

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.

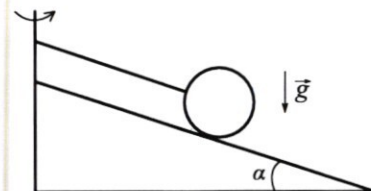
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в 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.

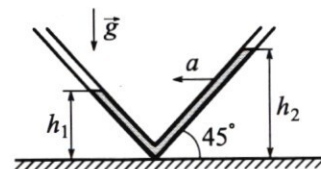
- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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.

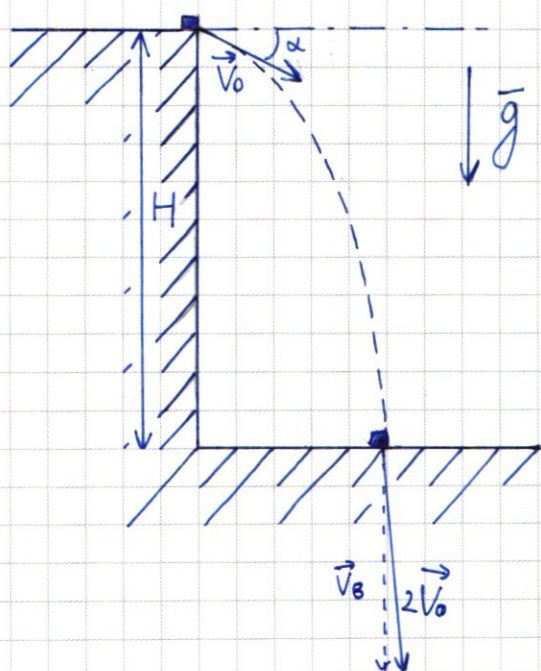
- 1) Найти отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта.
- 2) Найти отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем пара уменьшится в $\gamma = 5,6$ раза.

Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

П.к. в полёте гайка всё время приближалась к Земле, то мы можем заключить что её бросили вниз под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту:



Начальная скорость полёта гайки ~~идеально~~ ~~знала~~ составляющие: вертикальную V_{b1} и горизонтальную V_r . При этом V_r не изменялась на протяжении всего полёта.

$$V_{b1} = \sin(\alpha) \cdot V_0$$

$$V_r = \cos(\alpha) \cdot V_0$$

Конечная скорость $2V_0$ скла-

дывается из горизонтальной составляющей V_r и двух вертикальных: V_{b1} и gt , где t - время полёта ~~идеально~~ гайки. Заметим так же, что суммарная вертикальная составляющая конечной скорости гайки V_b так же складывается из V_{b1} и gt . Таким образом имеем:

$$(1) \quad H = \sin(\alpha) \cdot V_0 t + g \frac{t^2}{2}$$

$$(2) \quad (2V_0)^2 = (\cos(\alpha) \cdot V_0)^2 + (\sin(\alpha) \cdot V_0 + gt)^2$$

$$(3) \quad V_b = \sin(\alpha) \cdot V_0 + gt$$

Из формулы (2) выразим время t :

$$(2V_0)^2 = (\cos(\alpha) \cdot V_0)^2 + (\sin(\alpha) \cdot V_0 + gt)^2;$$

$$(2 \cdot 10)^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10\right)^2 + (0,5 \cdot 10 + 10 \cdot t)^2;$$

$$400 = \frac{3 \cdot 100}{4} + (5 + 10t)^2;$$

$$400 = 75 + 25 + 100t + 100t^2;$$

$$100t^2 + 100t + 75 + 25 - 400 = 0;$$

$$100t^2 + 100t - 300 = 0;$$

$$t^2 + t - 3 = 0;$$

$$t = \frac{-1 \pm \sqrt{1+12}}{2} \approx \frac{-1 \pm 3,6}{2}$$

Проверка:

$$\sqrt{13} = 3,6 \quad ?$$

$$\begin{array}{r} \times 3,6 \\ 3,6 \\ \hline 216 \\ 108 \\ \hline 12,96 \end{array}$$

$$12,96 \approx 13$$

$$(3,6)^2 \approx 13$$

П.к. нас не интересует отрицательное значение, то:

$$t \approx \frac{3,6-1}{2} = \frac{2,6}{2} = 1,3 \text{ [с]}$$

Подставив полученное значение t в уравнение (3) найдем V_B :

