

Олимпиада «Физтех» по физике, 10 класс

Вариант 10-02

Класс 10

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка не принимаются.

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?

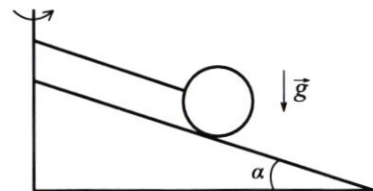
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

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.

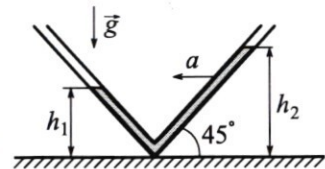


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении с ускорением $a = 4$ м/с² уровень масла в одном из колен трубки устанавливается на высоте $h_1 = 10$ см.

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.



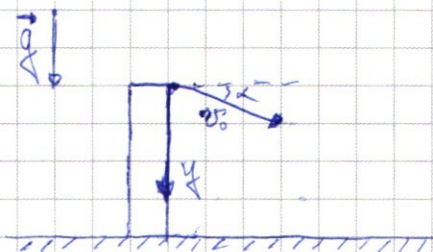
5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

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



Поскольку ГАЙКА ПРИБЛИЖАЕТСЯ ВСЕ ВРЕМЯ,
ТО СКОРОСТЬ НАПРАВЛЕНА ТАК, КАК ПОКАЗАНО НА
РИСУНКЕ.

③ Найдем высоту ~~БК~~ вышки из ЗСЭ, m - масса
гайки:

$$mgh + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m(2v_0)^2}{2} \quad | \cdot \frac{2}{m}$$

$$\Rightarrow 2gh + v_0^2 = 4v_0^2 \Rightarrow v_0^2 = \frac{2}{3}gh \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2}{3}gh} \quad h = \frac{3}{2} \frac{v_0^2}{g} = \frac{3}{2} \cdot \frac{100 \text{ м}^2/\text{с}^2}{10 \text{ м}/\text{с}^2} = 15 \text{ м}$$

② Найдем время полета гайки τ . ~~Затем~~ Введем координатную ось Oy
как на рисунке. Тогда ~~идет~~ в месте старта. Тогда координата y гайки в любой момент:

$$y(t) = v_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}$$

В момент $y(\tau) = h$, т.е.:

$$v_0 \sin \alpha \cdot \tau + \frac{g\tau^2}{2} = h; \Rightarrow \frac{g\tau^2}{2} + v_0 \sin \alpha \tau - h = 0 \quad | \cdot 2$$

$$g\tau^2 + 2v_0 \sin \alpha \tau - 2h = 0; D = 4v_0^2 \sin^2 \alpha + 8gh = 4(v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh)$$

$$\Rightarrow \tau_{1,2} = \frac{-2v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{4v_0^2 \sin^2 \alpha + 8gh}}{2g} = \frac{v_0 \sin \alpha \pm \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}$$

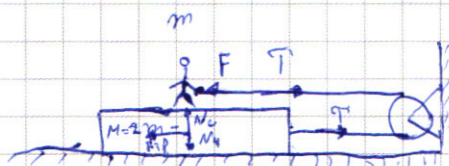
(отрицательное значение не интересует, т.к. означает время до старта)

$$\Rightarrow \tau = \frac{10 \text{ м}/\text{с} \cdot \frac{1}{2} + \sqrt{100 \cdot \frac{1}{4} \text{ м}^2/\text{с}^2 + 20 + 300 \text{ м}^2/\text{с}^2}}{10 \text{ м}/\text{с}^2} = 5 \text{ м}/\text{с} + 5 \text{ м}/\text{с} \cdot \sqrt{13}$$

$$= \frac{5 \text{ м}/\text{с} (1 + \sqrt{13})}{2 \cdot 10 \text{ м}/\text{с}^2} = \frac{1 + \sqrt{13}}{2} \text{ с} \approx \frac{1 + 3,6}{2} \text{ с} \approx 2,3 \text{ с}$$

