

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

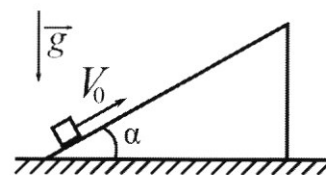
Шифр

(заполняется секретарем)

1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва  $K = 1800 \text{ Дж}$ . На землю осколки падают в течение  $\tau = 10 \text{ с}$ .

- 1) На какой высоте  $H$  взорвался фейерверк?
  - 2) В течение какого промежутка времени  $\tau$  осколки будут падать на землю?
- Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол  $\alpha$  такой, что  $\cos \alpha = 0,6$ . Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость  $V_0$  (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту



$H = 0,2 \text{ м}$ . Масса клина в два раза больше массы шайбы. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

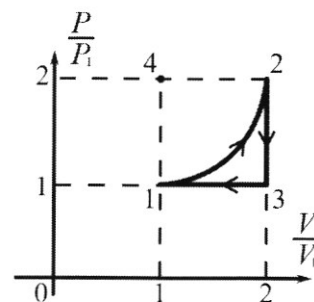
- 1) Найдите начальную скорость  $V_0$  шайбы.
- 2) Найдите скорость  $V$  клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

- 1) Найдите ускорение  $a$  модели.
- 2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление  $P_1$  и объём  $V_1$ .

- 1) Какое количество  $Q$  теплоты подведено к газу в процессе расширения?
- 2) Найдите работу  $A$  газа за цикл.
- 3) Найдите КПД  $\eta$  цикла.



5. Заряд  $Q > 0$  однородно распределен по сфере радиуса  $R$ . В первом опыте на расстоянии  $3R$  от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом  $q > 0$ .

- 1) Найдите силу  $F_1$ , действующую на заряженный шарик.
- Во втором опыте заряд  $q$  однородно распределяют по стержню длины  $R$ , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии  $3R$  от центра.
- 2) Найдите силу  $F_2$ , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Явлениями поляризации пренебрегите.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$T = 3 \text{ с}$$

$$K = 18000 \text{ Дж}$$

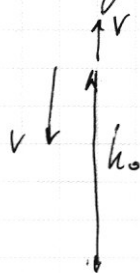
$$\tau = 10 \text{ с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Найдём сколько какая скорость будет у  
осколков ~~в~~ ~~верхней~~ сразу после разрыва.

$$\frac{mv^2}{2} = K \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 18000}{5}} = \sqrt{7200} = 84.85 \text{ м/с}$$

Пусть осколки вылетят на высоту  $h_0$ .



$$\begin{cases} vt_1 + \frac{gt_1^2}{2} = h_0 \\ \frac{gt_2^2}{2} - vt_2 = h_0 \\ t_1 + \tau = t_2 \end{cases}$$

$$vt_1 + \frac{gt_1^2}{2} = \frac{g(t_1 + \tau)^2}{2} - vt_1 - v\tau$$

$$vt_1 + \frac{gt_1^2}{2} = \frac{gt_1^2}{2} + gt_1\tau + \frac{g\tau^2}{2} - vt_1 - v\tau$$

$$2vt_1 + v\tau = gt_1\tau + \frac{g\tau^2}{2}$$

$$2vt_1 - gt_1\tau = \frac{g\tau^2}{2} - v\tau$$

$$t_1 = \frac{\frac{g\tau^2}{2} - v\tau}{2v - g\tau}$$

$$= \frac{10 \cdot 10^2}{2} - 60 \cdot 10$$

$$2 \cdot 60 - 10 \cdot 10$$

$$= \frac{500 - 600}{120 - 100} = 5 \text{ с}$$

Из условия ясно, что переверк в максимальной точке через  $t = 3 \text{ сек.}$  после взлета.

