

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.

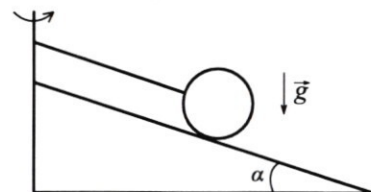
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в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

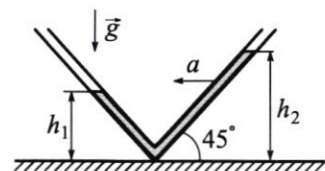
- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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.

② Система вращается, значит имеет центростремительное ускорение a_n .

По второму з-ну Ньютона $m\vec{a}_n = \vec{F}$

В проекциях на оси:

$$Ox: -ma_n \cos \alpha = mg \sin \alpha - T$$

$$Oy: -ma_n \sin \alpha = N - mg \cos \alpha \Rightarrow N = mg \cos \alpha - ma_n \sin \alpha$$

По третьему з-ну Ньютона $N = P = mg \cos \alpha - ma_n \sin \alpha$
(по определению) формула нормального ускорения:

$$a_n = \omega^2 R_{вр}, \quad R_{вр} - \text{радиус вращения, } R_{вр} = (L+R) \cos \alpha$$

$$a_n = \omega^2 (L+R) \cos \alpha, \text{ тогда получим}$$

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

Ответ: 1) $P_0 = mg \cos \alpha$; 2) $P = m \cos \alpha (g - \omega^2 (L+R) \cdot \sin \alpha)$

Задача 2

Дано:

S, m, μ

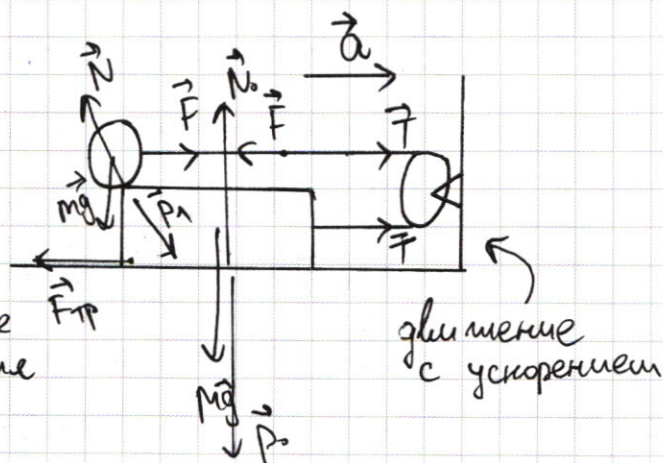
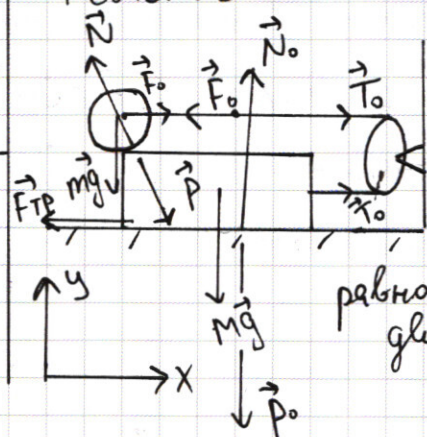
$M = 2m$

1) P_0 - ?

2) F_0 - ?

3) t - ?

Решение:



① Запишем второй з-н Ньютона для шипка (считаем, что $v = \text{const}$): $\vec{T}_0 + \vec{P} + \vec{F}_{тр} + M\vec{g} + \vec{N}_0 = 0$ (т.к. $\vec{a} = 0$)

В проекциях на оси: ($\vec{P}$ - сила давления со стороны человека)

$$Ox: T_0 + P_x - F_{тр} = 0$$

$$(F_{тр} = \mu N_0)$$

$$Oy: -Mg + P_y + N_0 = 0$$

$$\Rightarrow N_0 = Mg + P_y$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

