?

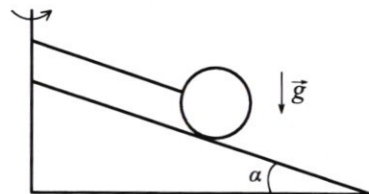
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

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 $M = 2m$. 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) За какое время 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.

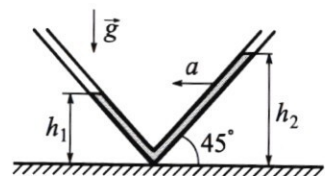


- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

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 с ускорением $a = 4$ м/с² уровень масла в одном из колен трубки устанавливается на высоте $h_1 = 10$ см.

- 1) На какой высоте h_2 установится уровень масла в другом колене?
- 2) С какой скоростью V будет двигаться жидкость в трубке относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет») и когда уровни масла будут находиться на одинаковой высоте?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Действие сил трения пренебрежимо мало.



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ 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 $\gamma = 5,6$ раза. Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v_n = 2v_0$$

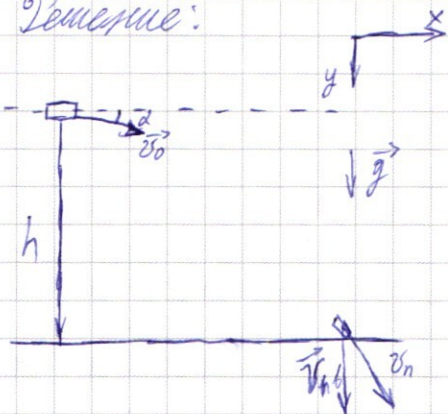
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{nb} = ?$$

$$t = ?$$

$$h = ?$$

Решение:



По условию шайба в всё время
приближалась к земле, а её
угл. относительно горизонта

равен 30°

значит вначале её бросили вниз.

тогда вертикальная составляющая начальной скорости
шайбы равна $v_{0b} = v_0 \sin \alpha$

В момент падения (касаясь земли) шайба не
могла иметь перпендикулярно земле, а имела вертикальную
и горизонтальную составляющие, а их суммарная длина
равна v_n , тогда $\sqrt{v_{nb}^2 + v_{nz}^2} = v_n = 2v_0$

П.к. на шайбу не действуют горизонтальные ускорения то
 $v_{nz} = v_{0z} = v_0 \cos \alpha$

П.к. на шайбу действует вертикальное ускорение $\vec{g}$, то
 $\vec{v}_{nb} = \vec{v}_{0b} + \vec{g}t$

$$v_{nb}^2 = (2v_0)^2 - v_{nz}^2 = 4v_0^2 - (v_0 \cos \alpha)^2 = 4v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha = v_0^2 (4 - \cos^2 \alpha), \text{ тогда}$$

$$v_{nb} = \sqrt{v_0^2 (4 - \cos^2 \alpha)} = v_0 \sqrt{4 - \cos^2 \alpha};$$

$$v_{nb} = 10 \cdot \sqrt{4 - \cos^2 30^\circ} = 10 \cdot \sqrt{4 - \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = 10 \cdot \sqrt{4 - \frac{3}{4}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{16-3}{4}} = \frac{10}{2} \sqrt{13} = 5\sqrt{13} \text{ м/с} \approx 18 \text{ м/с}$$

$$\text{т.к. } v_{nb} = v_{0b} + gt, \text{ то } t = \frac{v_{nb} - v_{0b}}{g} = \frac{v_{nb} - v_0 \sin \alpha}{g},$$

$$t = \frac{5\sqrt{13} - 10 \cdot \sin 30^\circ}{10} = \frac{5\sqrt{13} - 5}{10} = \frac{5(\sqrt{13} - 1)}{10} = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \approx \frac{3,6 - 1}{2} \approx 1,3 \text{ с}$$

т.к. вертикально падая движется с ускорением, то

$$h = v_0 t + \frac{g t^2}{2} = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{g t^2}{2};$$

$$h = 10 \cdot \sin 30 \cdot 1,3 + \frac{10 \cdot 1,3^2}{2} = 5 \cdot 1,3 + 5 \cdot 1,3^2 = 5(1,3 + 1,3^2) = 5(1,3 + 1,69) = 5 \cdot 2,99 \approx 9,95 \text{ м}$$

Ответ: $v_{0b} \approx 18 \text{ м/с}$, $t \approx 1,3 \text{ с}$, $h \approx 9,95 \text{ м}$.