$$\text{Тогда } v_0 = g \cdot t \Rightarrow v_0 = 30 \text{ м/с.}$$

$$\Downarrow \\ h_0 = v_0 t - \frac{g t^2}{2} = 45 \text{ м.}$$

Как мы уже знаем  $v_0 = 60 \text{ м/с.}$

Тогда

$$h_0 = v_0 t_1 + \frac{g t_1^2}{2} \quad (\text{Первый, достигший земли осколок летел вниз})$$

$$\Downarrow \\ t_1 = \frac{-60 \pm \sqrt{3600 + 4 \cdot 45 \cdot 5}}{2 \cdot 5} = \frac{-60 \pm \sqrt{3600 + 900}}{10} = \frac{-60 \pm \sqrt{4500}}{10}$$

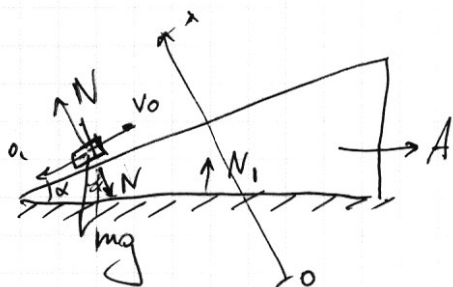
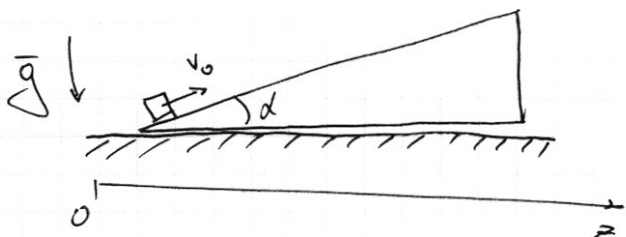
$$\text{Ответ: } t_1 = \sqrt{45} - 6 \text{ сек.}$$

$$t_1 > 0 \Rightarrow t_1 = \sqrt{45} - 6 \text{ с.}$$

~~+ заметим, что условие некорректно т.к. при данной высоте скорости осколков ( $v_0 = 60 \text{ м/с}$ ) сразу только в точку взрыва вернется через  $1 \text{ с}$ , и значит "задержка" с самолета никак не будет  $1 \text{ с}$ , хотя в зад. написано  $1 \text{ с}$ .~~

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

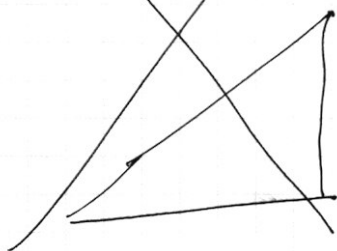
N2



$$Ox: mg \cdot \cos \alpha = N$$

Найдём ускор. клина:  $N \sin \alpha = M A$

~~$mg \cos \alpha \cdot \sin \alpha = M A$~~   
Периодим в СО клина.



$$F_{тр} = 0$$

$$\cos \alpha = 0,8$$

$$H = 0,2 \text{ м}$$

$$M_{кл} = 2 \text{ т}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_0 = ? ; v = ?$$

$$M_{кл} = M_{ш}$$



Напишем ЗСЭ:

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{M v_k^2}{2} + \frac{m v_k^2}{2} + mgh$$

Запишем ЗСУ:

$$Oz: m v_0 \cos \alpha = (M + m) \cdot v_k$$

~~$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{M v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + \frac{m v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + mgh$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + gh \Rightarrow \frac{v_0^2}{2} + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} = gh$$~~

$$v_k = \frac{m v_0 \cos \alpha}{(2m + m)} = \frac{v_0 \cos \alpha}{3} = 0,2 v_0$$

$$\frac{V_0^2}{2} - \frac{1}{3} V_0^2 \cos^2 \alpha = gh \quad N2$$

$$3V_0^2 - 2V_0^2 \cos^2 \alpha = 6gh$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{6gh}{3 - 2\cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2 \text{ м/с}}{3 - 2 \cdot 0,6 \cdot 0,6}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2 \text{ м/с}}{3 - 2 \cdot 0,36}}$$

$$= \sqrt{\frac{12}{3 - 0,72}} \text{ м/с} = \sqrt{\frac{12}{2,28}} \text{ м/с} = \sqrt{\frac{100}{19}} \text{ м/с} = \frac{10}{\sqrt{19}} \text{ м/с}$$

