

Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 10

Вариант 10-02

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

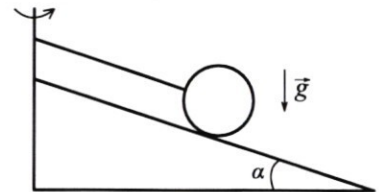
1. Гайку бросают с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете гайка все время приближалась к горизонтальной поверхности Земли и упала на нее со скоростью $2V_0$.

- 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.

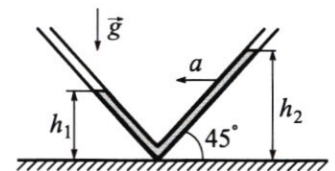
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в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

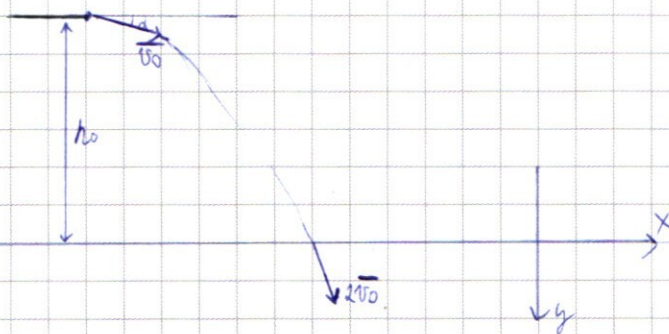
5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

- 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

Задача 1.

Из того, что гайка приближалась к Земле во время всего полета, следует, что ее изначально бросили вниз (под углом 30° к горизонту).



Дано: $v_0 = 10 \text{ м/с}$

$\alpha = 30^\circ$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

Решение:

Из-за отсутствия сил трения скорость гайки по оси x не изменилась. Поэтому горизонтальная компонента конечной скорости равна горизонтальной компоненте начальной. Отсюда

$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2 \sin^2 \alpha$, где v_y — искомая вертикальная компонента

$$v_y = \sqrt{v_0^2 (1 - \sin^2 \alpha)} = v_0 \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = v_0 \sqrt{\frac{7}{16}} = \frac{v_0}{4} \sqrt{7} = 5 \sqrt{7} \text{ (м/с)} \approx 5 \cdot 2,6 \text{ (м/с)} = 13 \text{ м/с}$$

За время t вертикальная компонента скорости увеличилась на gt , т.к. на нее действует только сила тяжести, направленная в направлении движения. Тогда $v_y = v_{y0} + gt$ (где v_{y0} — начальная вертикальная компонента скорости).

Тогда $v_y = v_{y0} + gt$; $t = \frac{v_y - v_{y0}}{g} = \frac{13 - 5}{10} \text{ (с)} = 0,8 \text{ (с)}$

Тогда $v_y = v_{y0} + gt$; $t = \frac{v_y - v_{y0}}{g} = \frac{13 - 5}{10} \text{ (с)} = 0,8 \text{ (с)}$

$v_{y0} = v_0 \sin \alpha = \frac{v_0}{2} = 5 \text{ м/с}$

В данной задаче справедлив закон сохранения энергии. То есть, $\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2}$, где m — масса гайки

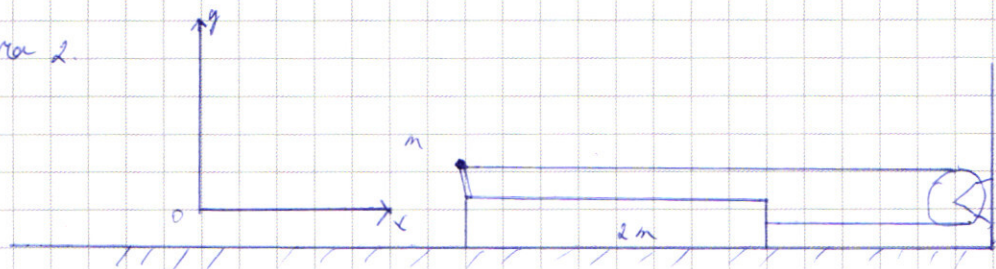
Отсюда $v_0^2 + 2gh = 4v_0^2$; $h = \frac{3v_0^2}{2g} = \frac{300 \frac{m^2}{c^2}}{20 \frac{m}{c^2}} = 15 \text{ м.}$

Ответ: 1) $\approx 18 \text{ м/с}$

2) $\approx 1,3 \text{ с}$

3) 15 м.

Задача 2.