④ Очевидно, что $|vy| = v_0 \sin \alpha + g\tau = 5 \text{ м}/\text{с} + 10 \text{ м}/\text{с}^2 \cdot 2,3 \text{ с}$
 $= 28 \text{ м}/\text{с}$; направление вниз

√2



① Система человек+ящик

не перемещается по вертикали, то есть сила тяжести действующая на такую систему F_{tc} уравновешивается силой нормальной реакции опоры, действующей в вертикали.

$$Mg + mg = N_c; \Rightarrow 2mg + mg = N_c = 3mg$$

Сила трения при этом $F_{tr} = N_{cm} = 3mg\mu$ (так как μ ^{ухух} используем)

Тогда сила, с которой действует ящик с человеком давит на пол (из II з-на Ньютона)

$$F_{иск} = \sqrt{(3mg)^2 + (3mg\mu)^2} = 3mg\sqrt{1+\mu^2} \quad (\text{пот. Пифагора, т.к. } N_c \perp F_{tr})$$

② Человек тянет канат, который можно считать невесомым. Средствами этого будет (сила натяжения каната T):

$F_0 = T$ (т.к. канат ~~идеален~~ ^{невесомый}). При этом т.к. канат невесом, то сила постоянна

на протяжении всего каната.

На систему ящик+человек вдоль горизонтали (и стене) действует сила $2T$, "против" стены вдоль горизонтали в "противоположном" случае (движение почти по стене) F_{tr} . Тогда по II-му з-ну Ньютона для гр. системы:

$$2T - F_{tr} = 0; \quad 2T = F_{tr} = 2T' = 2F_0 \Rightarrow 2F_0 = F_{tr} = 3mg\mu \\ \Rightarrow F_0 = \frac{3}{2}mg\mu$$

③ Аналогично с ② запишем второй II з-н Ньютона, считая ускорение $F > F_0$:

$$2T - F_{tr} = 3mga, \quad \text{где } a - \text{ускорение системы "К СТЕНЕ"}$$

$$\Rightarrow a = \frac{2T - F_{tr}}{3m} = \frac{2T - 3mg\mu}{3m}. \quad \text{Но и здесь } T = F \text{ т.к. канат невесом, то еще}$$

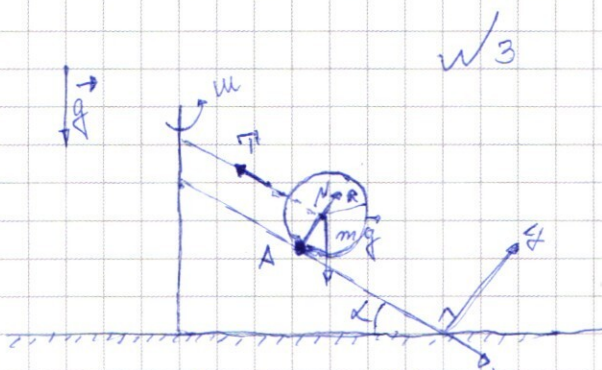
$$a = \frac{2F - 3mg\mu}{3m} = \frac{2F}{3m} - g\mu$$

Тогда, считая что начальная скорость ноль, а ^{искомое} время τ , то

$$\frac{a\tau^2}{2} = s \Rightarrow \tau = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s \cdot 3m}{2F - 3mg\mu}} = \sqrt{\frac{6ms}{2F - 3mg\mu}}$$

$$\Rightarrow \text{в } F_{иск}: \tau = \sqrt{\frac{6ms}{2F - 3mg\mu}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- ① Сила натяжения нити T ,
сила реакции опоры N со стороны
клина на шар N (и она $\perp$ пов. клина,
т.е. клин гладкий), сила тяжести
 $\vec{F} = m\vec{g}$ и приложена к центру
шара т.е. он однородный.
Тогда правило моментов от но

точки A и из-за того что для осей Oy и Ox (см. рис):

$$RT - mg \cdot R \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow T = mg \sin \alpha$$

$$N - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

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

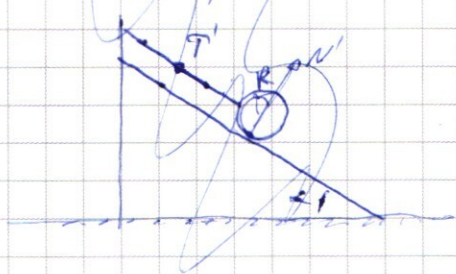
Решение задачи, считать/ли вертикальной ось падающей или нет.
Надо сказать, что если нет, то сила равна $N = mg \cos \alpha$. Но в данном случае
(по рис. III) это не так.