Ответ:  ~~$\sqrt{\frac{12}{2,28}}$~~   $\frac{10}{\sqrt{19}} \text{ м/с}$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{(M+m)V_k^2}{2} + mgh \quad ; V_k = 0,2V_0$$

$$3V_0^2 = 3 \cdot 0,04V_0^2 + 2gh$$

$$V_0^2(1 - 0,12) = 2gh$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - 0,12}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2}{0,88}} = \sqrt{\frac{11}{0,22}} = \frac{5}{\sqrt{11}} \sqrt{22} \text{ м/с}$$

Ответ:  $\frac{5}{\sqrt{11}} \sqrt{22} \text{ м/с}$

8)

Найдем  $V_0$ :

$M = m$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{MV_0^2}{2} &= \frac{MV_k^2}{2} + \frac{mV_k^2}{2} + mgh \\ mV_0 \cos \alpha &= (M+m)V_k \end{aligned} \right. \quad M = m$$

$$V_k = V_0 \cdot \frac{0,6}{2} = 0,3V_0$$

$$mV_0^2 = 2mV_k^2 + mgh$$

$$V_0^2 - 2 \cdot 0,09V_0^2 = 2gh$$

$$V_0^2(1 - 0,18) = 2gh$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gh}{0,82}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2

Пленеръ напишем  $V_0$

$$\begin{cases} \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} \\ mV_0 \cos \alpha = mV_1 - mV_2 \cos \alpha \end{cases}$$

$$M = m$$

$$\begin{cases} \cancel{m} V_0^2 = \cancel{m} V_1^2 + \cancel{m} V_2^2 \\ V_0 \cos \alpha = V_1 - V_2 \cos \alpha \end{cases}$$

$V_1 - ?$

$$\begin{cases} V_0^2 = V_1^2 + V_2^2 \\ V_2 = \frac{V_1 - V_0 \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{V_1}{0,6} - V_0 \end{cases}$$

$$V_0^2 = V_1^2 + \left( \frac{V_1}{0,6} - V_0 \right)^2$$

$$V_0^2 = V_1^2 + \frac{V_1^2}{0,36} - \frac{2V_1V_0}{0,6} + V_0^2$$

$$\frac{V_1^2 + V_1^2}{0,36} = \frac{2V_1V_0}{0,6} \quad \left. \begin{array}{l} V_1 \neq 0 \\ (\text{т.к. трение не}) \end{array} \right\}$$

$$V_1 + \frac{V_1}{0,36} = \frac{2V_0}{0,6}$$

$$0,36V_1 + V_1 = 2V_0 \cdot 0,6 = 1,2V_0$$

$$V_1 = \frac{1,2V_0}{1,36} = \frac{1,2}{1,36} \cdot \sqrt{\frac{20 \text{ к}}{0,82}}$$

Ответ:  $V_1 = \frac{1,2}{1,36} \cdot \sqrt{\frac{4}{0,82}} \text{ м/с}$



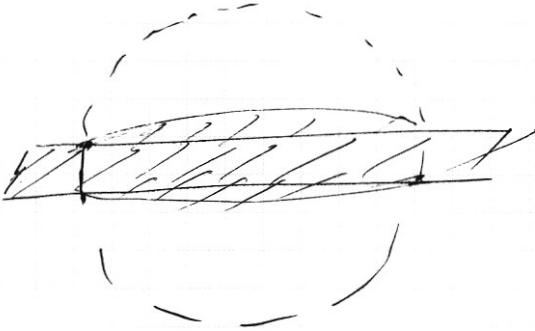
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

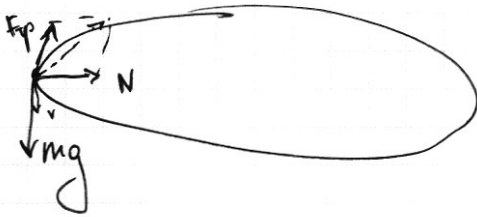


$$F = 2mg \quad a = ?$$

$$v_{\min} = ? \quad \mu = 0,8 \quad g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$d = 45^\circ \quad R = 5 \text{ м}$$

1)



Если машинка движется равномерно, это означает, что сила

вектор ускорения перпендикулярен вектору скорости.