$$V_B = \sin(\alpha) \cdot V_0 + gt;$$

$$V_B = 0,5 \cdot 10 + 10 \cdot 1,3;$$

$$V_B = 5 + 13;$$

$$V_B = 18 \text{ [м/с]}$$

Подставив полученное значение t в уравнение (1) найдем H :

$$H = \sin(\alpha) \cdot V_0 t + g \frac{t^2}{2};$$

$$H = 0,5 \cdot 10 \cdot 1,3 + 10 \cdot \frac{(1,3)^2}{2};$$

$$H = 6,5 + 8,45;$$

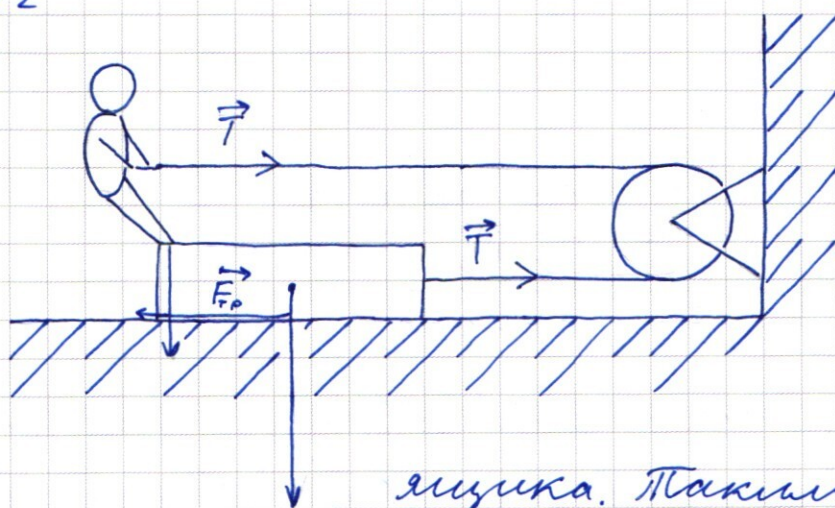
$$H = 14,95 \text{ [м]}$$

$$\begin{array}{r} \times 1,3 \\ 1,3 \\ \hline 39 \\ 13 \\ \hline 1,69 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: 1) вертикальная компонента конечной скорости гайки равна 18 м/с . 2) время полета гайки равно $1,3 \text{ с}$. 3) Высота, с которой была брошена гайка, равна $14,95 \text{ м}$.

№ 2



Трением человека и ящика за одно тело, т.к. человек находится в покое относительно ящика. Таким образом мы

имеем тело с массой m , где $m = m + M = 3m$. Это тело при движении на пол давит силой P своим весом.

$P = m \cdot g$ где g - ускорение свободного падения.

Минимальную постоянную силу с которой надо человеку надо тянуть канат чтобы сдвинуть ящик на расстояние S обозначим как F_0 .

F_0 равна силе трения $F_{тр}$, т.е.:

$2F_0 = F_{тр} = \mu N = \mu P = \mu m \cdot g$, где N - сила нормальной реакции опоры; $F_0 = \frac{1}{2} m \cdot g \mu$, т.к. F_0 равна силе

~~Если человек будет тянуть канат~~
натяжения каната T , и сила T приложена к телу человек-ящик в 2-х местах.

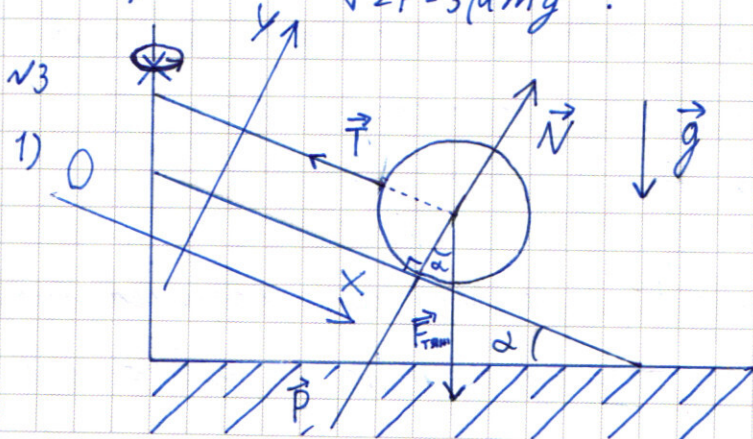
Если человек будет тянуть канат с силой F ($F > F_0$), то на тело человек-ящик будут действовать в горизонтальной плоскости силы $2F$ и $F_{тр}$ которые будут вызывать ускорение a равное:

$$a = \frac{2F - F_{тр}}{m_1}$$

Из формулы $S = a \frac{t^2}{2}$ находим t :