Дано:

$\mu, S, m, F^{(3)}$

Решение:

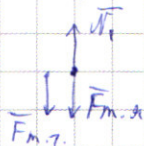
так как на нас действует тризаконие, человек действует на нас только по оси Ox . Значит, по 3-ему закону Ньютона и наоборот действует на человека только по этой оси. Тогда по оси Oy на человека действует сила тяжести и сила

реакции опоры $\vec{F}_{м.т.}$ и $\vec{N}_1$. Поскольку в условии не сказано, что человек может двигаться

по оси Oy , $\vec{N}_1 = -\vec{F}_{м.т.}$. Человек также действует на опору,

т.е. на землю, силой, равной $\vec{N}$ по модулю, но противоположной по направлению, т.е. с

силой $N (= F_{м.т.})$. Для земли по оси Oy :



по оси Oy , поэтому $N_1 + F_{м.т.} + F_{м.з.} = 0$, или, в выражении: $N_1 = F_{м.т.} + F_{м.з.}$

(N_1 - сила реакции опоры на землю). Модуль силы, с которой земля действует на

нас силу N_1 (по 3-ему зак. Н.) $N_1 = F_{м.т.} + F_{м.з.} = 3 \text{ т.г.}$

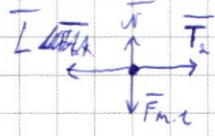
Если человек хочет сбалансировать задвижку, ему нужно двигаться вместе с землей,

т.е. удерживать/держать человека и землю сбалансировать. Рассмотрим силы:

на землю $\vec{F}_{м.т.}$, где $\vec{F}_{z.x}$ - сила действия человека на землю по оси Ox ,

$\vec{T}_1$ - сила действия ~~капота~~ на землю, $\vec{F}_{м.з.}$ - сила ~~действ~~ ^{трения} действующая на землю.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Для человека:  , где $\vec{L} = -\vec{F}_{г.х}$, $\vec{T}_2$ — сила действия ката на человека. П.к. ката человек, $|\vec{T}_2| = |\vec{T}_1| = T$.

Вспомогат. 2 закон Ньютона:

человек по оси Ox : $2ma = T + F_{г.х} - F_{кx}$;

человек по оси Oy : $0 = N_1 - (F_{г.л} + F_{кy})$

человек по оси Ox : $T - F_{г.х} = ma$.

Поскольку ката и человек $N_1 = N_2 = 3mg$.

Отсюда:

$F_{г.х} = 2ma - T + F_{кx} = T - ma$; $3ma + F_{кx} = 2T$.

Чтобы закон ката выполнялся, взаимодействие должно быть ненулевым (т.к. силы во время процесса не меняются).

П.е. $a > 0$ (человек не может оттолкнуться от ката).

$a = \frac{2T - 3mg}{2m} > 0$

$\frac{2T - 3mg}{2m} > 0$

$\frac{2T}{3m} - g > 0$; $T > \frac{3}{2}mg$.

А сила действия человека на ката (F_0) равна силе действия ката на человека (T) по модулю.

Отсюда $F_0 > \frac{3}{2}mg$. Итак, человек осуществит задуманное, если сила его действия на ката превысит $\frac{3}{2}mg$.

Если человек прикладывает силу F , то $T = F$ и из формулы $a = \frac{2T - 3mg}{2m}$ $a = \frac{2F}{3m} - g$. Начальная скорость = 0, поэтому $S = \frac{at^2}{2}$, где t — искомое время.

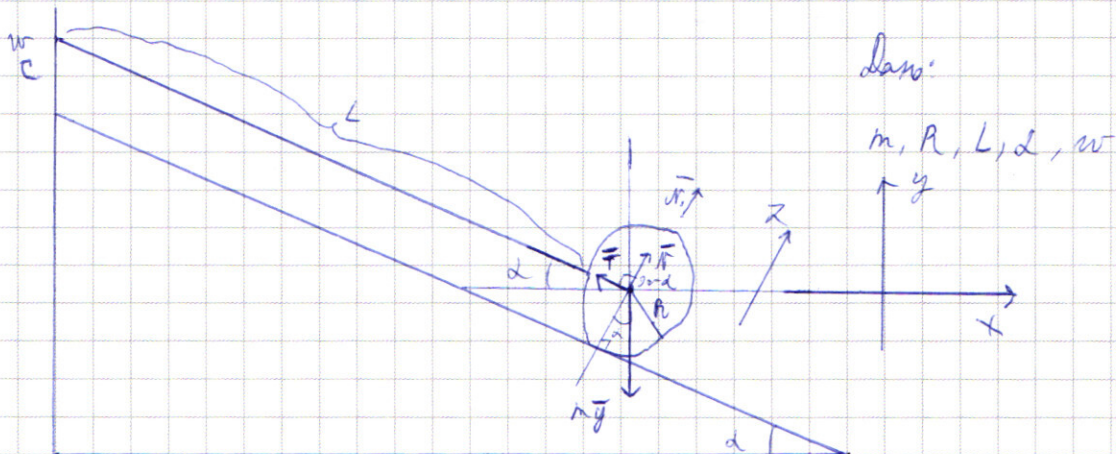
И тогда $t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 25}{2F - 3mg}}$.