Истинная сила это $N = mg \cos \alpha$, если не считать вертикальную ось падающей или нет.

- ② Чтобы решить задачу, перейдем в НСШ, с НСШ, связанное
вращающееся с клином с угловой скоростью ω .
Здесь на каждый элемент шара, находящийся на расстоянии r
от оси, действует сила инерции $dF = \omega^2 r dm$, где dm - масса малого элемента.

Эта сила направлена горизонтально. Это и есть $\vec{F}_{ин}$. При этом $\vec{F}_{ин} = dF$.

А для шарика при написании правила моментов для точки A моменты, что сила реакции (субординированная) приложена к центру шара (горизонтально) и что сила реакции (субординированная) приложена к центру шара (горизонтально) и что сила реакции (субординированная) приложена к центру шара (горизонтально).



Нам для решения необходимо сделать
чтобы сила шарика действовала на шар.

см. обрат

A hand-drawn diagram of a circle on a grid background. A vertical chord is drawn, labeled 'S' and 'a'. The radius is labeled 'r'. The central angle is labeled '2\alpha'. The arc length is labeled 's'.

Понятно, что он все находит (т.к. $dS \ll (P+L) \cos \angle$)
на основе распространения. Но него работает само
излучение dF : (его площадь сечения S):
(плотность излуч ρ)

Найдём $S(2)$. Расстояние от точки B шага от вершины $C \in (R+b) \omega_2 - R$; площадь поперечного сечения S от от центра вращения S .

$$5) \int (2) \rightarrow \pi(R^2 - (R+b)\cos\alpha - z)^2$$

5) $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} m \frac{d}{dt} (v^2)$

$$\Rightarrow N + F \sin \alpha = mg \cos \alpha$$

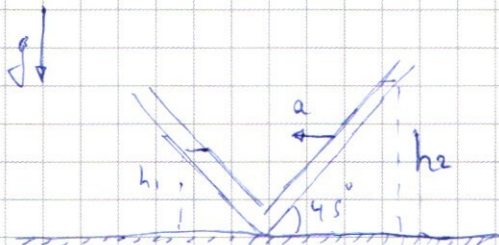
$$F \cos \alpha + mg \sin \alpha = T$$

На малых элементах ~~масс~~ объемом dT на расстоянии z действующая сила df :

$$dF = m \cdot n \cdot \rho dV$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4

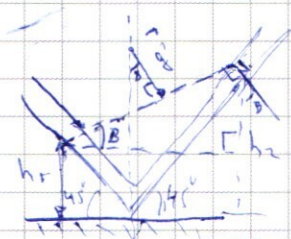


① Перейдем в КВИСО, движущуюся с ускорением, равным ускорению трубки.

Эт. нам известно, эквивалентно повернуть $\vec{g}$ на такой угол β . Найдём его: $\vec{g}'$ - новое ускорение свободного падения

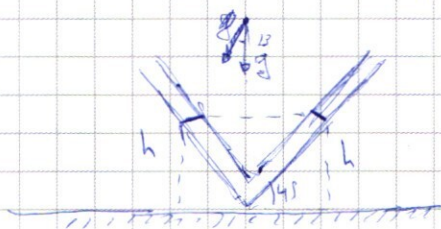
$$\vec{g}' = \vec{g} + \vec{a} \Rightarrow \beta = \arctan \frac{a}{g} = \arctan 0,4 \Rightarrow \beta = 0,4$$

У этого метода отсюда от-но нового вектора ускорения свободного падения уровни поверхности будут ортогональны. Тогда из геометрии:



$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 + \tan \beta \cdot (h_1 \cdot \tan 45^\circ + h_2 \cdot \tan 45^\circ) \\ &= h_1 + 0,4(h_1 + h_2) = 1,4h_1 + 0,4h_2 \\ \Rightarrow 0,6h_2 &= 1,4h_1 \Rightarrow h_2 = \frac{14}{6} \cdot h_1 = \frac{140}{6} \text{ см} = 23\frac{2}{3} \text{ см} \\ &= 23\frac{1}{3} \text{ см} \approx 23,3 \text{ см} \end{aligned}$$

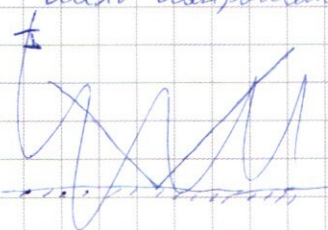
Используем ускорения в нашей КВИСО эквивалентно тому, что трубка пошла с ускорением $\vec{a}$ с ускорением $\vec{a}$. Когда $\vec{a}$ ускорения $\vec{a}$ эквивалентно тому, что трубка будет пошла ускоряться вправо с ускорением $\vec{a}$. Уровни массы при этом иде ортогональны вектору



Перейдем в КВИСО трубки.

Здесь жидкость движется вправо с ускорением $\vec{a}$, а $\vec{g}$ повернута на угол β , так же, как и в предыдущем случае, и равен по модулю $\vec{g}$. У этого КВИСО трубка покоилась

в начале движения вправо с ускорением, а затем, с поворотом вектора ускорения свободного падения, трубка осталась в покое, а жидкость начала движение. Пусть масса жидкости m . Тогда m имеет кинетическую энергию системы (трени мало) $E = \frac{mv^2}{2}$; при этом вся она взяла из "потенциальной" $E = mgh$ для нового эквивалентного вектора $\vec{g}'$. Найдём m и h кинетическую энергию E за счёт поворота (отныне считая вертикаль направлением нового $\vec{g}'$) высоту центра масс жидкости h :



СМ ЛИС 7

№ 5

① Пусть объем, занимаемый паром, V , его кол-во ν , температура T , плотность ρ , плотность воды тогда:

$$pV = \nu RT; \quad \nu = \frac{m}{\mu} \quad \mu - \text{масса пара}; \quad \nu = \frac{pV}{RT}$$

$$\Rightarrow pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \left| \cdot \frac{1}{V} \right|; \quad p =$$

$$p = \rho \cdot \frac{RT}{\mu} \Rightarrow \rho_0 = \frac{p\mu}{RT}; \quad \text{Тогда исконое отношение } \alpha:$$

$$\alpha = \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{p\mu}{RT\rho} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^3}{8,31 \cdot 300 \text{ К} \cdot 1000 \text{ кг}} = \frac{3,55 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 3 \cdot 10^5}$$

$$= \frac{3,55 \cdot 18}{8,31 \cdot 3 \cdot 10^2} = \frac{63,9}{2493} = 2,56 \cdot 10^{-2} = 2,6 \cdot 10^{-2}; \quad \underline{\underline{\alpha = 2,6 \cdot 10^{-2}}}$$

② Новый объем составит $V' = \frac{V}{8}$; Объем воды V_0 .

Поскольку процесс изотермический, а пар насыщенный, то давление не изменилось и осталось p . Новое кол-во воды пара ν' .

$$pV' = \nu' RT; \quad \Rightarrow \nu' = \frac{pV'}{RT} = \frac{p \cdot \frac{V}{8}}{RT}; \quad \nu = \frac{pV}{RT};$$

Тогда испарилось масса пара m_k :

$$m_k = \mu(\nu - \nu') = \mu \left(\frac{pV}{RT} - \frac{pV'}{RT} \right) = \frac{\mu p V}{RT} \left(1 - \frac{1}{8} \right)$$

$$\Rightarrow \text{Тогда занимаемый объем } V_0 = \frac{m_k}{\rho} = \frac{\mu p V}{RT\rho} \left(1 - \frac{1}{8} \right);$$