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2Sm_1}{2F - F_{тр}}} = \sqrt{\frac{6Sm}{2F - F_{тр}}} = \sqrt{\frac{6Sm}{2F - 3\mu mg}}$$

Ответ: 1) ящик с человеком давят на пол при движении с силой P равной $3mg$. 2) Минимальная постоянная сила с которой нужно тянуть канат, чтобы сдвинуть ящик F_0 равна $\frac{3}{2}\mu mg$. 3) время, затраченное на перемещение ящика на расстояние S , при натяжении каната с силой F , t равно $\sqrt{\frac{6Sm}{2F - 3\mu mg}}$.



$$|P| = |N|$$

Если система находится в покое, то силы действующие

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

на шар уравновешивают друг друга. П. е.:

$\vec{T} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тяж}} = 0$, где $\vec{T}$ - сила натяжения нити, $\vec{N}$ - сила нормальной реакции опоры, $\vec{F}_{\text{тяж}}$ - сила тяжести.

Рассмотрим действующие шты по 2-м осям:

Ox и Oy .

Ox :

$$-T + \sin(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}} = 0;$$

$$\sin(\alpha) \cdot mg = T$$

Oy :

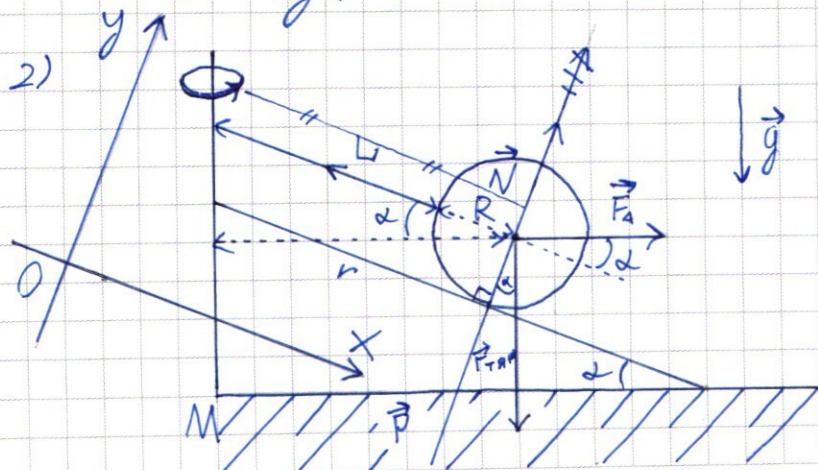
$$N - \cos(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}} = 0;$$

$$N = \cos(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}};$$

$$\cos(\alpha) \cdot mg = N$$

П. к. P - сила с которой шар давит на клин, равна по модулю силе реакции опоры N , то:

$$P = \cos(\alpha) \cdot mg.$$



$$|P| = |N|$$

Если система
вращается вокруг
оси M , то мы
все равно можем

считать, что шар покоится относительно клина, т.е.:

$\vec{T} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тяж}} + \vec{F}_A = 0$, где $\vec{T}$ - сила натяжения нити, $\vec{N}$ - сила нормальной реакции опоры, $\vec{F}_{\text{тяж}}$ - сила тяжести, $\vec{F}_A$ - сила вызванная центростремительным ускорением.

Рассмотрим действующие силы по 2-м направлениям: Ox и Oy :

Ox :

$$\sin(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}} - T + \cos(\alpha) F_A = 0;$$

$$T = \sin(\alpha) \cdot mg + \cos(\alpha) \cdot F_A.$$

Oy :

$$N - \cos(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}} + \sin(\alpha) \cdot F_A = 0;$$

$$-\sin(\alpha) \cdot F_A + \cos(\alpha) \cdot F_{\text{тяж}} = N;$$

$$N = \cos(\alpha) \cdot mg - \sin(\alpha) F_A;$$

$F_A = ma$; где a - центростремительное ускорение

$a = \frac{v^2}{r}$; где v^2 - квадрат линейной скорости при движении по окружности, r - радиус траектории.

