

Олимпиада «Физтех» по физике, с

Класс 10

Вариант 10-01

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

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/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 $M = 5m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в оси блока можно пренебречь. Коэффициент трения между ящиком и полом μ .



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

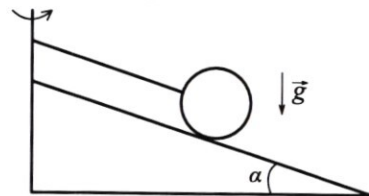
2) С какой минимальной постоянной силой надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

3) 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 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 натяжения нити, если система покоится.

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

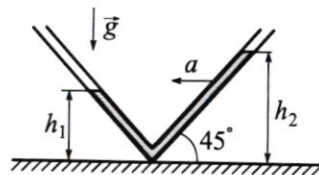


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении уровни масла в коленях трубки устанавливаются на высотах $h_1 = 8$ см и $h_2 = 12$ см.

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/с². Действие сил трения пренебрежимо мало.



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 95°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/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

Дано: Т.к. камень всё время приближался к

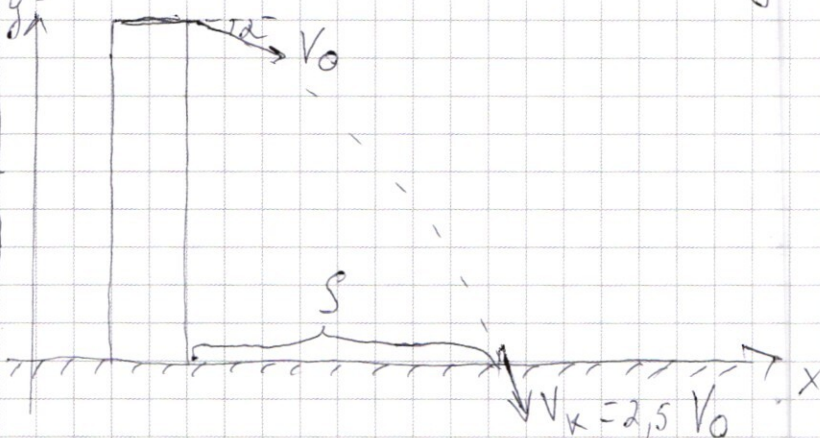
$$V_0 = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$V_k = 2,5 V_0$$

1) V_{yk} - ? 2) t - ?

3) S - ?



1) Т.к. V_x не меняется (по ОХ ускорение нет) $\Rightarrow$

$$\Rightarrow V_{0x} = V_{kx} = V_0 \cdot \cos \alpha$$

$$V_k = \sqrt{V_{yk}^2 + V_{kx}^2} \quad (\text{сложение векторов})$$

$$(2,5 V_0)^2 = V_{yk}^2 + V_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$V_{yk} = \sqrt{(2,5 V_0)^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

Подставляем известные значения:

$$V_{yk} = \sqrt{(2,5 \cdot 8 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 - (8 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 \cdot \cos^2 60^\circ} = \sqrt{400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 16 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \approx 19,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) Изменение скорости по оси y:

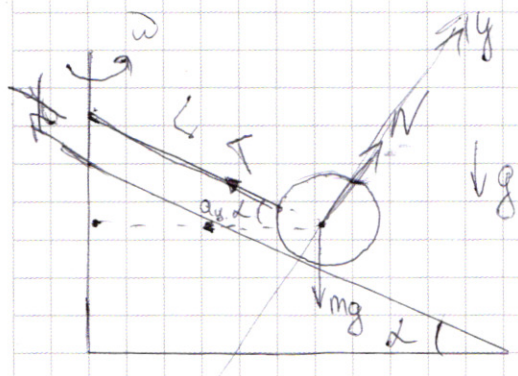
$$V_{yk} - V_{0y} = g t \Rightarrow t = \frac{V_{yk} - V_{0y}}{g} = \frac{V_{yk} - V_0 \sin \alpha}{g}$$

$$t = \frac{19,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx \frac{19,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1,7}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{19,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 6,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 1,27 \text{ с}$$