Тогда же тогда исконое отношение K :

$$K = \frac{V'}{V_0} = \frac{\frac{V}{8} \cdot R \cdot T \cdot \rho}{8 \cdot \mu p V \left(1 - \frac{1}{8} \right)} = \frac{RT\rho}{(8-1)\mu R p} = \frac{8,31 \cdot 300 \cdot 1000}{4,6 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 3,55 \cdot 10^3} = \frac{8,31 \cdot 3 \cdot 10^5}{4,6 \cdot 1,8 \cdot 3,55 \cdot 10^1}$$

$$= \frac{8,31 \cdot 3 \cdot 10^4}{4,6 \cdot 1,8 \cdot 3,55} = \frac{8,31 \cdot 3 \cdot 10^5}{8,28 \cdot 3,55} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,55} = 0,845 = \underline{\underline{0,845}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

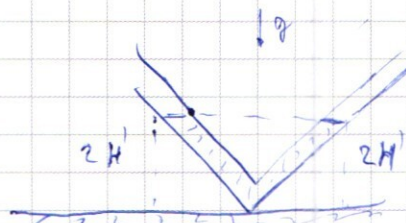
№4, продолжение

Высота центра масс H , высота H' .

I



II



Понятно (в силу симметрии), что $H' = \frac{h_1 + h_2}{2}$

Найдём H :

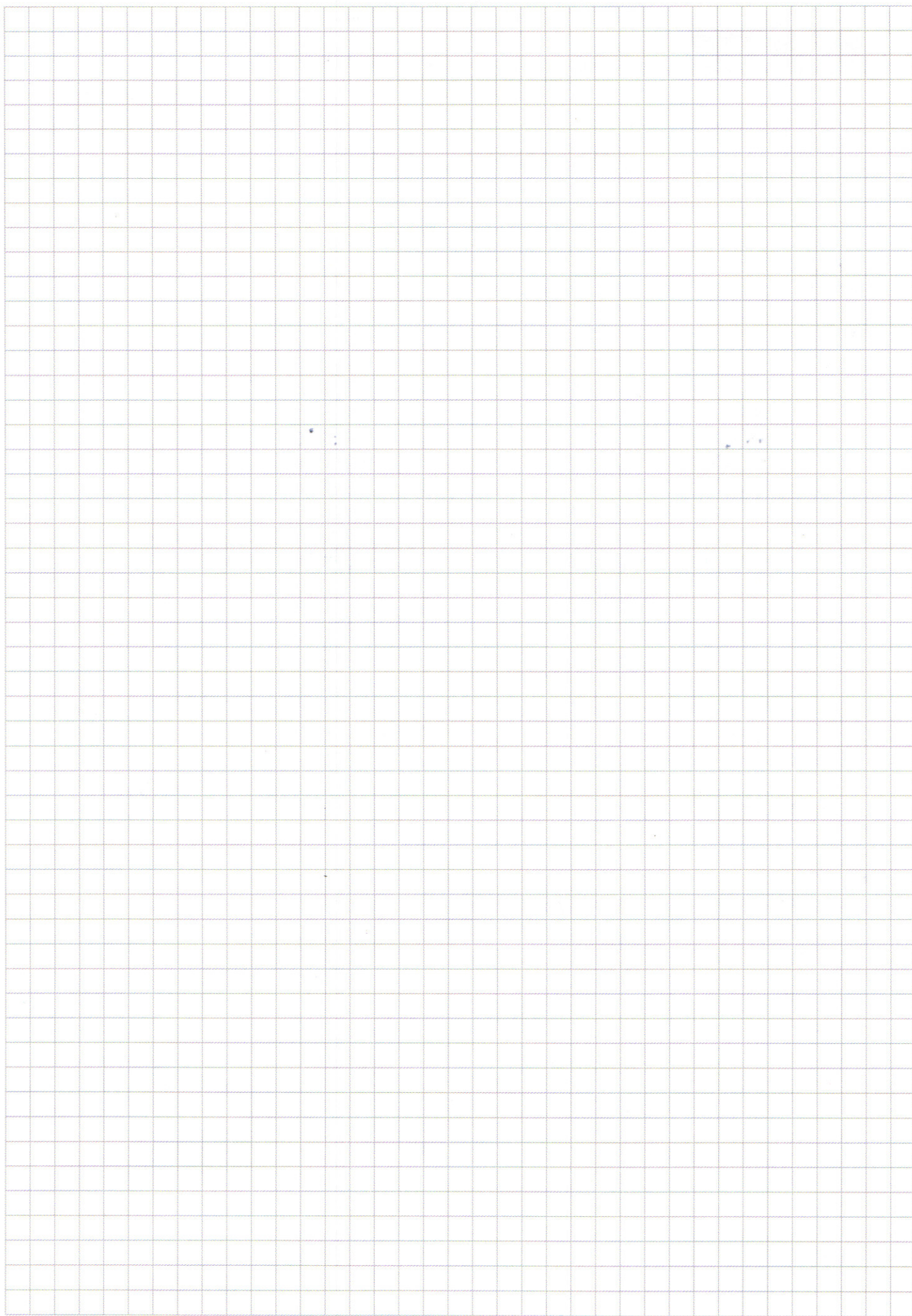
Центр масс левой трубки на высоте $\frac{h_1}{2}$, правой $\frac{h_2}{2}$, при этом масса каждой трубки m . Масса вершины $\frac{m}{2}$ (так как угол 45°, т.е. $m_1 = m_2 = m$ - масса каждой трубки и вершины соответственно) $\Rightarrow m_1 = m_2 = m$