№4

Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a = 4 \text{ м/с}^2$$

$$h_1 = 10 \text{ см}$$

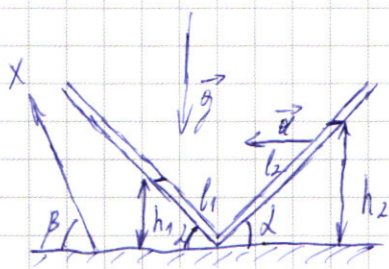
$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$h_2 = ?$$

$$v_x = ?$$

$$t = ?$$

Решение:



и CO: земная.

т.к. ускорится трубка, то относительно неё на масло действует ускорение $-\vec{a}$

а т.к. действует и $\vec{g}$ то суммарным ускорением будет ускорение $\vec{b} = \vec{g} + (-\vec{a})$, т.к. $\vec{g} \perp \vec{a}$, то

$b^2 = g^2 + a^2$, а $\tan \beta = \frac{a}{g}$, где β - угол ускорения $\vec{b}$ к горизонту. $\tan \beta = \frac{10}{4}$ ось OX параллельна $\vec{b}$, тогда

пусть длина масла в трубке l_1 и l_2 , тогда

$$l_1 = h_1 \cdot \sin \alpha, \quad h_2 = l_2 \cdot \sin \alpha$$

т.к. $OX \parallel \vec{b}$, то в проекции на X $l_1 = l_2$, тогда

$$l_2 \cos \alpha = l_1 \sin \beta \rightarrow l_2 = \frac{l_1 \sin \beta}{\cos \alpha} = l_1 \tan \beta$$

$$\frac{h_2}{\sin \alpha} = \frac{h_1}{\sin \alpha} \tan \beta \rightarrow h_2 = h_1 \tan \beta;$$

$$h_2 = 10 \cdot \frac{10}{4} = 25 \text{ см.}$$

б) Если трубка внезапно станет двигаться равномерно, то на масло перестанет действовать ускорение $-\vec{a}$, и останется только $\vec{g}$.

Ответ: $h_2 = 25 \text{ см.}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

Дано:

$$t = 27^\circ\text{C}$$

$$\rho = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

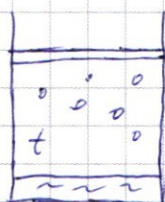
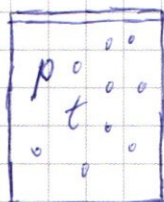
$$T = 5,6$$

$$\mu = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$\frac{p_n}{p} = ?$$

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

Решение:



Про условие ~~на~~ процесс ~~в~~ изотермический, тогда

$$T = \text{const}, \text{ где } T = t + 273$$

тогда давление насыщенного пара тоже постоянно

$$p = \text{const.}$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow p = \frac{m}{V} \frac{RT}{\mu} = \frac{\rho_n RT}{\mu} \rightarrow \rho_n = \frac{p\mu}{RT}, \text{ где } \rho_n \text{ — плотность}$$

пара. т.к. плотность воды почти не меняется, то $p = \text{const}$, тогда

$$\frac{\rho_n}{\rho} = \frac{\frac{p\mu}{RT}}{\rho} = \frac{p\mu}{RT\rho};$$

$$\frac{\rho_n}{\rho} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot (273 + 27) \cdot 1000} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18}{8,31 \cdot 300 \cdot 1000} \approx \frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{10^5} = 3,5 \cdot 10^{-6}$$

т.к. при уменьшении объема пара его ~~плотность~~ давление остается постоянным, и плотность тоже, то

$$\text{пар потерял } m = \rho_n \cdot (V_0 - V_1) \text{ где } V_0 \text{ — начальный объем } V_1 \text{ — конечный}$$

$$\text{потерянная масса перешла в воду, тогда } V_0 = \frac{m}{\rho} = \frac{\rho_n (V_0 - V_1)}{\rho}$$

$$\text{по условию } \frac{V_0}{V_1} = 5,6, \text{ тогда } \frac{V_n}{V_0} = \frac{V_1}{\rho_n (V_0 - V_1)} = \frac{V_1 \rho}{\rho_n (V_0 - V_1)} = \frac{V_1 \rho}{V_1 \rho_n (5,6 - 1)} = \frac{\rho}{\rho_n \cdot 4,6} =$$

$$= \frac{1}{3,5 \cdot 4,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{16,1 \cdot 10^{-6}}$$

Дано:

S

m

$M = 2m$

μ

$P_{\text{хч}} = ?$

$F_0 = ?$

$t = ?$

Решение:

g - ускорение свободного падения

По условию человек стоит на

лишине и тянет на себя верёвку силой F_0 .

По условию массой каната и силой трения блока можно пренебречь.