3) Движение по ОХ (горизонтальное движение - равномерное): $S = V_{0x} \cdot \tau = V_0 \cdot \cos \alpha \cdot \tau$

$$S = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,27 \text{ с} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1,27 \text{ с} = 5,08 \text{ м} = 5,1 \text{ м}$$

Ответ: 1) $V_{\text{ук}} = 19,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 2) $\tau = 1,27 \text{ с}$ 3) $S = 5,1 \text{ м}$
N3



Дано: $R_{\text{шара}} = R$

$m_{\text{шара}} = m$

$L_{\text{нити}} = L$

$F_{\text{тр}} = 0$

Найти: 1) $T_{\text{покоя}}$ 2) $T_{\text{вращения}}$

Решение

1) Обозначим все силы, которые действуют на шар. Оси координат: ОХ совпадает с ~~нитью~~ метью; ОУ совпадает с N. Т.к. шар покоится:

$$OY: N - mg \cos \alpha = 0 \quad N = mg \cos \alpha$$

$$OX: T - mg \sin \alpha = 0 \quad T = mg \sin \alpha$$

2) Чтобы было удобнее работать представим шар в виде точечного тела: центр масс шара - его центр, тогда расстояние до точки крепления: $r = L + R$

Тогда радиус окружности, по которой вращается шар:

$$R' = r \cdot \cos \alpha = (L + R) \cdot \cos \alpha$$

В результате вращения на шар действует центростремительное ускорение: $a_y = \omega^2 \cdot R'$

Запишем второй закон Ньютона на направление a_y :

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T \cos \alpha - N \sin \alpha = m a_y \quad (mg \perp a_y \Rightarrow \text{проекция } mg \text{ на } a_y \text{ равна нулю})$$

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

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

Ответ: 1) $T = mg \sin \alpha$ 2) $T = m(g \sin \alpha + \omega^2 (L+R))$

Дано:

$$P = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$T = 95^\circ \text{C}$$

$$T = \text{const}$$

(насыщенный пар)
 $\rho_{\text{в}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
 $\mu = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$
 $\gamma = 4,7 \left(\frac{\text{В}}{\text{В}'} \right)$

1) $\frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{в}}}$ - ? 2) $\frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{в}}}$ - ?

Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \div V$$

$$P = \frac{\rho_{\text{пар}}}{\mu} RT$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{P \cdot \mu}{RT}$$

Подставляем известные значения:
(предварительно переводя их в единицы СИ)

$$\rho_{\text{п}} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 368 \text{ К}} = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для удобства посчитаем числа без единиц: $\frac{8,5 \cdot 10^4 \cdot 0,018}{8,31 \cdot 368} = \frac{85 \cdot 18}{8,31 \cdot 368} =$

$$= \frac{85 \cdot 9}{(1432 + 552 + 1,84)} = \frac{85 \cdot 9}{1984} = 0,5$$

p_B дано $1 \pm \frac{F}{S}$ в СИ равняется $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\frac{p_n}{p_B} = \frac{0,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 5 \cdot 10^{-4}$$

2) Уравнение Менделеева-Клапейрона для начальных и конечных условий: $\begin{cases} PV = \frac{m}{\mu} RT \\ PV' = \frac{m_{\text{пар}}}{\mu} RT \end{cases} \quad (P = \text{const}, T. \text{к. пог парцием насыщенным пар})$

$$\frac{V}{V'} = \frac{m}{m_{\text{пар}}} \Rightarrow \frac{m}{m_{\text{пар}}} = \gamma; \quad m = m_{\text{вода}} + m_{\text{пар}}$$

$$m_{\text{пар}} \cdot \gamma = m_{\text{вода}} + m_{\text{пар}} \Rightarrow m_{\text{пар}}(\gamma - 1) = m_{\text{вода}}$$

