

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-04

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

1. Мальчик бросает железный шарик с вышки со скоростью $V_0 = 8$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. В полете шарик все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2,5V_0$.

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости шарика при падении на Землю.
- 2) Найти время полета шарика.
- 3) Найти горизонтальное смещение шарика за время полета.

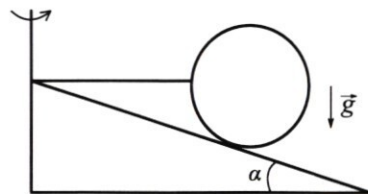
Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

2. На противоположных концах тележки массы M , находящейся на гладкой горизонтальной поверхности, стоят два ученика одинаковой массы m каждый. Вначале система неподвижна. Один ученик бросает мяч, а другой ловит. Масса мяча m_1 . После броска тележка движется со скоростью V_1 . Продолжительность полета мяча T . Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

- 1) Найдите горизонтальную проекцию скорости V_0 мяча (относительно поверхности, на которой находится тележка) в процессе полета.
- 2) Найдите длину L тележки.
- 3) Найдите скорость V_2 тележки после того, как второй ученик поймает мяч.

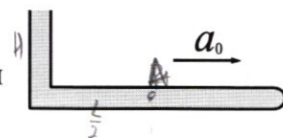
3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается горизонтально натянутой нитью, привязанной к вершине клина.

- 1) Найти силу натяжения нити, если система покоится.
- 2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина.



4. Тонкая Г-образная трубка с горизонтальным коленом, закрытым с одного конца, и вертикальным коленом высотой $H = 48$ мм, открытым в атмосферу, заполнена полностью ртутью (см. рис.). Если трубку двигать (в плоскости рисунка) с ускорением, не большим некоторого a_0 , то ртуть из трубки не выливается.

- 1) Найти давление P_1 внутри трубки в точке А, находящейся от вертикального колена на расстоянии $1/2$ длины горизонтального колена, если трубка движется с ускорением a_0 .
- 2) Найти давление P_2 в точке А, если трубка движется с ускорением $0,25a_0$.
- 3) Найти давление P_3 вблизи закрытого конца трубки, если она движется с ускорением $0,3a_0$.



Атмосферное давление $P_0 = 752$ мм рт. ст. Давлением насыщенных паров ртути в условиях опыта пренебречь. Ответы дать в «мм рт. ст.».

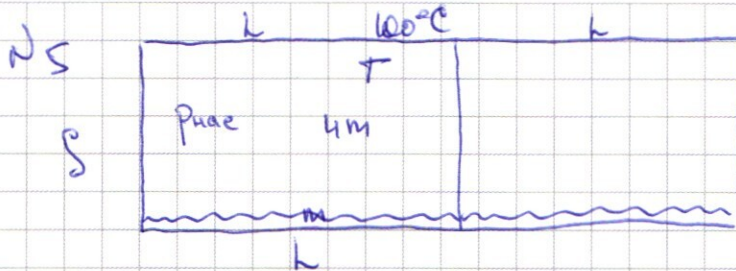
5. Поршень делит объем горизонтального герметичного цилиндра на две равные части, в каждой из которых находится вода и водяной пар при температуре $T = 373$ К. Масса воды в каждой части в 4 раза меньше массы пара. Поршень находится на расстоянии $L = 0,4$ м от торцов, площадь поперечного сечения поршня

$S = 25$ см². Масса M поршня такова, что $\frac{Mg}{S} = 0,02P_0$, здесь P_0 – нормальное атмосферное давление.

- 1) Найдите массу m воды в каждой части в начальном состоянии.
- 2) Цилиндр ставят на дно (ось цилиндра вертикальна). Найдите приращение Δm массы воды под поршнем к моменту установления равновесного состояния.

