

# Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

## Вариант 10-01

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

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/с<sup>2</sup>. 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  $\mu$ .



1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?

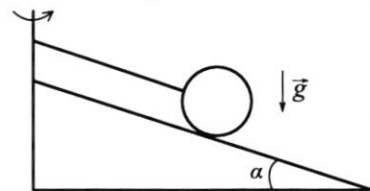
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

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  $\alpha$  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.

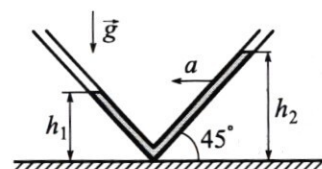
2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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/с<sup>2</sup>. Действие сил трения пренебрежимо мало.

5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре  $95^\circ\text{C}$  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/см<sup>3</sup>,  $\mu = 18$  г/моль.

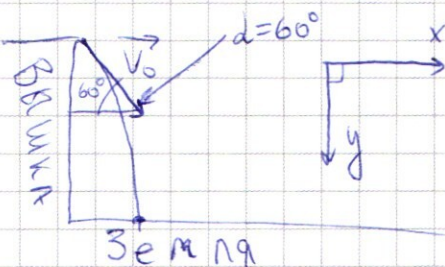


## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1  $V_x$  и  $V_y$  — составляющие  $V_0$  параллельные осям  $x$  и  $y$  соотв.  
Дано, что если бы камень бросили вверх под углом  $60^\circ$ ,  
то он не все время полета находился бы к земле, т.к. у  
него была бы вертикальная составляющая  $V_0$ , направлен-  
ная вверх  $\Rightarrow$  его бросили вниз;

введем систему координат как  
на рисунке. Тогда по оси  $y$ :

$$\begin{aligned} V_y &= V_0 \sin \alpha + gt; \\ V_x &= V_0 \cos \alpha; \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{при падении} \\ V_x \text{ не меняется, т.к. вдоль оси } x \text{ сил нет.} \end{array} \Rightarrow \right.$$



в момент падения  $(V_{y1})^2 + (V_{x1})^2 = (V_0 \cdot 2,5)^2$ ;  $V_{x1}$  и  $V_{y1}$  — составляющие  
 $V_0$ , параллельные осям  $x$  и  $y$  соотв в момент падения!

$$V_{x1} = V_x \Rightarrow (V_0 \sin \alpha + gt)^2 + (V_0 \cos \alpha)^2 = V_0^2 \cdot 6,25 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} (\neq 0)$$

$$\begin{aligned} &(\sin \alpha + gt)^2 + \cos^2 \alpha = 6,25; \text{ найдем } t: \\ t &= \left( \sqrt{6,25 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot 0,18 = \left( \sqrt{6 - \frac{3}{2}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot 0,18 \approx 0,159 \cdot 8 \approx 1,272 \text{ с} \end{aligned}$$

$$V_{y1} = V_0 \sin \alpha + gt = 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 12,72 \approx 19,64 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) = \sqrt{20^2 - 4^2} = \sqrt{392}$$

$S_x$  — гориз. перемещение камня за все время полета:

$$S_x = V_x t = V_0 \cos \alpha t = 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,272 \approx 5,088 \text{ м}$$

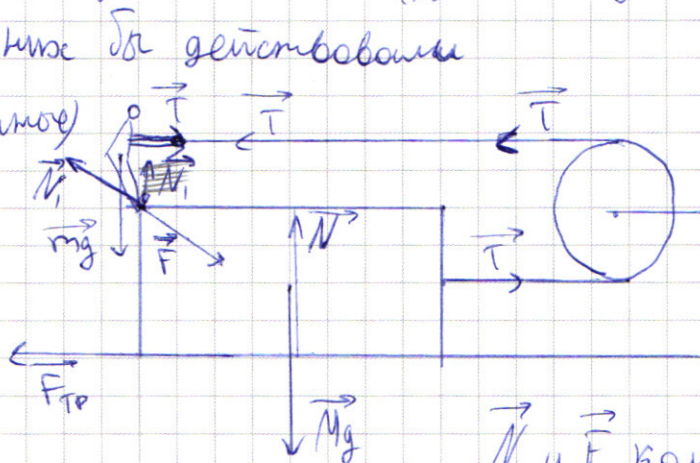
Ответ: 1)  $V_{y1} = 19,64 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
2)  $t = 1,272 \text{ с}$   
3)  $S_x = 5,088 \text{ м}$

н2

Сила давления человека с ящиком на пол равна сумме их весов, т.к. на них не действует

силы (нескомпенсированное) вдоль вертикальной оси.