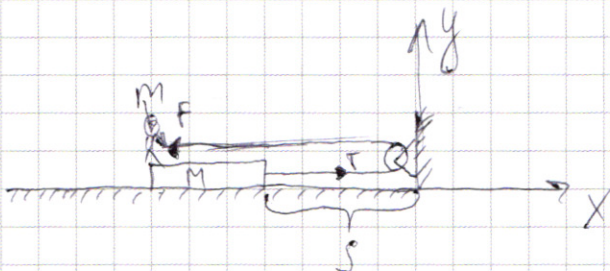
Запишем m через V :

$$p_n \cdot V_{\text{пар}} (\gamma - 1) = p_B \cdot V_{\text{вода}}$$

$$\frac{V_{\text{пар}}}{V_{\text{вода}}} = \frac{p_B}{p_n (\gamma - 1)} \quad , \quad \text{подставляем известное нам соотношение } \frac{p_n}{p_B} \text{ и } \gamma, \text{ получаем:}$$

$$\frac{V_{\text{пар}}}{V_{\text{вода}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-4} (4,7 - 1)} = \frac{2000}{3,7} \approx 54,5$$

Ответ: 1) $\frac{p_n}{p_B} = 5 \cdot 10^{-4}$ 2) $\frac{V_n}{V_B} = 54,5$
 $\sqrt{2}$



Дано: $M = 5 \text{ т}$

$\mu_{\text{шарик-стол}} = \mu$

Найти: 1) P - ? 2) $F_{\text{оп}}$ - ?

3) V_{max} - ? (при $F > F_{\text{оп}}$)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Решение

1) При движении будут действовать силы: тяжести, натяжения каната, трения. Для нахождения силы давления ящика на пол (P), необходимо учитывать только те силы, которые имеют проекцию на ось Y , а это только силы тяжести:

$$P = mg + Mg = mg + 5mg = 6mg$$

2) F_0 (минимальная сила) равна силе натяжения каната, для равномерного движения: $F_0 - F_{\text{тр}} = 0$

$$F_0 = F_{\text{тр}}; F_{\text{тр}} = \mu N, N = P \Rightarrow F_0 = \mu P = 6\mu mg$$

3) При $F > F_0$ у ящика появляется ускорение, запишем второй закон Ньютона в проекции на Ox :

$$F - F_{\text{тр}} = 5ma \quad (M=5m) \Rightarrow a = \frac{F - 6\mu mg}{5m}$$

Используем кинематическую формулу $\frac{V^2 - V_0^2}{2a} = S$

$$V_{\text{max}}^2 = 2S \frac{F - 6\mu mg}{5m} \quad (V_0 = 0, \text{ а } V_{\text{max}} \text{ достигается в конце})$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2S \frac{F - 6\mu mg}{5m}}$$

Ответ: 1) $P = 6mg$ 2) $F_0 = 6\mu mg$ 3) $V_{\text{max}} = \sqrt{2S \frac{F - 6\mu mg}{5m}}$

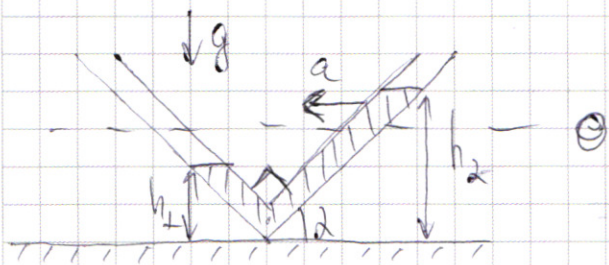
N 4

Дано: $\alpha = 45^\circ$

$h_1 = 8 \text{ см}$ $h_2 = 12 \text{ см}$

Найти: 1) a - ?