тогда натяжение каната равно силе с которой

человек его тянет $T = F_0$

Сам человек т.к. стоит на Δ лишке и тянет силой F

верёвку будет толкать лишку силой F , т.к. чтобы толкать силу надо ^мчелото отталкиваться

и т.к. человек стоит на лишке он давит на неё своей силой тяжести. $P_{\text{ч}} = mg$

т.к. лишка стоит на земле, на землю он будет действовать с силой своей тяжести и силой тяжести человека, толкнув на неё. $P_{\text{хч}} = P_{\text{х}} + P_{\text{ч}} = Mg + mg = g(M + m) = g(2m + m) = 3mg$

По определению силы трения $[F_{\text{тр}} = \mu P]$

движению лишки будет препятствовать сила трения между лишкой и землёй, $F_{\text{тр}} = P_{\text{хч}} \cdot \mu = (M + m)g \mu = (2m + m)g \mu = 3mg \mu$

и толкать лишку будут сила натяжения каната и сила с которой человек его толкает. $F_{\text{дв}} = F + T = 2F$

для того чтобы лишка двигалась равномерно достаточно чтобы $F_{\text{дв}} = F_{\text{тр}}$, тогда минимальная сила, с которой должен человек двигать лишку равна:

$$2F_0 = (M + m)g \mu$$

$$F_0 = \frac{(M + m)g \mu}{2} = \frac{(2m + m)g \mu}{2} = \frac{3}{2}mg \mu$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

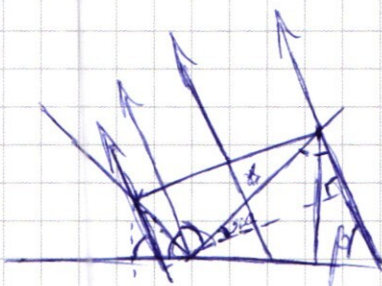
$$\begin{array}{r} 3 \\ \times 986 \\ \hline 14958 \\ 2 \\ \hline 9972 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 106 \\ 106 \\ \hline 686 \\ 106 \\ \hline 11236 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 107 \\ 107 \\ \hline 249 \\ 107 \\ \hline 11449 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 108 \\ 108 \\ \hline 864 \\ 108 \\ \hline 11448 \end{array} \quad \sqrt{13} \approx 3,6$$

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow p = \frac{mRT}{V\mu} \rightarrow p = \frac{\rho RT}{\mu}$$

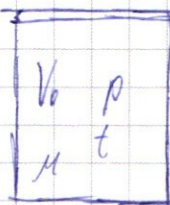
$$\begin{array}{r} 0,71 \\ \times 3,55 \cdot 10^3 \\ \hline 8,31 \cdot 100 \\ 60 \end{array}$$

$$\rho = \frac{p\mu}{RT}$$

$$\frac{p}{p_1} = \frac{\frac{\rho RT}{\mu}}{\frac{\rho_1 RT}{\mu}} = \frac{\rho}{\rho_1}$$



$$\begin{array}{r} \times 0,71 \cdot 18 \\ 18 \\ \hline 126 \\ 12,78 \end{array}$$



$$\rho = \frac{m}{V}$$

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

$$p = \frac{\rho RT}{\mu}$$

$$\begin{array}{r} \times 8,31 \cdot 100 \\ 60 \\ \hline 498,6 \\ 12,78 \cdot 14986 \\ - 9,972 \cdot 0,35 \\ \hline 28080 \end{array}$$

$$\frac{V_0}{V_1} = \dots$$

$$pV_0 = \frac{m}{\mu} RT$$

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu} RT$$

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{10}{4} \\ \cos \alpha = \frac{10}{4} \\ \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \end{cases}$$

$$\sin \alpha = \frac{10 \cos \alpha}{4}$$

$$\frac{100 \cos^2 \alpha}{16} + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{16}{100}$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{10} = 0,4$$

$$\sin \alpha = \frac{10}{10} = 1$$

$$3,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{array}{r} \times 3,5 \\ 4,6 \\ \hline 210 \\ 140 \\ \hline 16,10 \end{array}$$

$$V_0 = V_1 + \Delta V_n + m_0 \cdot p$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

$$1618181920$$

$$p \cdot 0,6 = m$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

$$p_1 \cdot t = m_1$$

$$\frac{56p}{p_1} = \frac{m_1}{m}$$

☒ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №

(Нумеровать только чистовики)

По второму закону Ньютона: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ где $\sum F$ - сумма всех сил, действующих на тело, m - масса тела, a - ускорение тела.