Сила давления  $P = (m + M)g = 6mg$ .



2) на человека действуют

силы  $mg$  и  $T \Rightarrow$  сила давления человека на ящик  $\vec{F} = \vec{mg} + \vec{T} = -\vec{N}$

На ящик действуют силы  $Mg$ ,  $\vec{F}$ ,  $F_{тр}$  и  $T$ ; для того,

чтобы ящик не соскользнул, сумма этих сил должна быть направлена к стене перпендикулярно полу (может быть и нулевой).

$$\begin{cases} \vec{F} + \vec{Mg} + \vec{F}_{тр} + \vec{T} + \vec{N} = 0 \\ \vec{F} = \vec{mg} + \vec{T} \\ \vec{N} = -6mg \\ Mg = 5Mg \end{cases} \Rightarrow \vec{mg} + \vec{T} + 5\vec{mg} + \vec{F}_{тр} + \vec{T} + 6mg = 0$$

$2\vec{T} + \vec{F}_{тр} = 0$ ; в горизонтальном направлении

на горизонтальную ось, направленную к стене:  $2T = F_{тр} \Rightarrow$

$$T = \frac{F_{тр}}{2} = \frac{6mg}{2} = 3mg$$

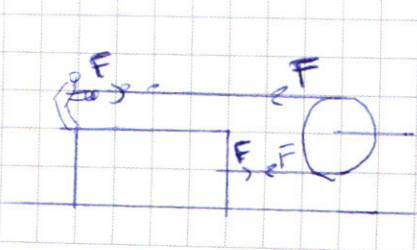
3) по мере об изменении кин. энергии:

или  $\frac{V_k^2}{2} - \frac{V_0^2}{2} = A = FS$   
или  $\frac{V_k^2}{2} - \frac{V_0^2}{2} = 2aS$ ;  $V_0 = 0$  (по условию);  $a = \frac{2F}{6m} \Rightarrow \frac{2 \cdot 3mg}{6m} = g$

$$V_k = \sqrt{2 \cdot \frac{2F \cdot S}{6m}} = \sqrt{\frac{2FS}{m}}$$

$$\sqrt{\frac{kg \cdot M}{c^2} \cdot M / kg} = \frac{M}{c}$$

Ответ: 1)  $6mg$  2)  $3mg$  3)  $\sqrt{\frac{2FS}{m}}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

и 3

1) Если шар покоится, то сумма сил, приложенных к нему равна 0:

II 3. Ньютона:  $\vec{m}\vec{g} + \vec{N} + \vec{T} = \vec{0}$

y:  $N \cos \alpha + T \sin \alpha = mg$   
x:  $N \sin \alpha = T \cos \alpha$

$$T = \frac{mg}{\left(\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + \sin \alpha\right)} =$$

$$= \frac{mg}{\frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\sin \alpha}} = \frac{mg}{1/\sin \alpha} = mg \sin \alpha, \text{ что можно было бы получить}$$

прямо, если направить ось x вдоль линии действия силы T (вдоль нити), тогда по этой оси  $T = mg \sin \alpha$

2) пусть r - расстояние от центра шара до оси вращения

Тогда V - линейная скор. шара  
 $V = \omega r, a_{\text{yc}} = \frac{V^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r$

$$r = (L + R) \cdot \cos \alpha \quad a_{\text{yc}} = \omega^2 (R + L) \cos \alpha$$