Температура в цилиндре поддерживается постоянной. Трение считайте пренебрежимо малым. Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Объем воды намного меньше объема пара.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



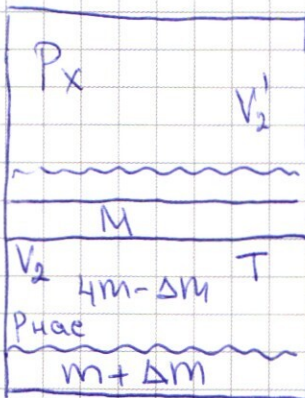
То, что вода больше
не испаряется, означает,
что пар насыщен

при 100°C $p_{\text{нас}} = p_0 = 10^5 \text{ Па}$

$$p_{\text{нас}} S h = \frac{4m}{\mu} RT$$

$$m = \frac{p_{\text{нас}} S h \mu}{4 R T} = \frac{10^5 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 8,31 \cdot 373} =$$

$$= \frac{1,8}{4 \cdot 8,31 \cdot 373} \approx 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \approx 0,15 \text{ г}$$



$$P_x + \frac{mg}{S} = p_{\text{нас}} = p_0 \Rightarrow P_x = 0,98 p_0$$

Давление в нижней части остается $p_{\text{нас}}$

из ур-ния Менделеева - Клапейрона:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{4m}{4m - \Delta m}$$

$V_1 = S h$ — объем вначале

~~V_2 — объем в конце~~

$V_2 = 2 S h - V_2'$ — после переворота

Температуру поддерживают постоянной, тогда для верхней части:

$$\frac{p_{\text{нас}}}{P_x} = \frac{V_2'}{V_1} \Rightarrow V_2' = \frac{p_{\text{нас}}}{P_x} \cdot V_1 = \frac{1}{0,98} \cdot V_1 \approx 1,02 V_1$$

$$\Rightarrow V_2 = S h (2 - 1,02) = 0,98 S h$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S h}{0,98 S h} = \frac{4m}{4m - \Delta m} \approx 1,02$$

$$4m = 4,08m - 1,02 \Delta m$$

$$1,02 \Delta m = 0,08m$$

$$\Delta m \approx 0,98 \cdot 0,08m = 0,0784m$$

$$\Delta m \approx 0,012 \text{ т}$$

Ответ: 1) 0,15 т
2) 0,012 т

Вся вода в верхней части испарилась

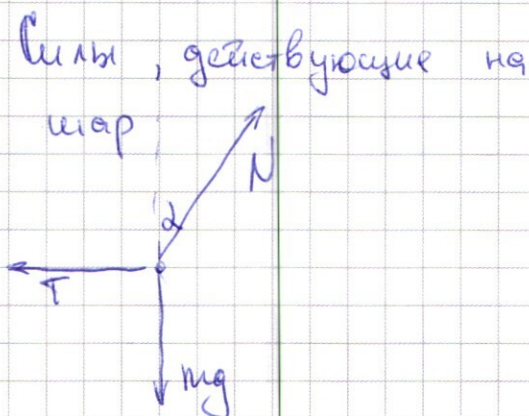
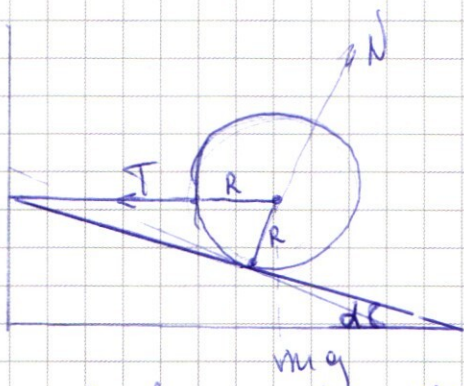
$$\left. \begin{aligned} P_x V_2' &= \frac{5M}{\mu} RT \\ P_0 S L &= \frac{4M}{\mu} RT \\ P_x &= 0,98 P_0 \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} V_2' &= \frac{5}{4} \cdot 1,02 \cdot S L \approx 1,275 S L \\ V_2 &= 2 S L - V_2' \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= 0,725 S L \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{S L}{V_2} = \frac{4M}{4M - \Delta m} \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} \frac{1}{0,725} &= \frac{4M}{4M - \Delta m} \\ 4M \cdot 0,725 &= 4M - \Delta m \\ \Delta m &= 1,1M \approx 0,165 \text{ т} \end{aligned} \right\}$$