Объем: 1) $3mg$

2) $\frac{3}{2}mg\mu$

3) $\sqrt{\frac{6mS}{2F-5mg\mu}}$

Задача 3.



Решение:

П.к. шар не движется, то по проекции z все суммы сил равны 0.

(ось z перпендикулярно поверхности клина).

$mg \cos \alpha + N = 0$, где N — сила реакции опоры

По оси z : $N - mg \cos \alpha = 0$; $N = mg \cos \alpha$.

А N по 3 закону Никто не может быть из-за действия шара на клин.

Это то что мы ищем — сила давления шара на клин.

По второй силе шар движется по окружности, шар не покидает своего места на клине. ↓

Введем ось x , перпендикулярную оси бросения и проходящую через центр шара.

Запишем сумму сил, действующих на шар по этой оси сразу в проекциях

$N \sin \alpha - T \cos \alpha = m a_{\text{с.с.}}$, где T — сила действия клина на шар, $a_{\text{с.с.}}$ — центрострем.

Ускорение, N — сила реакции опоры

Введем ось y , параллельную оси бросения. Запишем ~~в~~ проекции сил

По этой оси шар не движется, так что сумма проекций сил равна нулю:

$$T \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0 \quad T \sin \alpha + N \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ищем систему:

$$\begin{cases} T \sin \alpha - m g \cos \alpha + N_1 \cos \alpha = 0 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} N_1 \sin \alpha - T \cos \alpha = m a_{\text{с.с.}} & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{\text{с.с.}} = \omega^2 \cdot (L+R) \cdot \cos \alpha & (3) \end{cases}$$

где $(L+R) \cos \alpha$ — расстояние от центра масс шара/шарообразного до центра окружности, по которой он вращается. Ищем систему.

$$T = \frac{m g \cos \alpha}{\sin \alpha} = N_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{m a_{\text{с.с.}}}{\cos \alpha} = N_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \omega^2 (L+R) m$$

$$1) \quad T = N_1 \tan \alpha - m \omega^2 (L+R) = \frac{m g \cos \alpha}{\sin \alpha} - N_1 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$N_1 (\tan \alpha + \cot \alpha) = m (\omega^2 (L+R) + g \cos \alpha)$$

$$2) \quad \tan \alpha + \cot \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha}$$

$$N_1 =$$

$$3) \quad \frac{N_1}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{m g}{\sin \alpha} + m \omega^2 (L+R)$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$4) \quad N_1 = m g \cos \alpha + \frac{m \omega^2 (L+R) \cdot \sin 2\alpha}{2}$$

Это и есть сила давления шара на клин в горизонтальном направлении

$$T = \frac{m g}{\sin \alpha} - N_1 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \quad (1)$$

$$T = N_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + m \cdot \omega^2 (L+R) \quad (2), (3)$$

$$\frac{m g}{\sin \alpha} - N_1 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = N_1 \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + m \omega^2 (L+R)$$

$$N_1 (\tan \alpha + \cot \alpha) = \frac{m g}{\sin \alpha} - m \omega^2 (L+R)$$

$$\tan \alpha + \cot \alpha = \frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$

$$N_1 = m g \cos \alpha - m \omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha (L+R)$$

$$2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \sin 2\alpha$$

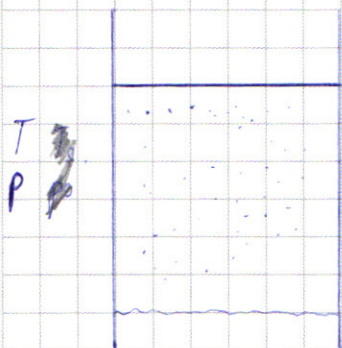
$$N_1 = m \left(g \cos \alpha - \frac{\omega^2 (L+R) \cdot \sin 2\alpha}{2} \right)$$

Это и есть сила давления шара на клин.

Омдем:

- 1) $mg \cos \alpha$
- 2) $m \left(g \cos \alpha - \frac{w^2 (L+R)}{2} \cdot \sin \alpha \right)$

Задача 5.