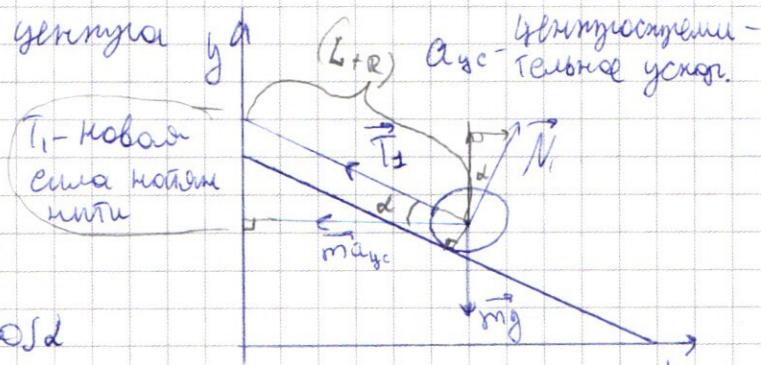
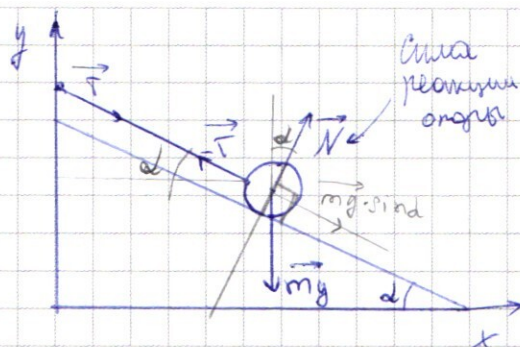
Если шар не отрывается от клина, тогда сумма сил прил. к нему в проекции на ось y равна нулю, ну и в проекции на ось x-тоже:

y:  $-mg + N_1 \cdot \cos \alpha + T_1 \cdot \sin \alpha = 0$

x:  $-ma_{\text{yc}} - T_1 \cos \alpha = N_1 \sin \alpha$

из второй ур-я  $N_1 = -\frac{ma_{\text{yc}} + T_1 \cos \alpha}{\sin \alpha}$ , подставим в первое:

$$-mg + \left(\frac{ma_{\text{yc}} + T_1 \cos \alpha}{\sin \alpha}\right) \cos \alpha + T_1 \sin \alpha = 0$$



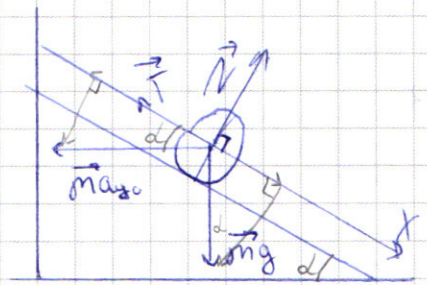
но решить такое уравнение я не хочу, поэтому запишу новое. Возьмем ось  $x$  вдоль нити:

Тогда сила  $\vec{N}$  исчезнет:

$$x: -T - m a_{sc} \cdot \cos \alpha + mg \sin \alpha = 0$$

$$T = mg \sin \alpha - m a_{sc} \cos \alpha =$$

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

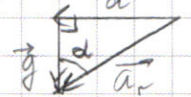


Ответ: 1)  $T = mg \cdot \sin \alpha$

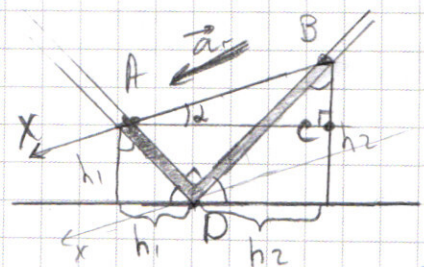
2)  $T_1 = m(g \sin \alpha - \omega^2 \cdot \cos^2 \alpha (R+b))$

№4

Рассмотрим маленькую частицу масла: она движется с ускорением  $\vec{g}$  свободного падения и с ускор.  $\vec{a} \Rightarrow$  результирующее ускорение  $\vec{a}_r = \vec{g} + \vec{a}$  или: давление масла в ~~обе~~ обоих коленах на одинаковом уровне ~~для~~ одинаково, т.к. это сообщающиеся сосуды, только теперь мы считаем уровень не от земли, а в плоскости, перпендикулярной вертикальной и содержащей вектор  $\vec{a}_r$ . То есть, мы можем построить ось  $x$  соединив ~~кратчайшие~~ края масляного столба в обоих коленах; важно, что в этом случае ось  $x$  и вектор  $\vec{a}_r$  коллинеарны.