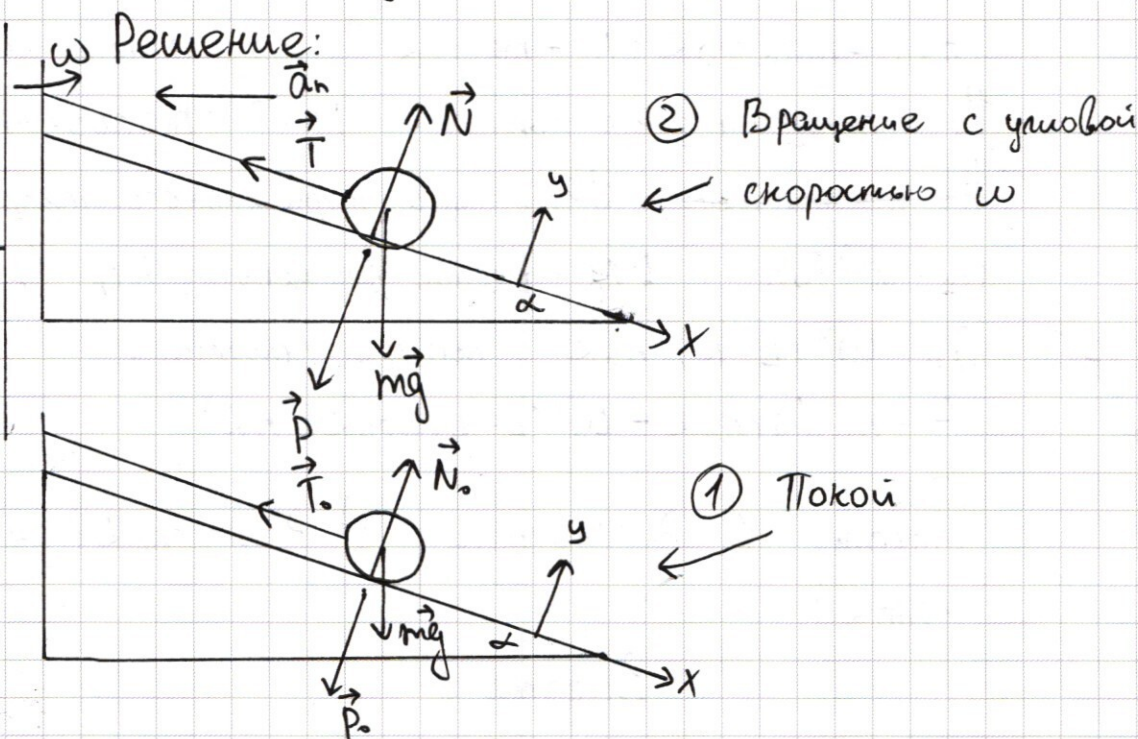
Задача 3

Дано:

$m, R, L,$
 L, ω, g

1) P_0 - ?

2) P - ?



① Система покоится, значит векторная сумма действующих сил равна нулю $\sum \vec{F} = 0$
По второму з-ну Ньютона
 $m\vec{a} = \vec{F}$, $\vec{F} = 0$ т.к. покой.

В проекциях на оси:

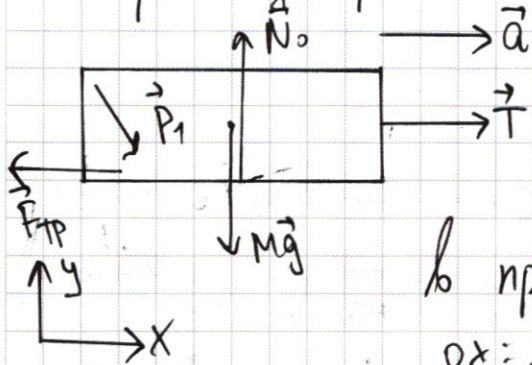
$$ox: 0 = mg \sin \alpha - T_0$$

$$oy: 0 = N_0 - mg \cos \alpha \Rightarrow N_0 = mg \cos \alpha$$

По третьему з-ну Ньютона сила давления шара на клин P_0 равна по модулю силе реакции опоры N_0 :

$$P_0 = N_0 = mg \cos \alpha.$$

③ П.к $F > F_0$, где F_0 - мин. сила, то движение будет равноускоренным. $T = F$



Запишем второй 3-й Ньютона для шара:

$$2m\vec{a} = \vec{N}_0 + \vec{T} + M\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{P}_1 \quad (M=2m)$$