Ответ: 1) 0,15 т
2) 0,165 т

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

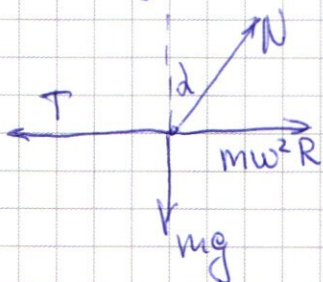
№3



из равновесия по II з. Ньютона

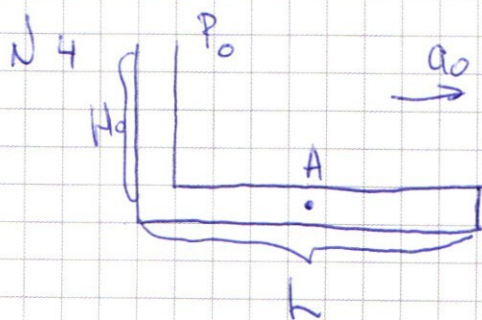
$$\left. \begin{aligned} mg &= N \cdot \cos \alpha \\ T &= N \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\} T = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Теперь раскрутим шар. Добавится еще центробежная сила



$$\left. \begin{aligned} mg &= N \cdot \cos \alpha \\ T &= N \cdot \sin \alpha + m\omega^2 R \end{aligned} \right\} T = mg \operatorname{tg} \alpha + m\omega^2 R$$

Ответ: 1) $mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$
2) $mg \operatorname{tg} \alpha + m\omega^2 R$



условие вытекания ртути:
 $P_0 + \rho g H_0 \leq \rho a_0 L \Rightarrow P_0 + \rho g H_0 = \rho a_0 L$

На ртуть по горизонтали действует сила инерции

1) В т.А условие равновесия

$$\rho a_0 \frac{L}{2} = \frac{1}{2} (\rho g H + P_0) = \frac{1}{2} (48 \text{ мм рт.ст.} + 752) = 400 \text{ мм рт.ст.}$$

$$P_1 = \rho g H + P_0 - \rho a_0 \frac{L}{2} = \frac{1}{2} (\rho g H + P_0) = 400 \text{ мм рт.ст.}$$

2) ~~условие равновесия в т.А~~: $P_2 = \rho g H + P_0 - \rho \frac{a_0}{4} \cdot \frac{L}{2}$

$$\rho \cdot \frac{a_0}{4} \cdot \frac{L}{2} = \frac{1}{4} \cdot 400 = 100 \text{ мм рт.ст.}$$

$$P_2 = 700 \text{ мм рт.ст.}$$

3)

$$P_3 = \rho g H + P_0 = 800 \text{ мм рт.ст.}$$

Ответ: 1) 400

2) 700

3) 800

$$\approx 10,54 \cdot 0,8 \approx 8,43 \text{ м}$$

- Ответ:
- 1) 19,2 м/с
 - 2) 1,24 с
 - 3) 8,43 м

из треугольника скоростей:

$$V_{ky} = V_0 \cdot \sin 60^\circ + g t$$

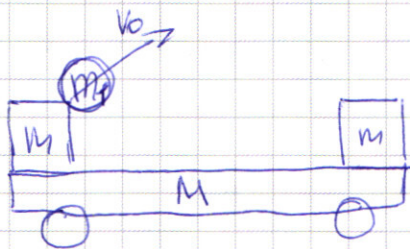
$$g t = V_{ky} - V_0 \cdot \sin 60^\circ = 19,2 - 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 19,2 - 4 \cdot 1,7 = 12,4 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{12,4}{g} = \frac{12,4}{10} = 1,24 \text{ с} - \text{общее время падения}$$

$$\Delta X = V_0 \cdot \cos 60^\circ \cdot t = 8 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,24 = 4,96 \text{ м}$$