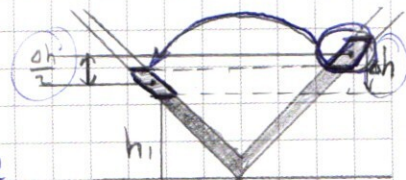


найдем  $\cos \alpha$ :  $\cos \alpha = \frac{AC}{AB}$ ;  $AC = h_1 + h_2$   
 $AB = \sqrt{AD^2 + BD^2} =$   
 $= \sqrt{2h_1^2 + 2h_2^2} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{h_1 + h_2}{\sqrt{2(h_1^2 + h_2^2)}} = \frac{9 + 12}{\sqrt{2 \cdot (64 + 144)}} = \frac{21}{\sqrt{2 \cdot 208}} = \frac{21}{\sqrt{416}} = \frac{21}{4\sqrt{26}} = \frac{21\sqrt{26}}{104}$   
 $\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$   
 найдем  $\vec{a} = a = g \cdot \tan \alpha = g \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = g \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha} = g \cdot \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{21\sqrt{26}}{104}\right)^2}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{441 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{\frac{10816 - 441 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{\frac{10816 - 11466}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{\frac{-650}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{\frac{650}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\sqrt{\frac{25 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{\frac{5\sqrt{26}}{104}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = g \cdot \frac{5}{21} = \frac{5}{21}g$



$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{21\sqrt{26}}{104}\right)^2}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{\sqrt{1 - \frac{441 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{\sqrt{\frac{10816 - 441 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{\sqrt{\frac{650}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{\sqrt{\frac{25 \cdot 26}{10816}}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{\frac{5\sqrt{26}}{104}}{\frac{21\sqrt{26}}{104}} = \frac{5}{21}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



уменьшается<sup>(т.к. и уменьшается)</sup>, а значит ускорение будет ~~и~~ уменьшаться от наибольшего  $\left(\frac{\rho_m g (h\sqrt{2})^2}{\rho_m h\sqrt{2}}\right) = g$  до нуля в конце;

т.е. есть ускорение всегда положительное  $\Rightarrow V_k$  будет наибольшей скоростью движения маятника.

Ответ: 1)  $a = 2 \frac{M}{C}$

2)  $V_{max} = V_k \approx 0,45 \frac{M}{C}$

и 5

1) Запишем ур-е Менделеева-Клапейрона для пара в начале опыта:  $P \cdot V_n = \frac{m_n}{\mu} R T$ , где  $V_n$  - объем, занимаемый паром,

$m_n$  - начальная масса пара,  $T = 95^\circ C$ ;  $\rho_n$  (плотность пара) =  $\frac{m_n}{V_n} = \frac{P \cdot \mu}{R T} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot (273 + 95)} \approx 0,41 \left(\frac{кг}{м^3}\right)$ ;  $V_B = 1000 \frac{кг}{м^3} \Rightarrow \frac{\rho_n}{\rho_B} = 0,41 \cdot 10^{-3}$

2) Поскольку ~~и~~ температура пара не меняется, то он как был насыщенным, так им и остается.

Тогда  $P$  и  $T$  не меняются  $\Rightarrow$  из ур-я Менделеева-Клапейрона <sup>пара</sup> становится видно, что во сколько раз уменьшается объем пара, во столько же уменьшается и его масса.  $\Rightarrow$

$\frac{V_n}{V} \approx \frac{m_n}{m}$ ; Тогда  $m_n - \frac{m_n}{\delta} = m_n \left(1 - \frac{1}{\delta}\right) = m_B$  (эта часть пара конденсировалась  $\Rightarrow$  требуется найти отношение:

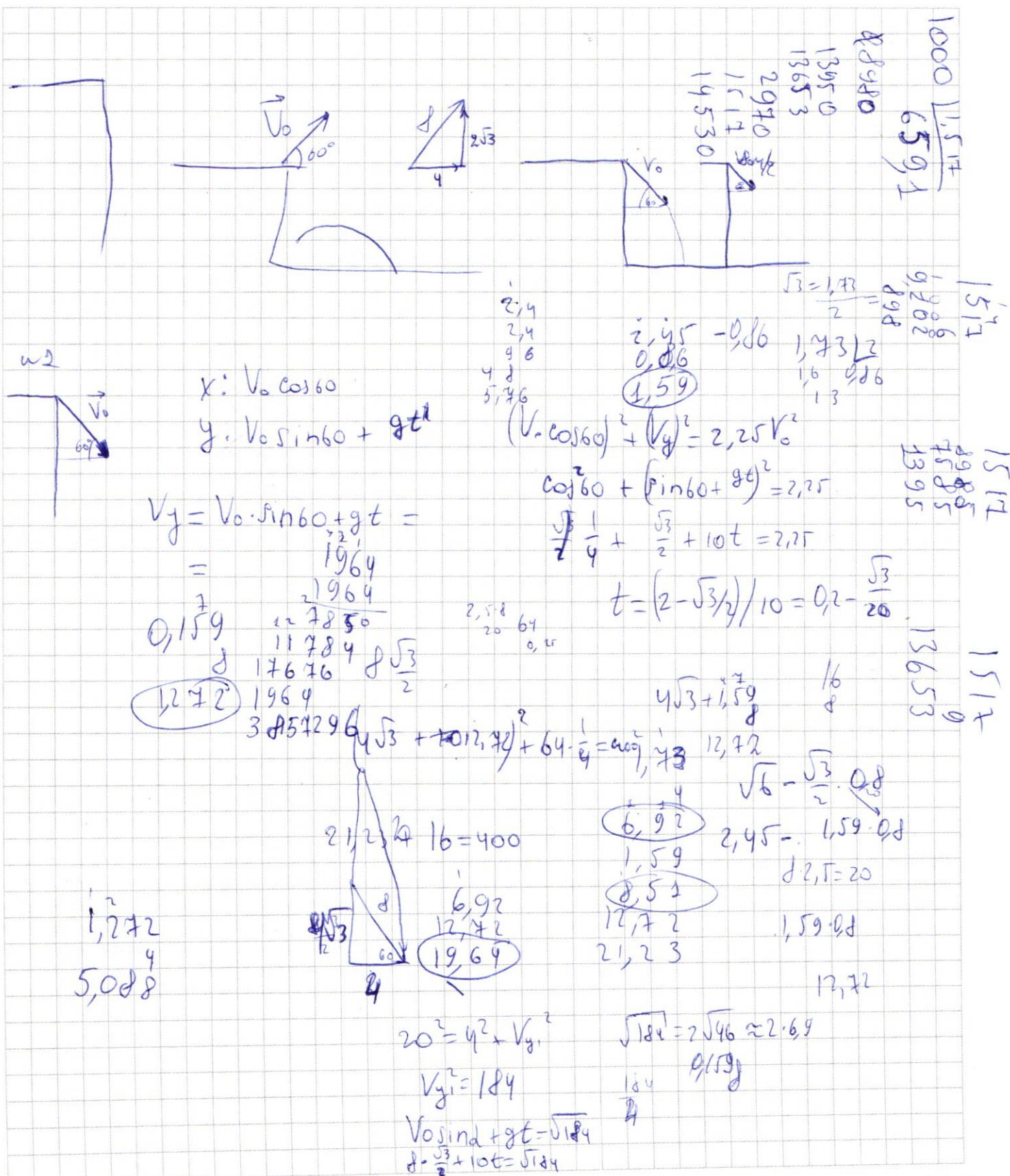
~~$\frac{m_n}{\delta \rho_n} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_B} \left(1 - \frac{1}{\delta}\right) = \frac{1}{\delta \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} = \frac{V_n - \frac{m_n}{\rho_n}}{V_B} = \frac{V_n - \frac{m_n}{\rho_n}}{\frac{m_n \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)}{\rho_B}}$~~  или  $\frac{\rho_B}{\rho_n} \cdot \frac{1}{\delta \left(1 - \frac{1}{\delta}\right)} =$   
 $= \frac{\rho_B}{\rho_n} \cdot \frac{1}{\delta - 1}$  или  $\frac{1000}{0,41} \cdot \frac{1}{3,4} = \frac{1000}{1,514} \approx 659,2$  раз

Ответ: 1)  $\frac{\rho_n}{\rho_B} = 0,41 \cdot 10^{-3}$

2)  $\frac{V_n}{V_B} \approx 659,2$  (раз)