2) $V_{\max}$? (после $a=0$)



Решение

1) проектируем a и g на каждое колено и приравниваем силы действующие на его мур:

$$\frac{h_1}{\sin \alpha} \cdot \cancel{S \cdot \rho} (g \cdot \cos \alpha - a \sin \alpha) = \frac{h_2}{\sin \alpha} \cdot \cancel{S \cdot \rho} (g \cos \alpha + a \sin \alpha)$$

Учитывая, что $\alpha = 45^\circ$

$$h_1 (g - a) = h_2 (g + a)$$

Решая получаем $a = 0,2g$ $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

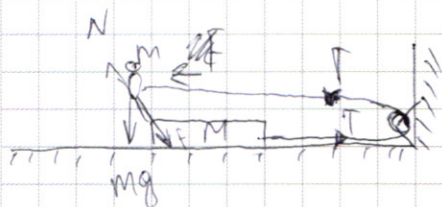
2) $V_{\max}$ будет когда жидкости сравняются на оси O :

$$\cancel{mg} \frac{h_2 - h_1}{2} = \frac{m V_{\max}^2}{2}$$

(центр масс лишнего куска)

$$V_{\max} = \sqrt{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,04 \text{ м}} =$$

$$= \sqrt{0,4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} \approx 0,65 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



$$F_{TP} = 6 \mu mg$$

$$M = 5m$$

$$F = F_{TP}$$

$$\rho S (h_2 - h_1) \sin \alpha \frac{F - F_{TP}}{5m}$$

$$V = \sqrt{0.5 \cdot \frac{F - F_{TP}}{5m}}$$

$$\rho h_1 \sin \alpha \frac{1}{2} \rho h_1 (g - a) = \frac{1}{2} \rho h_2 (g + a)$$

$$m, R; \alpha$$

$$F = L + R$$

$$R' = (L + R) \cdot \cos \alpha$$

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

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

$$\sqrt{4}$$

$$\rho \frac{g(h_1 h_2)}{\sin \alpha}$$

$$h_1 = 8 \text{ cm}$$

$$h_2 = 12 \text{ cm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\rho h_1 (g - a) = \rho h_2 (g + a)$$

$$0,08g - 0,08a = 0,12g + 0,12a$$

$$0,08g - 0,08a =$$

$$\rho S \cdot h_1 = 0,12g + 0,12a \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{h_2}{h_1}$$

$$a = \frac{0,04g}{0,2} = 0,2g = 2 \frac{m}{s^2}$$

$$\begin{array}{r} \cdot 184 \\ \times 8 \\ \hline 1472 \end{array}$$

$$\frac{\rho S h_1}{\sin \alpha} \cdot (g \cos \alpha - a \sin \alpha) = \frac{\rho S h_2}{\sin \alpha} (g \cos \alpha + a \sin \alpha)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$V_0 = 8 \cdot \frac{m}{e} = 1, \quad \alpha = 60^\circ$

$\frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = H_{\max}$
 $H_{\max} = \frac{16 \cdot \frac{3}{4}}{20} = 0,6 \text{ м}$
 $20,6 \text{ м}$

$V_k = 2,5 V_0$

$mgh = \frac{m (20 \frac{m}{e})^2}{2}$

$h \cdot 20 \frac{m}{e^2} = \frac{400 \frac{m^2}{e^2}}{\sqrt{2}}$

$h = 20 \text{ м}$

$V_{ky} = V_0 \sin \alpha + g t;$
 $\frac{g t^2}{2} + V_0 \sin \alpha t = h;$

$5 t^2 + \frac{\sqrt{3}}{2} t - 20 = 0$

$\frac{3}{4} + 400 \quad 10 t^2 + \sqrt{3}$

$5 t^2 + 4\sqrt{3} t - 20 = 0$

$t = 2 = 48 + 400 = 448$

$t = \frac{-4\sqrt{3} \pm 2}{10}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$P_H = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \quad T = 35^\circ \text{C}$$

$$\frac{470000}{185} = \frac{89000}{37}$$

$$P_H =$$

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad \Rightarrow \quad V = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{P}$$

$$\frac{94000}{185} = \frac{37}{254}$$

$$\frac{20000}{185} = \frac{37}{154}$$

$$\rho = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 368 \text{ К}}$$

$$0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$= \frac{85 \cdot 18}{3060} = \frac{2 \cdot 85}{340} = \frac{2 \cdot 17}{68} = \frac{1}{2}$$