- Ответ:
- 1) 19,2 м/с
 - 2) 1,24 с
 - 3) 4,96 м

N2



из З.С.И.:

$$m_1 V_{0x} = (2m + M) V_1$$

V_{0x} - горизонт. проекция V_0

$$V_{0x} = \frac{2m + M}{m_1} V_1$$

$$L = (V_{0x} + V_1) T = \left(\frac{2m + M}{m_1} + 1 \right) V_1 T$$

Начальный импульс всей системы 0

$$0 = m_1 V_{0x} - (2m + M) V_1 = (2m + M + m_1) V_2 \Rightarrow V_2 = 0$$

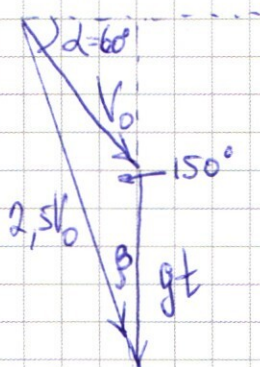
Это же объясняется тем, что

$V_{0x} = v_{kx}$ v_{kx} - скорость мяча по X при ловле

- Ответ:
- 1) $\frac{2m + M}{m_1} V_1$
 - 2) $\left(\frac{2m + M}{m_1} + 1 \right) V_1 T$
 - 3) 0

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1 То, что шарик все время приближался к земле, значит, что он был брошен вниз



$$\frac{2,5V_0}{\sin 150^\circ} = \frac{2,5V_0}{\sin 30^\circ} = \frac{V_0}{\sin \beta}$$

$$\sin \beta = \frac{\sin 30^\circ \cdot V_0}{2,5V_0} = \frac{1}{2,5} = \frac{1}{5} \quad (\text{по т. синусов})$$

$$\sin \beta = \frac{1}{5} \Rightarrow \cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{25}} = \frac{\sqrt{24}}{5}$$

Треугольник векторов скоростей

V_{ky} — вертикал. компонента скорости при падении

$$V_{ky} = 2,5V_0 \cdot \cos \beta = 2,5V_0 \cdot \frac{\sqrt{24}}{5} = V_0 \frac{\sqrt{24}}{2} = 8 \cdot \sqrt{6} \approx$$

$$\approx 8 \cdot 2,4 \approx 19,2 \text{ м/с}$$

Из треугольника скоростей по т. косинусов:

$$6,25V_0^2 = V_0^2 + (gt)^2 - 2 \cos 150^\circ V_0 \cdot gt$$

$$gt = X$$

$$X^2 + 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} V_0 \cdot X - 5,25V_0^2 = 0$$

$$D = 3V_0^2 + 21V_0^2 = 24V_0^2$$

$$X = \frac{-\sqrt{3}V_0 + 2V_0\sqrt{6}}{2} = gt$$

$$t = \frac{2\sqrt{6} - \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{V_0}{g} \approx \frac{V_0}{g} \frac{2 \cdot 2,4 - 1,7}{2} \approx \frac{V_0}{g} \frac{4,8 - 1,7}{2} \approx 1,55 \cdot \frac{V_0}{g} \approx 1,24 \text{ с}$$

t — общее время падения

ΔX — горизонт. смещение

$$\Delta X = V_0 \cdot \cos 60^\circ \cdot t = V_0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2\sqrt{6} - \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{V_0}{g} \approx 4\sqrt{3} \cdot 1,55 \cdot \frac{V_0}{g} \approx 4 \cdot 1,7 \cdot 1,55 \approx$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$V_{\text{пара}} = Sh$$

пар насыщенный, иначе бы вода

$$p_{\text{нас}} Sh = \frac{4m}{\mu} RT$$

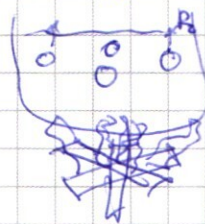
при 100°C испарилась еще

$$p_{\text{нас}} \text{ при } 100^\circ\text{C} = p_0$$

$$\begin{array}{r} \times 373 \\ 4 \\ \hline 1492 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 373 \\ 4 \\ \hline 1492 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 373 \\ 4 \\ \hline 1492 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 12 \\ 4476 \\ \hline 12936 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 13397,52 \end{array}$$