$\oplus \frac{m_n}{V_n} = \text{const}$ , см начало решения п.2

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



153013058  
1529004

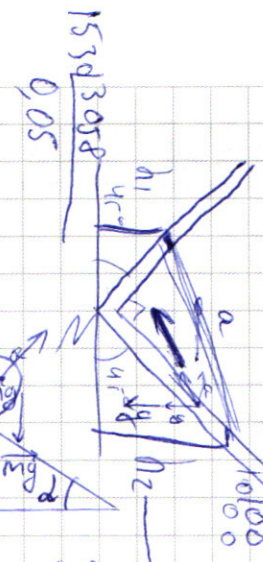
3058  
15308100  
12232  
3068  
3058  
10100

8-1

41  
34

34  
34  
1517

153.10



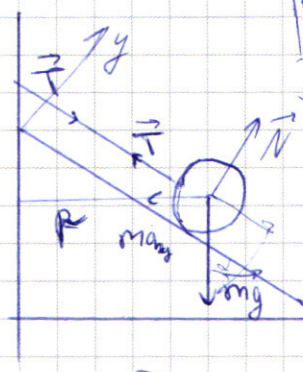
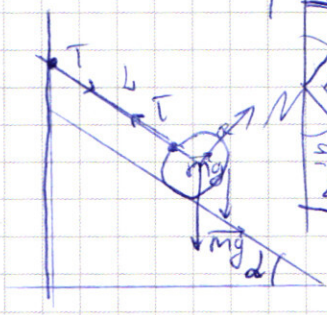
$a_r$   
 $\vec{a} + \vec{g} = \vec{a}_r$   
 $a =$

$a = g \sin \alpha$   
 $a = g \cdot \sin \alpha$

$V = \omega R$   
 $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$

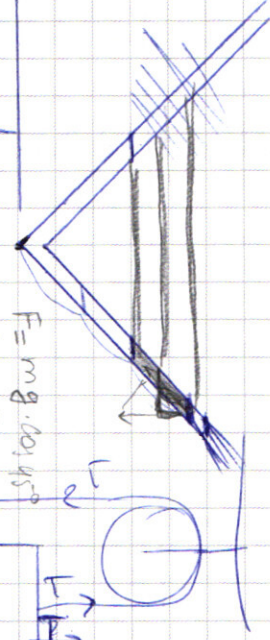
$R_n V_n = \mu_n R T_n$

$R_n V_n = \frac{m_n}{\mu_n} R T_n$   
 $R_n = \frac{m_n}{\mu_n} = \frac{R_n \mu_n}{R T_n}$

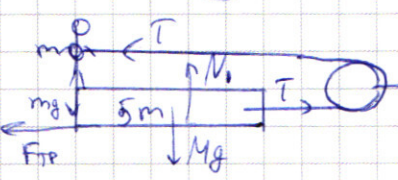


$\vec{v} = \frac{m \vec{v}}{m}$

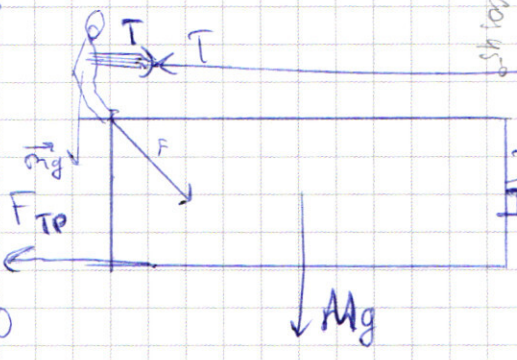
масса  
масса



$\frac{\cos^2}{\sin} + \sin = \frac{\cos^2 + \sin^2}{\sin} = \frac{1}{\sin}$



$N_1 = 5mg + mg = 6mg$   
 $F_{TP} = \mu N_1 = 6\mu mg$



$\vec{T} + m\vec{g} = \vec{F}$

$2T + F_{TP} = 0$

$T = \frac{F_{TP}}{2} = 3\mu mg$

$\frac{V_k^2 - V_0^2}{2a} = s$

$a = \frac{2T}{6m}$

$V_k^2 - V_0^2 = 2 \cdot \frac{2T}{6m} s$

$V_k = \sqrt{\frac{4Ts}{6m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3\mu mg s}{6m}} = \sqrt{2\mu g s}$