выразим v через ω :

$$v = \frac{s}{t} = \frac{s \cdot 2\pi r \omega}{s} = 2\pi r \omega$$

$$\omega = \frac{N}{t} = \frac{s}{2\pi r t}$$

$$N = \frac{s}{2\pi r}$$

$$t = \frac{s}{2\pi r \omega}$$

Таким образом:

$$a = \frac{4\pi^2 r^2 \omega^2}{r} = 4\pi^2 r \omega^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

v в своем же направлении равна:

$$v = \cos(\alpha) \cdot (L + R)$$

Таким образом:

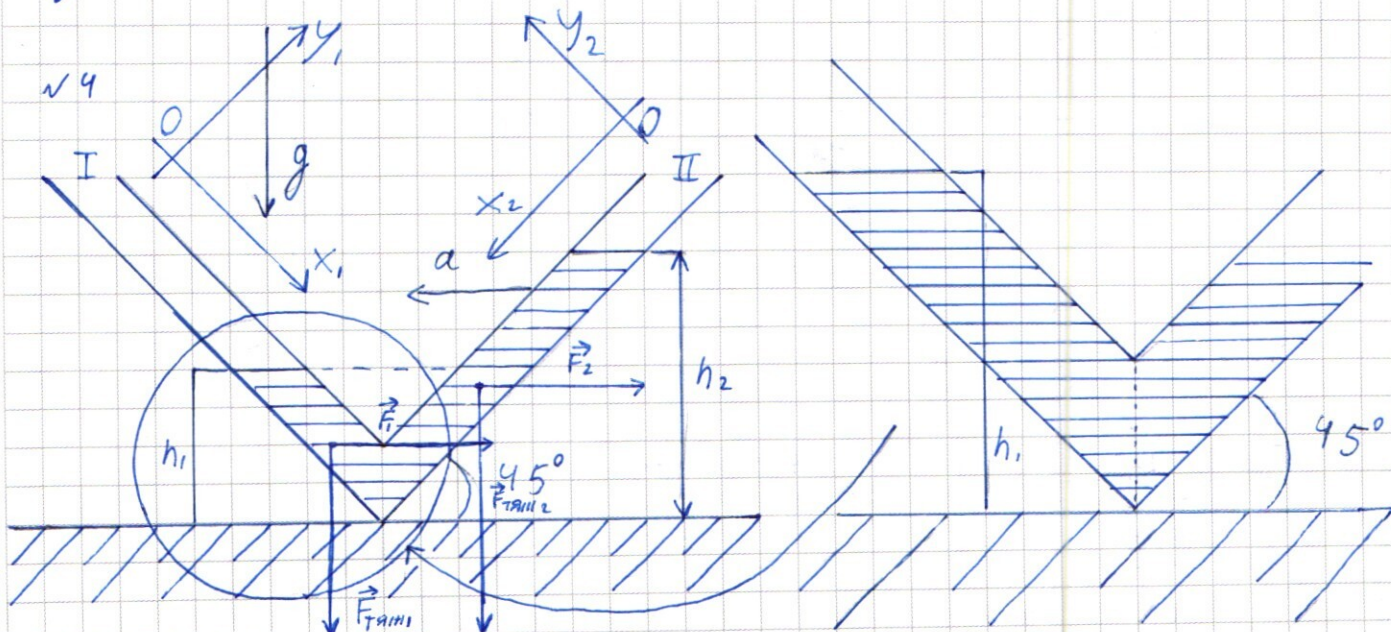
$$F_A = ma = m \frac{v^2}{r} = 4mR\pi^2\omega^2 = 4m\pi^2\omega^2 \cdot (L + R) \cdot \cos(\alpha)$$

$$N = \cos(\alpha)mg - \sin(\alpha)\cos(\alpha) \cdot 4m\pi^2\omega^2(L + R);$$

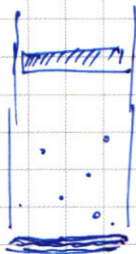
$$N = m\cos(\alpha)(g - 4\sin(\alpha)\pi^2\omega^2(L + R)).$$

Ответ: сила давления шара на клин Р равна

1) если система покоится: $\cos(\alpha) \cdot mg$, 2) если система вращается вокруг оси М: $m \cdot \cos(\alpha) \cdot (g - 4\sin(\alpha)\pi^2\omega^2(L + R))$.