Дано:

$$T_0, p_0, \rho_0, T_0 = 300 \text{ K } (27^\circ)$$

$$p = 3,55 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\mu = 18 \text{ г/моль}$$

$$\gamma = 5,6$$

Поскольку процесс изотермический, $\frac{p_0 V_0}{n_0} = \frac{p_1 V_1}{n_1}$, где p_0, V_0, n_0 - давление, объём и масса газа в первом состоянии, а p_1, V_1, n_1 - во втором.

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{V_1}{V_0}, \text{ где } \gamma = \frac{C_p}{C_v} - \text{показатель адиабаты первого и второго состояний}$$

В условии задачи даны значения p_0, V_0, n_0 и p_1, V_1, n_1 в условии опыта давление и объём не будут, и поэтому γ также.

Значит γ - показатель адиабаты.

$$\frac{p_1 V_1}{n_1 T} = \frac{p_0 V_0}{n_0 T} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{n_1} = \frac{p_0 V_0}{n_0} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{n_1} = \frac{3,55 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,018 \text{ м}^3}{8,01 \cdot 300 \text{ К}} \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{n_1} = \frac{3,55 \cdot 10^5 \cdot 0,018}{8,01 \cdot 300} \approx 0,025 \text{ м}^3 \cdot \frac{\text{Па}}{\text{моль}} = 0,000025$$

Пусть M - суммарная масса газа, V - полный объём, V_1 - объём газа, V_2 - объём воды, m_1 - масса газа, m_2 - масса воды.

$$M = m_1 + m_2$$

$$V \cdot \rho_2 = V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \gamma = 5,6; V = 5,6 V_1$$

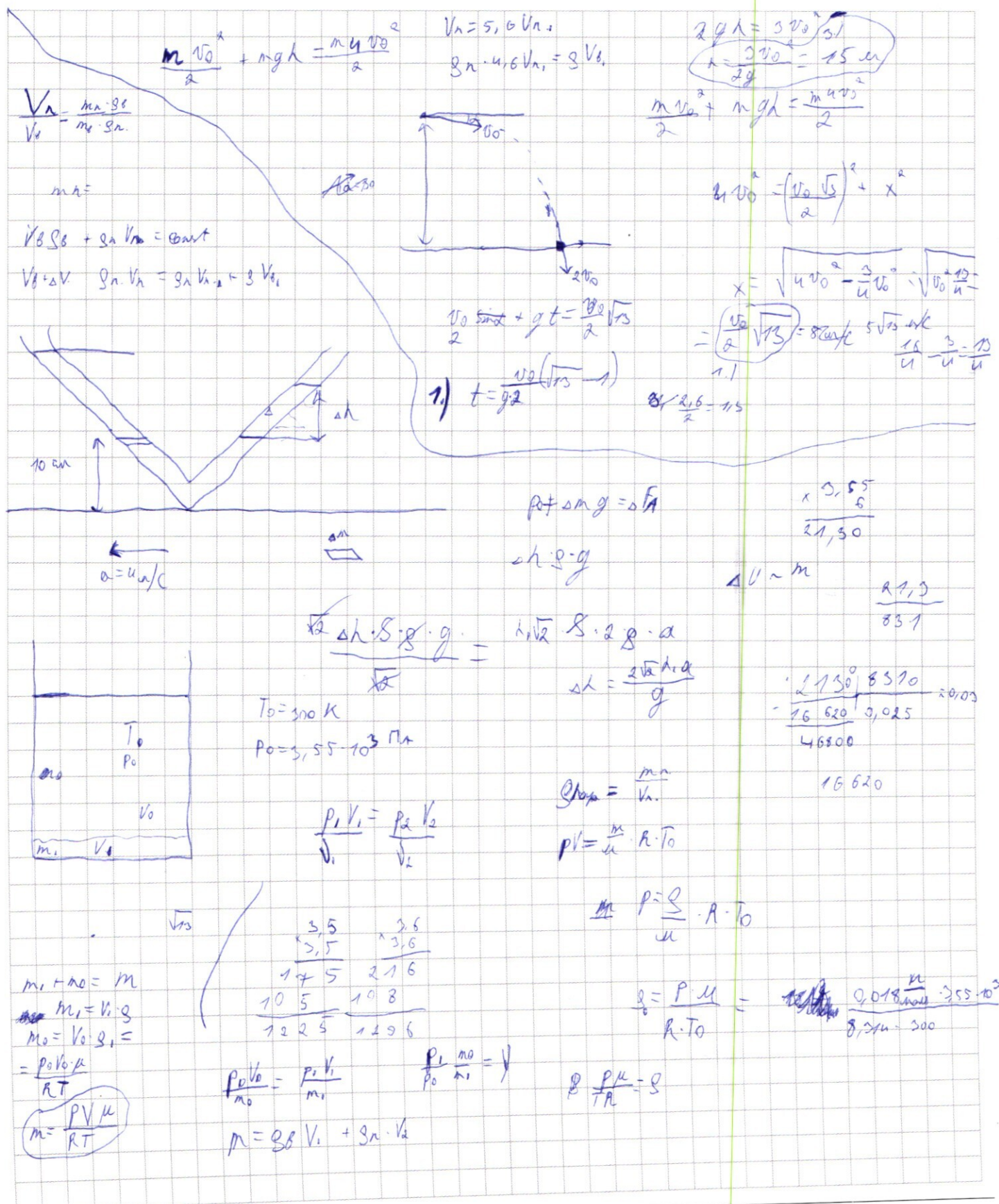
$$V_2 \rho_2 = \rho_1 \cdot 5,6 V_1$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1000 \text{ кг/м}^3}{0,25 \cdot 4,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{1000}{1,15} = 850$$