тогда ускорение ящика (и человека вместе с ним) равно

$$a = \frac{\sum F}{m+M}, \text{ т.к. на ящик действуют силы } \vec{F}_p \text{ и } \vec{F}_{\text{я}}, \text{ то}$$

$\sum \vec{F} = \vec{F}_{\text{я}} - \vec{F}_p$ (т.к. они противоположны и сила пружины не может превышать силу против которой действует), тогда

$$a = \frac{2F - 3mg\mu}{m+M} = \frac{2F - 3mg\mu}{m+2m} = \frac{2F - 3mg\mu}{3m} \quad \text{— ускорение ящика.}$$

Т.к. ящик движется с ускорением, без начальной скорости, то

$$S = \frac{at^2}{2}, \text{ тогда}$$

$$t^2 = \frac{2S}{a} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2S}{\frac{2F - 3mg\mu}{3m}}} = \sqrt{\frac{6Sm}{2F - 3mg\mu}}$$

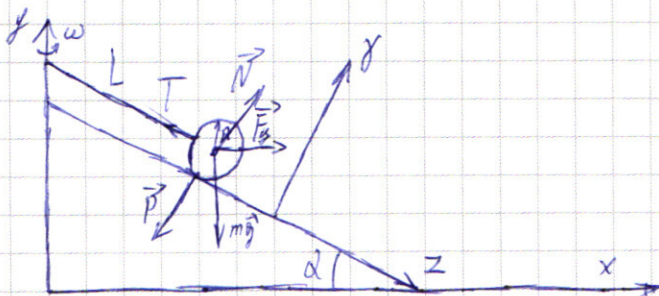
Ответ: $R_{\text{я}} = 3mg$; $F_0 = \frac{3}{2}mg\mu$; $t = \sqrt{\frac{6Sm}{2F - 3mg\mu}}$.

✓3

Дано:

ω
 m
 R
 α
 L

Решение:



g - ускорение свободного падения.

$R_n = ?$

$R_0 = ?$

а) По условию шестерня находится в состоянии покоя, тогда на шар действуют: сила тяжести $\vec{F}_T = m\vec{g}$; сила натяжения нити T , сила реакции опоры.

Т.к. тело покоится (шар) то $\sum \vec{F} = 0$, тогда $\vec{F}_T + \vec{T} + \vec{N} = 0$

$\vec{R} = \vec{N}$ т.к. тело покоится, $\vec{R}$ - сила с которой шар давит на клин (вес) опущенной проекции на ось OZ ; $0 \leq \alpha$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$OZ: -T + mg \sin \alpha = 0 \rightarrow mg \sin \alpha = T$$

$$OY: N = mg \cos \alpha$$

$$R = N \rightarrow R = mg \cos \alpha$$

б) если система будет совершать круговое движение вокруг оси, проходящей через вершину клина и перпендикулярной земле.

т.к. длина нити L , и она расположена параллельно поверхности клина, то она проходит под углом α к горизонту.

по условию шар однородный, тогда центр масс шара находится в его геометрическом центре, тогда расстояние от центра масс шара до точки, к которой привязана нить равно

$$l = L + R, \text{ где } l - \text{расстояние исконое.}$$

тогда расстояние от центра масс шара до оси вращения равно r :

$$r = (L + R) \cos \alpha \quad (\text{т.к. нить наклонена к горизонту, а ось ему перпендикулярна})$$

т.к. угловая скорость ω , а шар (центр масс) находится на расстоянии r то ускорение шара равно (центр масс)

$$a_y = \omega^2 r$$

т.к. на шар действует ускорение то по II закону Ньютона $[F = m a]$,

в данном случае $F_y = m a_y$, где F_y - центробежная сила шара (сила которая его отталкивает) $F_y = m \omega^2 r = m \omega^2 (L + R) \cos \alpha$ действует она вдоль осей.

опустим проекции сил на оси OZ и OY :

$$OZ: \begin{cases} mg \sin \alpha + F_y \cos \alpha = T \end{cases}$$

$$OY: \begin{cases} N + F_y \sin \alpha = mg \cos \alpha \end{cases}$$

$$N = P_6$$

$\Rightarrow$

$$\begin{cases} N = mg \cos \alpha - F_g \sin \alpha \\ N = P_6 \end{cases}$$

$\Rightarrow$

$$P_6 = mg \cos \alpha - m \omega^2 (L+R) \cos \alpha \sin \alpha = m \cos \alpha (g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha)$$

если $g < \omega^2 (L+R) \sin \alpha$, то шар оторвется от поверхности клина

и $P_6 = 0$

Ответ: $P_n = mg \cos \alpha$; $P_6 = m \cos \alpha (g - \omega^2 (L+R) \sin \alpha)$.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