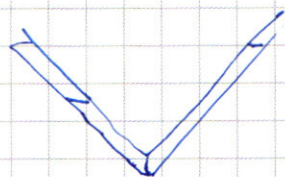
Рассмотрев поближе форму одного из стабильных
моделей сказать, что масса наклонного стабильного



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

$$P = 3,35 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\frac{m}{V} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = ?$$



$$\frac{V_H}{V_K} = 5,6$$

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

$i = 7$

$$\frac{140}{6} = \frac{70}{3} = 20 + \frac{10}{3} \neq 20 + 3\frac{1}{3}$$

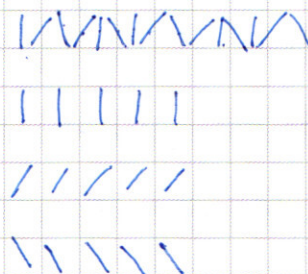
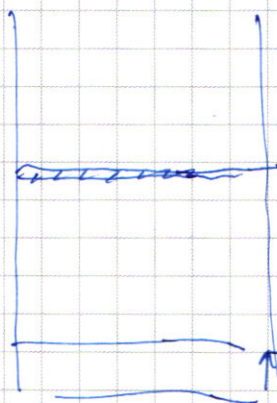
$$\frac{6}{10} = \frac{3}{5}$$

$$\frac{3}{30} = \frac{10}{30}$$

1 V V
2 V V V
3 L L
4 V V
5

6 6 5
1 3 3

$$\frac{133}{144} \approx 10$$



$$43,3 \cdot 10 \cdot 16,65 = 33,3 \cdot \frac{V^2}{2}$$

$$\frac{13,3}{2} = 6 + \frac{1,3}{2} = 6 + 0,65 = 6,65$$

$$\begin{array}{r} 1000 \\ 221445 \\ 1333 \\ \hline 1998 \\ 2164 \\ 4998 \\ \hline 1665 \\ 1885 \end{array}$$

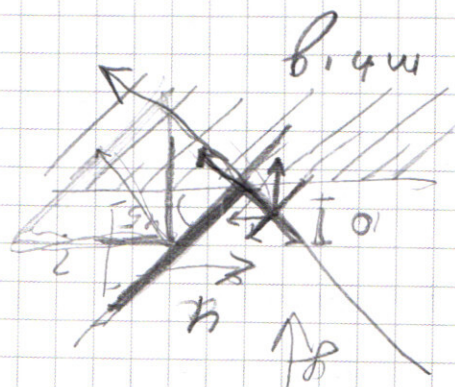
$$665 \times 2 = 1330$$

$$\eta = K$$

$$\begin{array}{r} 37 \\ 37 \\ \hline 259 \\ 111 \\ \hline 13,69 \end{array}$$



1 1
2 4
3 9
4 16
5 25
6 36
7 49
8 64
9 81



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Когда ускорение „исчезнет“ потенциальная энергия того масляного столба который находился во II колене трубки выше уровня h_1 будет переходить в кинетическую энергию всего масла и без учета теплопотерь из-за трения масло об стекло потенциальная энергия полностью перейдет в кинетическую тогда, когда уровни масла в обеих коленах сравняются. П.е.:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{к}};$$

$$m \cdot (h_2 - h_1) g \left(h_1 + \frac{1}{2} (h_2 - h_1) \right) = m \cdot (h_2 + h_1) \frac{V^2}{2};$$

$$(23,3 - 10) 10 \left(10 + \frac{1}{2} (23,3 - 10) \right) = (23,3 + 10) \frac{V^2}{2};$$

$$13,3 \cdot 10 \cdot 16,65 = 33,3 \cdot \frac{V^2}{2};$$

$$221,445 = 33,3 \cdot \frac{V^2}{2};$$

$$V^2 = \frac{2 \cdot 221,445}{33,3};$$

$$V = \sqrt{2 \cdot 665} = \sqrt{1330} \approx 12\sqrt{10} \approx 36,5 \text{ [м/с]}$$

$$\begin{array}{r} \times 16,65 \\ 13,3 \\ \hline 4995 \\ 4995 \\ \hline 1665 \\ \hline 221,445 \end{array}$$

Ответ: 1) $h_2 = 23,3$ см. 2) $V = \sqrt{1330} \text{ м/с} \approx 36,5 \text{ м/с}$.

прямо пропорциональна его высоте, обозначим коэффициент пропорциональности m . Тогда можно записать:

$$m = m, h$$

Рассмотрим колесо I по осям Ox_1 и Oy_1 :

На масло в нём действуют силы $F_{тян1}$ и F_1 , где $F_{тян1}$ - сила тянущая, F_1 - сила вызванная ускорением a .