в проекциях:

$$Ox: 2ma = T - F_{тр} + P_{x1} \quad (F_{тр} = \mu N_0)$$

$$Oy: 0 = N_0 - Mg - P_y \Rightarrow N_0 = 3mg \text{ (см. выше)}$$

Получаем: $2ma = F + F_{тр} - 3mg$, откуда

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

Уравнение равноускоренного движения:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \quad v_0 = 0, \text{ тогда}$$

$$S = \frac{1}{2} a t^2, \text{ откуда}$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2S \cdot 2m}{2F + 3\mu mg}} = 2 \sqrt{\frac{Sm}{2F + 3\mu mg}}$$

Ответ: 1) $P_0 = 3mg$; 2) $F_0 = \frac{3}{2}\mu mg$; 3) $t = 2 \sqrt{\frac{Sm}{2F + 3\mu mg}}$

Задача 1

Дано:

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

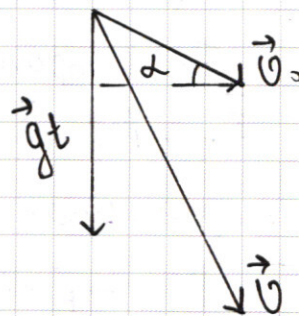
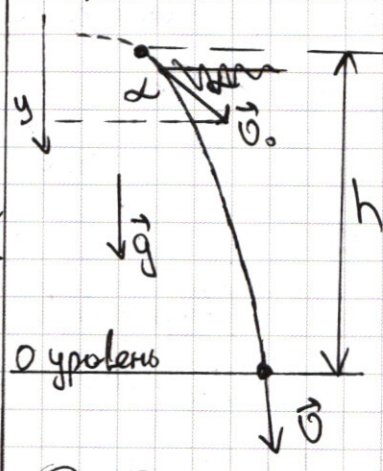
$$v = 2v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$v_y - ?$$

$$t - ?$$

$$h - ?$$

Решение:



③ Запишем закон сохранения энергии для гайки

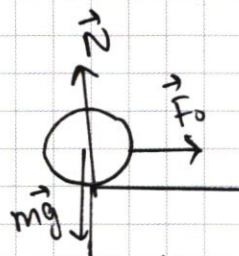
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Запишем второй з-н Ньютона для человека ($v = \text{const}$, $a = 0$): $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_0 = 0$ ($\vec{F}_0$ - сила, с которой человек тянет канат)

В проекциях на оси:

$$ox: \cancel{0 = F_0 + N_x} \quad 0 = F_0 - N_x \quad \Rightarrow \quad F_0 = N_x$$

$$oy: \quad 0 = N_y - mg \quad \Rightarrow \quad N_y = mg$$



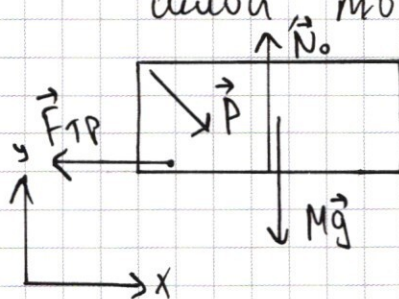
По третьему з-ну Ньютона сила реакции опоры N , действующая со стороны ящика, равна силе давления P , действующей на ящик со стороны человека:

$$P = N, \text{ соответственно } N_y = P_y; \quad N_x = P_x$$

$$\text{Тогда получим: } N_0 = Mg + N_y = Mg + mg = 3mg$$

По третьему з-ну Ньютона $N_0 = P_0 = 3mg$ - сила давления на пол.

② Если человек будет тянуть канат с минимальной силой, то ящик будет двигаться равномерно.