$= \frac{8.5 \cdot 10^{-4} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 45}{8.33 \cdot 368}$

$\frac{208}{416} = \frac{20}{416}$

$\sqrt{\frac{100}{104}} = \sqrt{\frac{25}{26}}$



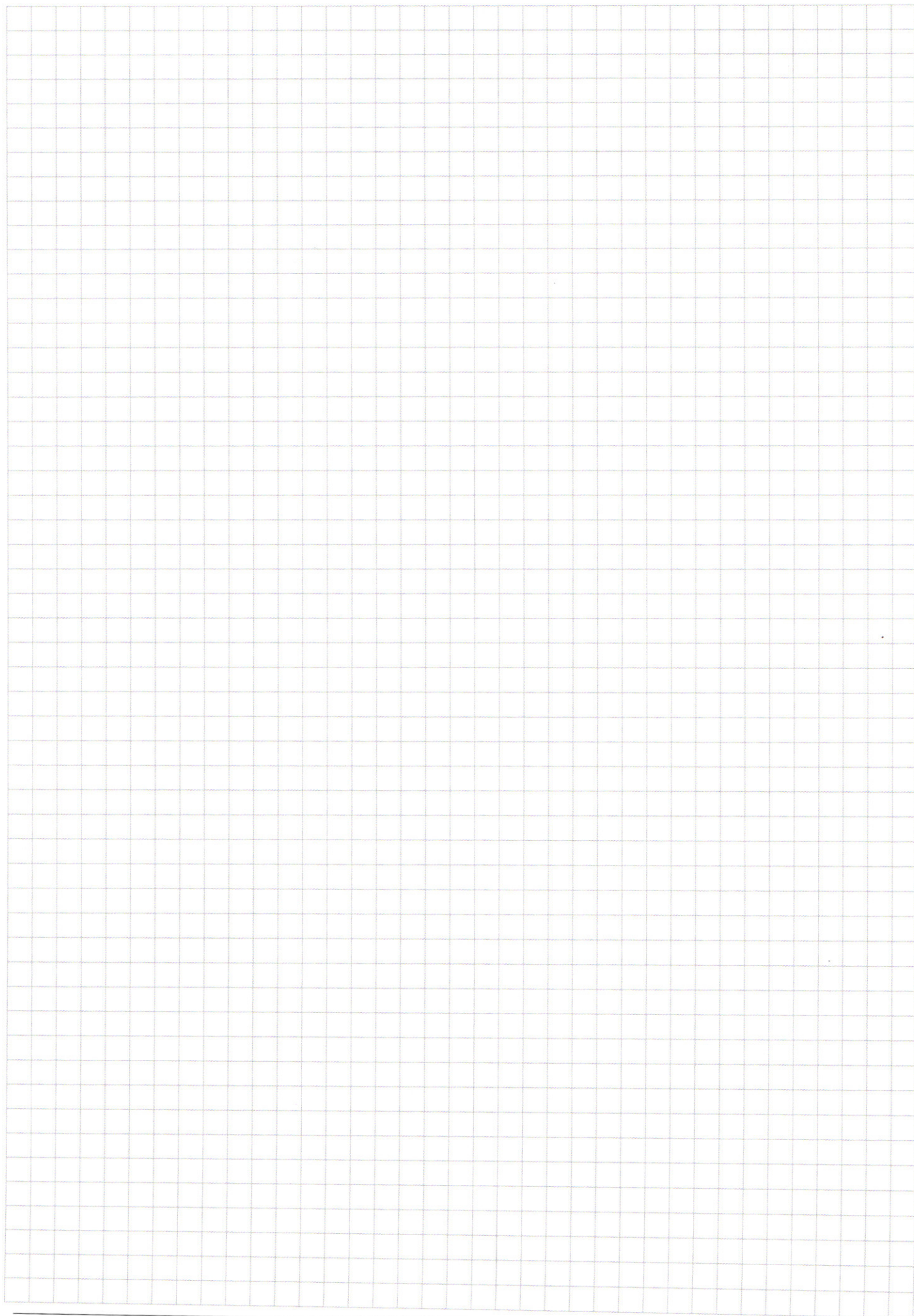
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик    ☐ чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик    ☐ чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)