$$\text{Тогда } H = \frac{h_1 \cdot m + h_2 \cdot m}{m + m} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{m + m}{2} \cdot \frac{v^2}{2} = mg(H - H') \Rightarrow v = \sqrt{2g(H - H')}$$

$$H - H' = \frac{h_1^2 + h_2^2}{2(h_1 + h_2)} - \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{2h_1^2 + 2h_2^2 - (h_1 + h_2)^2}{2(h_1 + h_2)} = \frac{2h_1^2 + 2h_2^2 - h_1^2 - 2h_1h_2 - h_2^2}{2(h_1 + h_2)} = \frac{h_1^2 + h_2^2 - 2h_1h_2}{2(h_1 + h_2)} = \frac{(h_1 - h_2)^2}{2(h_1 + h_2)}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2g \frac{(h_1 - h_2)^2}{2(h_1 + h_2)}} = (h_2 - h_1) \cdot \sqrt{\frac{2g}{h_1 + h_2}} = 13,3 \text{ см} \cdot \sqrt{\frac{20 \text{ м/с}^2}{1,5 \text{ м}}} = 13,3 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \sqrt{60} = 2 \cdot 13,3 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \sqrt{15} \approx 20,04 \frac{\text{см}}{\text{с}} \approx 1,07 \text{ м/с}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$dm = ds \rho dr$
 $dF = dm \omega^2 r$
 $dF = ds \rho dr \omega^2 r$
 $F = ds \omega^2 r \cdot \frac{\rho}{2} dr$
 $F = ds \omega^2 r$

$T R \cos \alpha + F R \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0$
 $T = F \cos \alpha + mg \sin \alpha$

$l ds$
 $dm \omega^2 (l + R \cos \alpha) =$

$R = \frac{k}{2} + R$

$\omega^2 r$

$26,6$
 $\times 268$
 $\hline 1064$

$$6.83 \cdot 83.5 = 48$$

$$\begin{array}{r} \times 355 \\ 6 \\ \hline 21,30 \end{array}$$

$$83.7 = 501$$

$$355 \cdot 4 = 1420$$

$$\begin{array}{r} 2130 \\ - 1660 \\ \hline 470 \\ - 415 \\ \hline 550 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 18.3 \\ 25.0 \\ \hline \end{array}$$

$$8.355 = 28$$



$$\begin{array}{r} \times 46 \\ 18 \\ \hline + 368 \\ 46 \\ \hline 828 \end{array}$$

8

$$\begin{array}{r} 3000 \\ - 2840 \\ \hline 1600 \\ - 1420 \\ \hline 180 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 135 \\ 0.845 \end{array}$$

$$d \cdot m \cdot u^2 \cdot R$$

$$\begin{array}{r} 1300 \\ \times 35 \\ 35 \\ \hline + 175 \\ 105 \\ \hline 1225 \end{array}$$

$$36$$