сил, действующие на ящик
 $T_0 = F_0$ (F_0 - мин. сила)

По второму з-ну Ньютона

$$\vec{F}_{тр} + M\vec{g} + \vec{P} + \vec{N}_0 + \vec{T}_0 = 0 \quad \text{т.к. } \vec{a} = 0$$

В проекциях на оси:

$$ox: \quad T_0 + P_x - F_{тр} = 0 \quad (F_{тр} = \mu N_0)$$

$$oy: \quad N_0 - Mg - P_y = 0 \quad \Rightarrow \quad N_0 = Mg + P_y = 3mg$$

$P_x = N_x = F_0$ (см. выше), тогда получим:

$$T_0 + F_0 - \mu \cdot 3mg = 0 \quad 2F_0 = 3\mu mg \quad \Rightarrow \quad F_0 = \frac{3\mu mg}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$pV_1(\gamma-1) = \frac{RT}{\mu} (m-m_1) \quad , \quad m-m_1 = \Delta m = V_6 \rho$$

$$pV_1(\gamma-1) = \frac{RT}{\mu} \cdot \Delta m$$

$$pV_1(\gamma-1) = \frac{RT}{\mu} \cdot V_6 \rho$$

$$\frac{V_1}{V_6} = \frac{RT \rho}{p \mu (\gamma-1)}$$

$$\frac{V_1}{V_6} = \frac{8,31 \text{ Дж/(К·моль)} \cdot 300 \text{ К} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3}{(5,6-1) \cdot 3550 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = \frac{831 \cdot 10^5}{9798}$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{\rho_1}{\rho} = \frac{213}{8310} \quad ; \quad 2) \frac{831 \cdot 10^5}{9798} = \frac{V_1}{V_6}$$

Задача 4

Дано:

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a = 4 \text{ м/с}^2$$

$$h_1 = 10 \text{ см}$$

$$h_2 = ?$$

$$V = ?$$

Решение:

В неинерциальной СО, связанной с трубкой, на масло действует сила инерции $\vec{F}_и$.