13400

$$\frac{18}{134000} = \frac{9}{66700} \approx \frac{1}{6670}$$

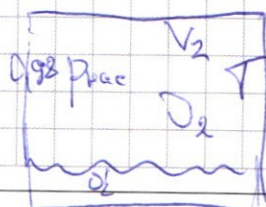
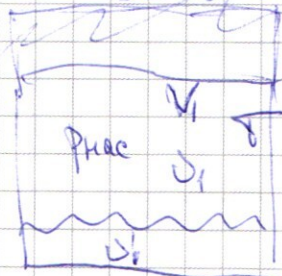
$$\frac{107}{71104} \approx \frac{1,5}{7}$$

$$10^5 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 0,831 \cdot 373$$

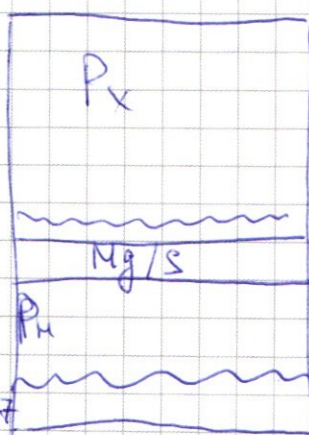
$$V = \frac{100}{831,373} \approx \frac{1}{33,2} = \frac{4m}{\mu} = \frac{4m}{18 \cdot 10^{-3}} = \frac{2}{9 \cdot 10^{-3}} m$$

$$m \approx \frac{9}{66,4} \cdot 10^{-3} \approx \frac{1}{7} \cdot 10^{-3} \approx 1,4 \cdot 10^{-4} \approx 0,14 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{10000}{6670} \approx 1,5$$



$$\begin{array}{r} 0,98 \\ 0,08 \\ \hline 0,0784 m \end{array}$$



$$p_{\text{нас}} S = \frac{4m - \Delta m}{\mu} RT$$

$$p = \kappa T$$

Клейперон
Клейперон

$$\begin{array}{r} \times 1,02 \\ 0,98 \\ \hline 0,9996 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 0,0784 \quad 24 \\ 0,15 \\ \hline + 3920 \\ 784 \\ \hline 0,011760 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 0,08 \quad 4 \\ 0,15 \\ \hline + 40 \\ 8 \\ \hline 0,120 \\ 5140 \\ - 40127 \\ \hline 110 \\ - 80 \\ \hline 300 \\ - 280 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,000 \\ - 1,275 \\ \hline \times 0,725 \quad 21 \\ 4 \\ \hline 2,900 \end{array}$$

$$10^5 \cdot 10 \cdot 10^{-4} = 10^2 = 0,831 \cdot 373$$

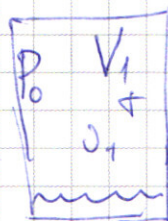
$$100 \text{ p}$$

$$10000 \mid 831$$

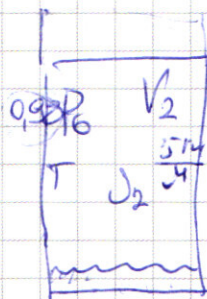
$$0 \approx \frac{1}{831 \cdot 4} \approx \frac{1}{33,2}$$

$$\frac{4M}{10^{-3}} = \frac{1}{33,2}$$

$$m = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{0,8,4} \approx \frac{1}{7} \cdot 10^{-3} \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$$



$$\begin{array}{r} \times 1,25 \quad 11 \\ 0,02 \\ \hline 2,50 \end{array}$$



$$\begin{array}{l} \text{при } T = \text{const} \\ p_{\text{нас}} = \text{const} \end{array}$$

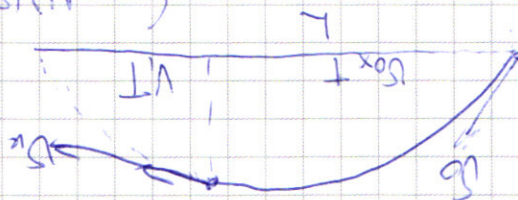
$$V_2 = \frac{5m}{\mu} RT : 0,98 p_0 = \frac{5,1m}{\mu p_0} RT$$

$$V_1 = \frac{4m}{\mu} RT : p_0 = 4,027$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{5,1}{4} \approx 1,27$$

$$\begin{array}{l} \Delta Q (m_1 + m_2 + m_3) = 0 = 0 \\ (2m + M) U_1 = m_1 U_1 \end{array}$$

$$x_0 = x_1$$

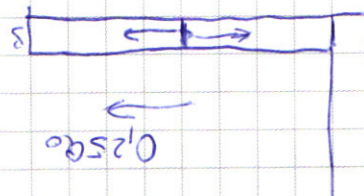


$$\begin{array}{l} U_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} = v_{0x} \\ m_1 v_{0x} = (2m + M) U_1 \end{array}$$