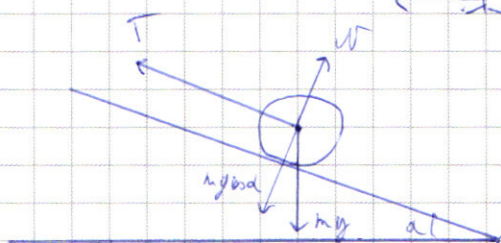
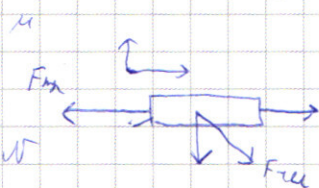
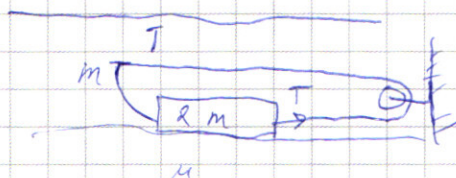
Омдем: 10,000025

2) 850.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



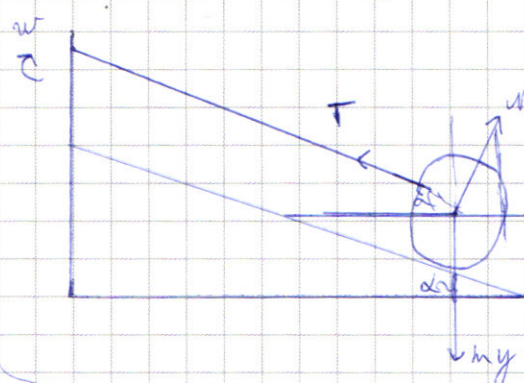
v_0
 $\frac{v_0}{2a}$



$$mg \cos \alpha = N$$

$$\frac{2v^2}{R} = v \cdot \omega = \omega^2 R$$

$$\frac{2v^2}{R} = v \cdot \omega = \omega^2 R$$



$$T \cos \alpha = N \sin \alpha$$

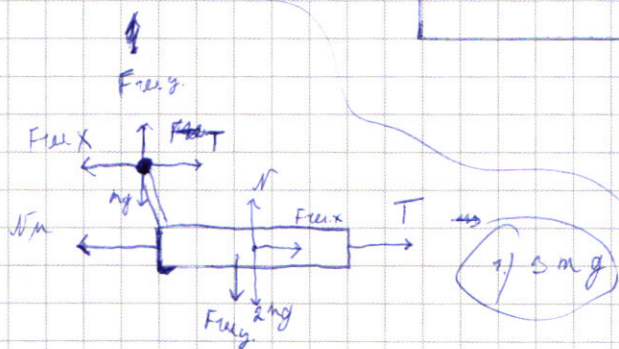
$$T \sin \alpha = m \cdot \omega^2 (L + R)$$

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

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

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

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



$$T + F_{elx} + N \mu - N \mu = 2ma$$

$$F_{el} + 2mg = N$$

$$F_{el} = mg$$

$$T - F_{elx} = ma$$

$$2ma + N \mu - T = T - ma$$

$$3ma + 3mg \mu = 2T$$

$$a \geq 0 \Rightarrow \frac{2T}{3m} - g \mu \geq 0$$

$$2) \quad T \geq \frac{g \mu \cdot 3m}{2}$$

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

$$3.) \quad T = F$$

$$S = \frac{at^2}{2}$$

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

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



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)