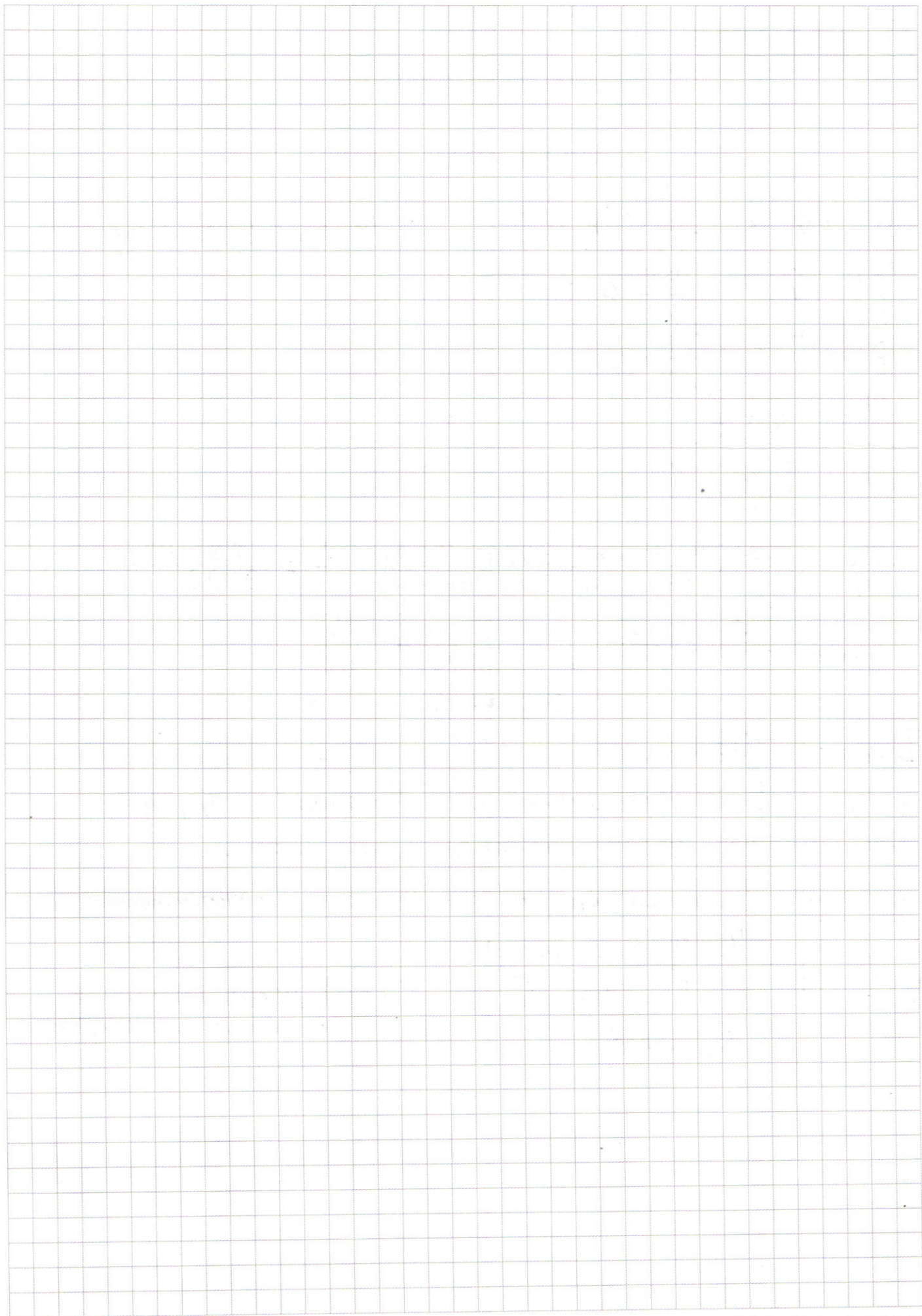
Запишем второй 3-й Ньютона относительно

масла (две массы)

$$0 = \vec{F}_и + m\vec{g} + \vec{N} \quad , \quad (a=0) \text{ масло покоится}$$

$$\vec{F}_и = -m\vec{a}$$

относительно трубки



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

Задача 5

Дано:

$$p = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$T = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$$

$$\mu = 5,6$$

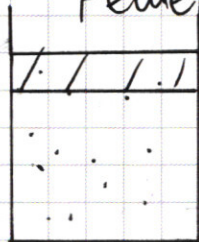
$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

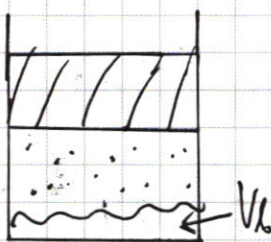
$$1) \rho_1 / \rho - ?$$

$$2) V_1 / V_2 - ?$$

Решение:



P, V, T
①



P, V_1, T
②

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для газа в состояниях 1 и 2:

$$1) pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1)$$

$$2) pV_1 = \frac{m_1}{\mu} RT, \quad (2) \quad m_1 = m - \Delta m$$

Δm - сконденсировавшийся пар, $\Delta m = \rho V_2$

$$\rho_1 = \frac{m}{V} - \text{плотность по определению.}$$

С учётом этого перепишем уравнение для первого состояния газа:

$$pV = \frac{\rho_1 V}{\mu} RT \quad (\div V)$$

$$p = \frac{\rho_1}{\mu} RT, \quad \text{откуда}$$

$$\rho_1 = \frac{\mu p}{RT}; \quad \frac{\rho_1}{\rho} = \frac{\mu p}{RT \rho}$$

$$\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}}{1 \text{ кг/м}^3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 300 \text{ К}} = \frac{213}{8310}$$

$$\mu = \frac{V}{V_1}; \quad \text{вычитаем из ур. 1 ур. 2:}$$

$$p(V - V_1) = \frac{m}{\mu} RT - \frac{m_1}{\mu} RT$$

$$V = \mu V_1, \quad \text{тогда}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\underbrace{mgh + \frac{1}{2} m v_0^2}_{\text{в начальный момент времени}} = \underbrace{\frac{1}{2} m v^2}_{\text{в конечный момент вр.}} \quad (\div m - \text{масса гайки})$$

h - высота, с которой брошена гайка.