д2. Скорость шара не равна скорости при ударе

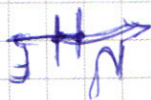
$$\frac{1}{2} (p_0 H + p_0) = 400 \text{ м. пр.г.}$$

$$p_0 H + p_0 = 800$$



$$800 - 100 = 700 \text{ Па}$$

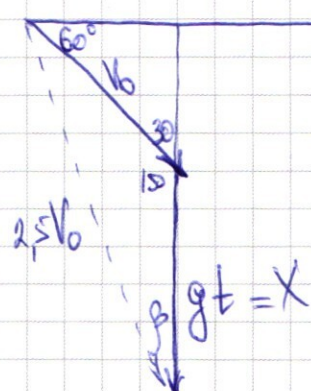
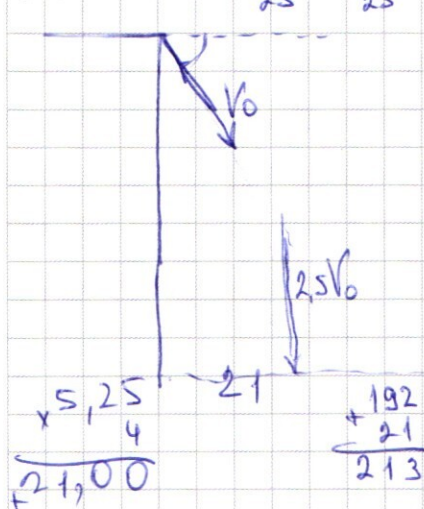
$$\frac{800}{8} = 100 \text{ Па}$$



$$(p_0 H + p_0) = 800$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1 $1 - \frac{1}{25} = \frac{24}{25}$



$$t = \frac{V_0(2\sqrt{6} - \sqrt{3})}{2g} =$$

$$V_y = 2.5V_0 \cdot \cos \beta = \frac{\sqrt{24}}{5} \cdot 2.5V_0 = 4\sqrt{24} = 8\sqrt{6}$$

ΔX - горизонт. смещ.

$$\Delta X = V_0 \cdot \cos 60^\circ \cdot t = \frac{V_0^2}{2g} \cdot \frac{1}{2} \cdot (2\sqrt{6} - \sqrt{3})$$

$$4 \cdot 1.7 \cdot 1.55 = 6.2 \cdot 1.7$$

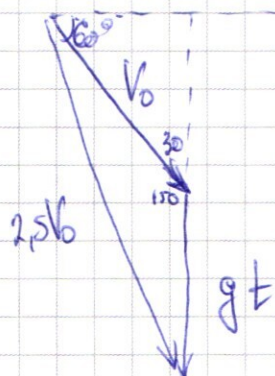
$$\begin{array}{r} 1.7 \\ \times 6.2 \\ \hline 10.54 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1.55 \\ \times 0.8 \\ \hline 1.240 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1.55 \\ \times 0.8 \\ \hline 1.240 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1.7 \\ \times 1.55 \\ \hline 2.615 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10.54 \\ \times 0.8 \\ \hline 8.432 \end{array}$$



$$6.25V_0^2 = V_0^2 + (gt)^2 - 2 \cos 150^\circ \cdot V_0 \cdot gt$$

$$5.25V_0^2 = (gt)^2 + 2 \cos 30^\circ \cdot V_0 \cdot gt$$

$$gt = X$$

$$X^2 + 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} V_0 X - 5.25 V_0^2 = 0$$

$$D = 3 \cdot 64 + 21 = 213$$

т. синусов

$$\frac{V_0}{\sin \beta} = \frac{2.5V_0}{\sin 30^\circ}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2 \cdot 2.5} = \frac{1}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{\sqrt{24}}{5}$$