$$= 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$8 \cdot 368 = 2400 + 480 + 64 = 2880 + 64 = 2944$$

$$+ 0,3 \cdot 368 = 0,1(900 + 180 + 24) = 112,4$$

$$+ 0,01 \cdot 368 = 3,68$$

$$\frac{2944}{116,08} = \frac{3060,8}{3060,8}$$

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT$$

$$P_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu} RT$$

$$\frac{3060}{27} = \frac{340}{30} = \frac{68}{40} = \frac{17}{10}$$

$$m = 4,7 \text{ м}^2$$

$$4,7 \text{ м}^2 = m_2 + m_3 \Rightarrow m_3 =$$

$$\frac{m}{m_2} = \frac{4,7}{3,7} = 1,27$$

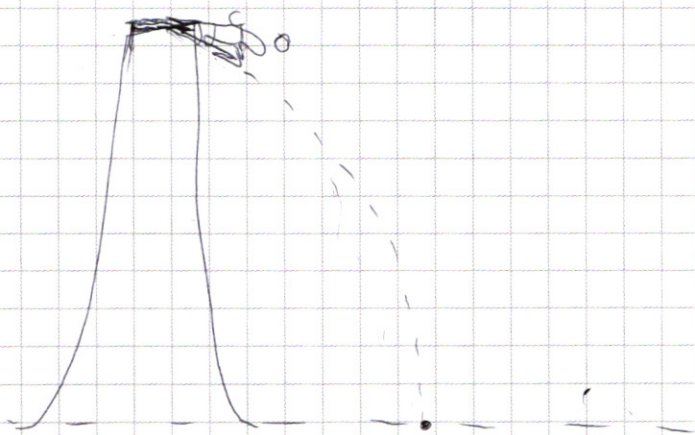
$$2 = \frac{4,7}{0,5} \cdot \frac{1000}{3,7 \text{ м}^2} = \frac{4700}{1,85}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} = 8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 4,77$$

$$8,5 \cdot 4 = 34$$

$$8,5 \cdot 0,7 = 5,95$$

$$39,95 \approx 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$$



$$\alpha = 60^\circ$$

$$V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha$$

$$V_{0x} = V_0 \cos \alpha$$

$$8 \cdot 2,5 = 20$$

$$400 - 64 = 336$$

$$\sqrt{336}$$

$$mgh + \frac{mV_0^2}{2} = m \cdot \frac{(2,5V_0)^2}{2}$$

$$2gh + V_0^2 = 6,25V_0^2$$

$$h = \frac{5,25V_0^2}{2g}$$

$$h = 16,8 \text{ м}$$

$$\frac{g}{2} t^2 + V_0 \sin \alpha \cdot t = h$$

$$V_0 \sin \alpha + gt$$

$$5t^2 + 4\sqrt{3}t - 16,8 = 0$$

$$25t^2 + 20\sqrt{3}t - 84 = 0$$

$$1,7 ; 1,4$$

~~19~~

$$D = 4200 + 8400 = 9600 = 10096 = 100 \cdot 96 = 100 \cdot 24 \cdot 4 = 100 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 6$$

$$19,5 \cdot 19,5 = 380,25$$

$$19^2 + 19 + 0,25$$

$$(V_0 \sin \alpha + gt)^2 +$$

$$\begin{array}{r} 19 \\ \times 19 \\ \hline 171 \\ + 19 \\ \hline 361 \end{array}$$

$$t_{1,2} = \frac{-20\sqrt{3} \pm 40\sqrt{6}}{50}$$

$$\sqrt{V_y^2 + V_0^2 \cos^2 \alpha} = 2,5V_0$$

$$V_y^2 + V_0^2 \cos^2 \alpha = 400$$

$$V_y = \sqrt{400 - 16}$$

$$V_0 \sin \alpha + gt =$$