$$gh = \frac{1}{2} v^2 - \frac{1}{2} v_0^2, \text{ откуда}$$

$$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}; \quad h = \frac{(20 \text{ м/с})^2 - (10 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 15 \text{ м}$$

② Уравнение движения гайки в проекциях на Oy :

$$h = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{1}{2} g t^2, \text{ откуда можем выразить } t:$$

$$\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t - h = 0$$

$$D = v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh$$

$$t = \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} - v_0 \sin \alpha}{g} \quad (\text{отр. корень не подходит})$$

$$t = \frac{\sqrt{(10 \text{ м/с})^2 \cdot 0,5^2 + 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 15 \text{ м}} - 10 \text{ м/с} \cdot 0,5}{10 \text{ м/с}^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{325 \text{ м}^2/\text{с}^2} - 5 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{5 \text{ м/с} \sqrt{13} - 5 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с}$$

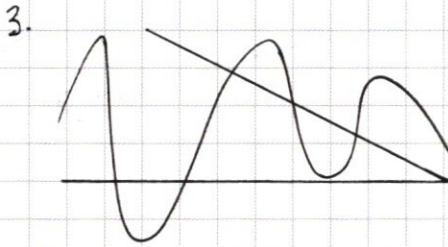
① $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$, в проекциях на Oy :

$$v_y = v_0 \sin \alpha + g t$$

$$v_y = 10 \text{ м/с} \cdot 0,5 + 10 \text{ м/с}^2 \cdot \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с} = 5 \text{ м/с} + 5 \text{ м/с} (\sqrt{13} - 1) = 5\sqrt{13} \text{ м/с}$$

$$\text{Ответ: } 1) v_y = 5\sqrt{13} \text{ м/с}; \quad 2) t = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с}; \quad 3) h = 15 \text{ м}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