т. косинусов

$$6.25V_0^2 = V_0^2 + X^2 + 2 \cos 30^\circ V_0 X$$

$$5.25V_0^2 = X^2 + 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} V_0 X$$

$$X^2 + \sqrt{3} V_0 X - 5.25 V_0^2 = 0$$

$$D = 3 \cdot V_0^2 + 21 \cdot V_0^2 = 24 V_0^2$$

$$X = \frac{-\sqrt{3} V_0 \pm 2 V_0 \sqrt{6}}{2}$$

$$X = \frac{-\sqrt{3} V_0 + 2\sqrt{6} V_0}{2} = gt$$

$$\sqrt{60} \approx 7.75$$

$$\begin{array}{r} 7.6 \\ \times 7.6 \\ \hline 45.6 \\ + 53.2 \\ \hline 57.76 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17.7 \\ \times 17.7 \\ \hline 313.29 \end{array}$$

$$3.12 = 1.55$$

$$\begin{array}{r} 2.5 \\ \times 2.4 \\ \hline 6.0 \\ + 48.0 \\ \hline 60.0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 24 \\ \hline 576 \end{array}$$

Проверка где t

$$19,2 = 8 \cdot \frac{1}{2} + 10 \cdot 1,24 = 4 + 12,4 = 16,4$$

t - неправильно

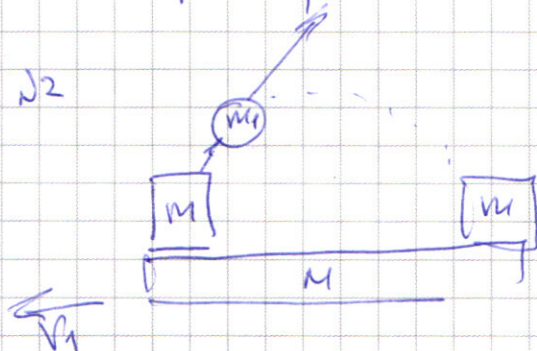
$$V_{ky} = V_{ky} + gt$$

$$V_{ky} = 2,5V_0 \cdot \frac{\sqrt{24}}{5} = 4\sqrt{24} = 8\sqrt{6}$$

$$gt = 19,2 - 8 \cdot \frac{1}{2} = 15,2$$

$$t = 1,52$$

N2

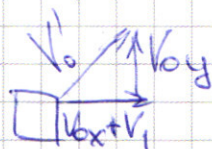


относит. телом

V_0'

$$T = \frac{2V_0j}{g}$$

$$L = V_{0x}T + V_1T$$

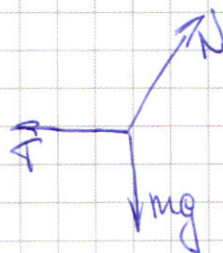
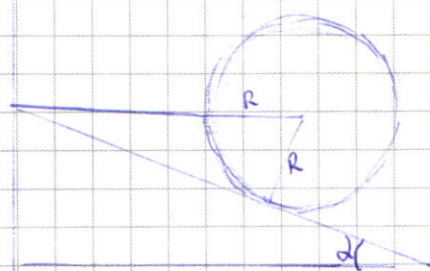


V_{0x} - касая из 3GU.
гав п.1

$$(2m + M)V_1$$

$$0 = (2m + M)V_1 - m_1V_{0x} = (2m + m_1 + M)V_2$$

N3



$$P = \frac{F}{S}$$

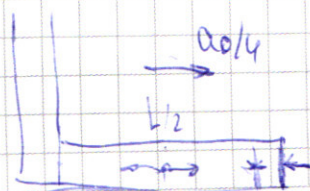
N4



$$P_0 + \rho g H$$

$$\rho g H + P_0$$

$$\rho a_0 \cdot \frac{L}{2} = \frac{\rho g H}{2} + \frac{P_0}{2} =$$



$$P_0 + \rho g H \leftarrow \rho \frac{a_0}{4} L$$