Найдем их результирующую составляющую по оси Ox_1 - R_{x1} :

$$R_{x1} = \sin(45) \cdot m, h, g + \sin(45) \cdot m, h, a = \sin(45) m, h, (g+a)$$

Рассмотрим колесо II по осям Ox_2 и Oy_2 :

На масло в нём действуют силы $F_{тян2}$ и F_2 , где $F_{тян2}$ - сила тянущая, F_2 - сила вызванная ускорением a .

Найдем их результирующую составляющую по оси Ox_2 - R_{x2} :

$$R_{x2} = \sin(45) \cdot m, h_2 g - \sin(45) \cdot m, h_2 a = \sin(45) m, h_2 (g-a)$$

П.к. масло относительно трубки находится в покое, то $R_{x1} = R_{x2}$ и следовательно:

$$\sin(45) m, h_1 (g+a) = \sin(45) m, h_2 (g-a);$$

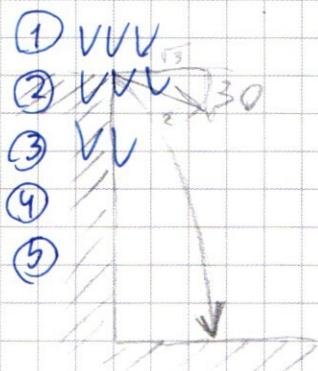
$$h_1 (g+a) = h_2 (g-a);$$

$$10 (10+4) = h_2 (10-4);$$

$$h_2 = \frac{10(10+4)}{10-4} = \frac{140}{6} = \frac{70}{3} = 23, (3) [м]$$

~~Ответ: $h_2 = 23, (3) м$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$H = 0,5 V_0 t + 10 \frac{t^2}{2}$$

$$2V_0^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} V_0\right)^2 + (0,5 V_0 + 10t)^2$$

$$V = 0,5 V_0 + 10 \cdot t$$

$$V_0 = 10$$

$$20^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10\right)^2 + (0,5 \cdot 10 + 10 \cdot t)^2,$$

$$400 = \frac{15^x}{2} + (5 + 10t)^2; \quad 7,5$$

$$25 + 100t + 100t^2 + \frac{15}{2} - 400 = 0$$

$$100t^2 + 100t - 367,5 = 0$$

$$t = \frac{-50 \pm \sqrt{2500 + 36750}}{100} = \frac{-50 \pm \sqrt{39250}}{100}$$

$$t = \frac{-1 \pm \sqrt{1+12}}{2} =$$

$$25 \cdot 3 = 75$$

$$\frac{-50 \pm 20\sqrt{30}}{100} = \frac{-50 \pm 20 \cdot 5\sqrt{\frac{6}{5}}}{100} = 0.5$$

$$\begin{array}{r} 3,6 \\ \times 3,6 \\ \hline 216 \\ 108 \\ \hline 12,96 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5 \\ 1,3 \\ \hline 15 \\ 5 \\ \hline 6,5 \end{array}$$

 n

$$\frac{16,9}{2} = 8,45$$

14. $1, 3 =$

$$\begin{array}{r} 1,3 \\ \hline 42 \\ 14 \\ \hline 18,2 \end{array}$$

14,95

in



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

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

$$N = S / 2\pi R$$

$$v = \frac{S}{t} = \frac{S \cdot 2\pi R W}{S} = 2\pi R W$$

$$W = \frac{N}{t}$$

$$t = \frac{N}{W} = \frac{S}{2\pi R W}$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(2\pi R W)^2}{R} = 4\pi^2 R W^2$$

$$\frac{v^2}{R} = a = 4\pi^2 R W^2$$

$$a = 4\pi^2 N^2 R^2 W^2$$

$$v = \frac{N}{W \cdot 2\pi R}$$

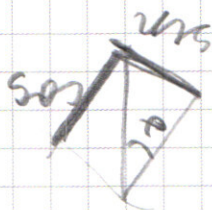
$$v = \frac{2\pi R}{t} = \frac{t}{N} = W$$

$$W = \frac{t}{N}$$

$$v = \frac{W}{2\pi R N}$$

$$t = \frac{W}{W}$$

$$N = 2\pi R / S$$



$$N = \frac{S}{2\pi R}$$