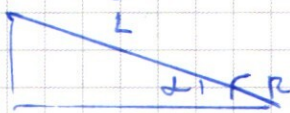


Шар покоится

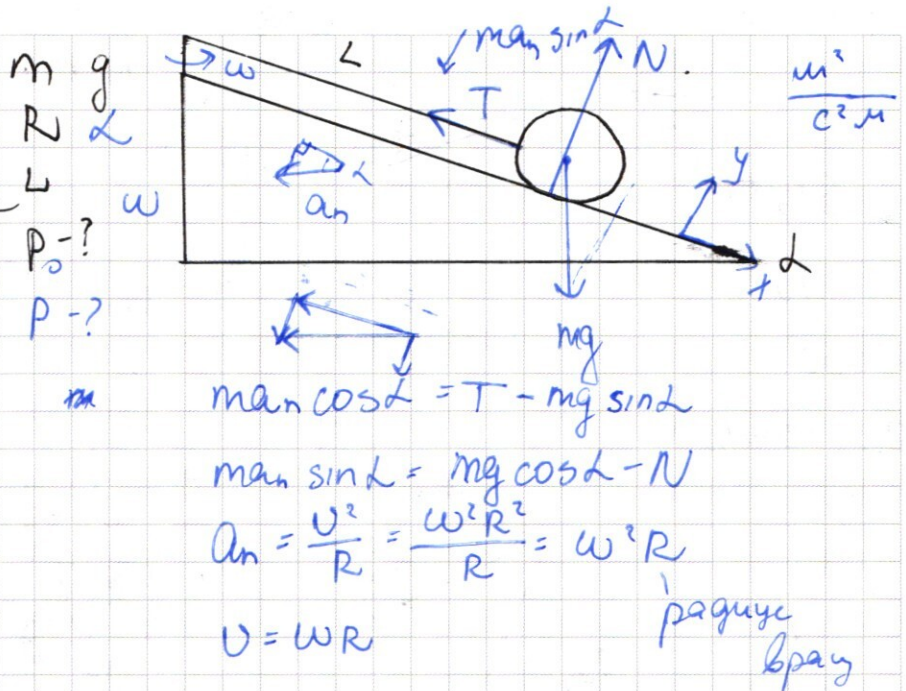
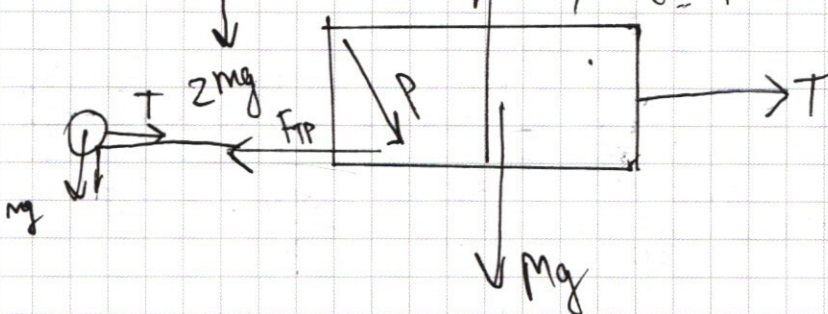
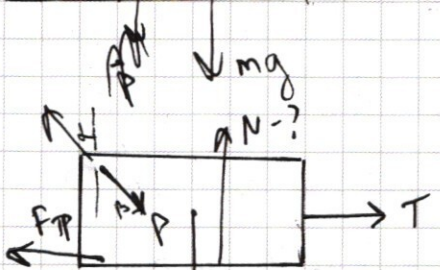
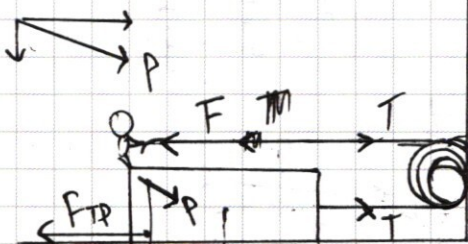
$$Ox \quad mg \sin \alpha - T_0 = 0$$

$$Oy \quad -mg \cos \alpha + N_0 = 0$$

$$N_0 = P_0 = mg \cos \alpha$$



$$R_{\text{тяги}} (L+R) \cos \alpha$$



$$E = T$$

по ~~гориз~~ вертикали покой.

$$N \geq mg + P \sin \beta$$

или сила = равномер. движ

$$F_{TP} = P \cos \beta + T$$

$$T = F$$

$$F_{TP} = 2\mu mg + \mu P \sin \beta$$

$$2\mu mg + \mu P \sin \beta - P \cos \beta = F$$

F_0 - минимальная с.

$F > F_0 \Rightarrow$ ускорение a

$N \rightarrow F = ma$

$F = ma$

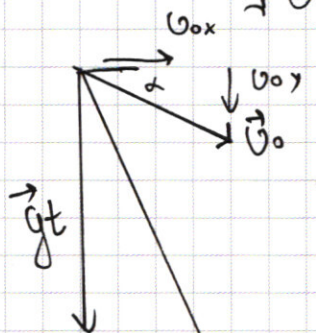
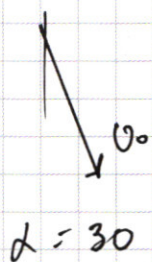
$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$

$s = \frac{1}{2}at^2$

$v_0 = 10 \text{ м/с}$

$\alpha = 30^\circ$

$v = 2v_0 = 20 \text{ м/с}$



$h = v_0 t \sin \alpha + \frac{1}{2}gt^2$

~~$v = v_0 \cos \alpha$~~

$v_0 \sin \alpha = v_{0y}$ так

$v_{0y} = v_0 \sin \alpha + gt$

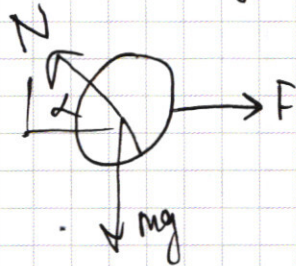
$v_y = v_0 \sin \alpha + g \frac{\sqrt{13}-1}{2}$

$mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2$

$2gh = v^2 - v_0^2$

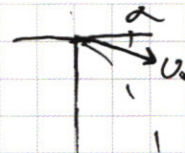
$2gh = v^2 - v_0^2$

$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g} = \frac{20^2 - 10^2}{2 \cdot 10} = \frac{400 - 100}{20} = \frac{300}{20} = \frac{30}{2} = 15 \text{ м}$



$N \sin \alpha = mg$

$N \cos \alpha = F$

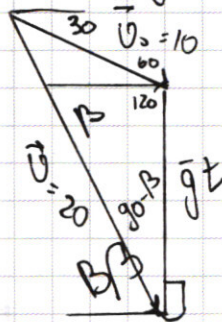


$v_y = ?$

$t = ?$

$h = ?$ $v_{0x} = v_x$

$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$



v_x

$l = v_0 \cos \alpha t$

$mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2$ $t = \frac{l}{v_0 \cos \alpha}$

$h = v_0 t \sin \alpha + \frac{1}{2}gt^2$

$\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t - h = 0$

$D = v_0^2 \sin^2 \alpha + 4 \cdot \frac{1}{2}g \cdot h$

$= v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh$

$t = \frac{-v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh}}{g}$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$p = 3,55 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\eta = 1$$

$$T = \text{const}$$

$$\eta = 5,6$$

$$\frac{S_n}{S} = ?$$

$$\frac{V_{n1}}{V_6} = ?$$

$$\boxed{P, V, T}$$

$$\eta = 1$$

$$\boxed{P, V, T}$$

$$\eta = 1$$

$$V_6$$

~~$$pV = p_1 V_1 \quad m > m_1$$~~

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

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

$$-(m_1 - m) = \Delta m = S V_6$$

$$p(V_2 - V_1)/\mu = \Delta m RT$$

$$p(V_2 - V_1)/\mu = S V_6 RT$$

$$V_6 = \frac{p(V_2 - V_1)/\mu}{S RT}$$

$$\frac{V}{V_1} = 5,6$$

$$\frac{p(5,6 V_1 - V_1)/\mu}{S RT}$$

$$831 | 213$$

$$V_6 = V_1 \frac{4,6 p \mu}{S RT}$$

$$+ \frac{213}{3}$$

$$639$$

$$\cdot \frac{213}{852}$$

$$\frac{V_1}{V_6} = \frac{S RT}{4,6 p \mu}$$

$$1000 \cdot 8,31 \cdot 300$$

$$4,6 \cdot 3,55 \cdot 10^5 \cdot 18 \cdot 10^{-3}$$

$$= \frac{213}{831}$$

$$8,31 \cdot 300 \cdot 1000$$

$$= \frac{8,31 \cdot 300 \cdot 1000}{4,6 \cdot 3,55 \cdot 18}$$

$$6 \cdot 3,55 \cdot \frac{2130}{831}$$

$$\frac{2130}{83100}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

В конце вр.

$$0 = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$20 = g t$$

$$t = \frac{-20}{g}$$

$$\frac{v_1}{v_k} = \frac{RT \theta}{p (n-1) M}$$

$$10^{-2}$$

$$v_0 t \sin \alpha + \frac{1}{2} g t^2 - h = 0$$

$$b^2 - 4ac$$

$$D = v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh$$

$$t = \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh} - v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$t = \frac{\sqrt{100 \cdot 0,5^2 + 2 \cdot 40 \cdot 15} - 10 \cdot 0,5}{10}$$

$$325$$

$$4,$$

$$0 = v \sin \beta t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$180 = 120 + 90 - \beta$$

$$180 = 210 - \beta$$

$$\beta = 210 - 180 = 30$$

$$180 + = 120 + 90 - \beta + \alpha$$

$$\alpha = 180 - 120 - 90 + \beta = \beta -$$

$$S^2 = v_0^2 t^2 + g^2 t^4 - 2 v_0 t^3 g \cos 120$$

$$5 \text{ м/с} + 5 \text{ м/с} \sqrt{13} - 5 \text{ м/с} \sqrt{13} 8$$