(никакая проекция ~~на~~ (никакая проекция нулевая).

Заметим, что если автомобиль движется в горизонт. плоскости то ускорение проекция ускорения на вертик. ось должна быть нулевой, а значит проекция ускорения тоже должна быть нулевой.

$$F = \sqrt{N^2 + F_{TP}^2}$$

$$\begin{cases} F_{TP} = mg \\ F = 2mg \end{cases} \text{ (м.к } \vec{F}_{TP} \perp \vec{N} \text{ и } \vec{F}_{TP} \perp \vec{v} \text{, и в верт. плоск. } \vec{a} = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0)$$

3-й Ньютон.

$$m\vec{a} = \vec{N} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{N}}{m}; |\vec{a}| = \frac{\sqrt{3}mg}{m} = \sqrt{3}g$$

$$4m^2g^2 = N^2 + m^2g^2$$

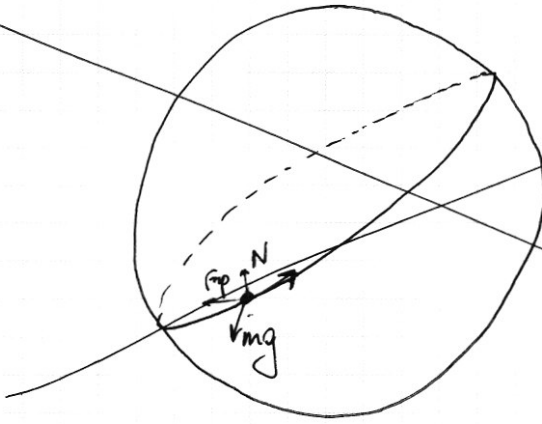
$$3m^2g^2 = N^2 \Rightarrow N = \sqrt{3}mg$$

Ответ:  $a = \sqrt{3}g = 17,3 \text{ м/с}^2$



2)

$v_{min} = ?$



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

~~.....~~

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N4

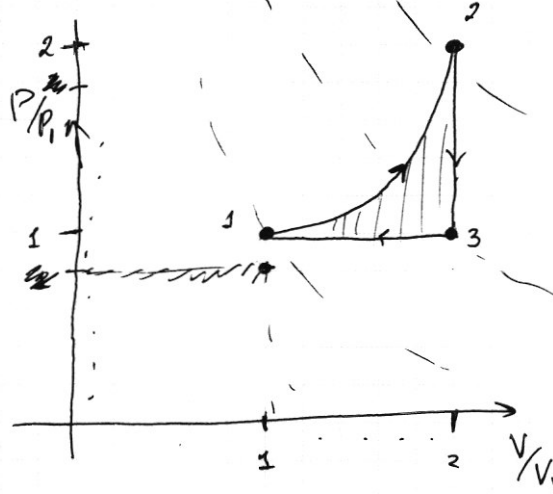
$$Q = 1 \text{ моль} \quad i = 3$$

$$P_1 \cdot V_1$$

Q-?

A-?

γ-?



$$S_{кр} = \pi \cdot P_1 \cdot V_1$$

Рассмотрим участок 1 2.

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \cdot 2P_1 \cdot 2V_1 - \frac{3}{2} P_1 V_1 = \frac{3}{2} P_1 V_1 \cdot 3 = \frac{9}{2} P_1 V_1 = 4,5 P_1 V_1$$

$$A_{12} = P_1 V_1 + P_1 V_1 - \frac{1}{4} \pi P_1 V_1 = (2 - \frac{\pi}{4}) P_1 V_1$$

(площадь)

↑ кат. термод.

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 6,5 P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1$$

Рассмотрим участок 2 3.

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} P_1 \cdot 2V_1 - \frac{3}{2} \cdot 4 P_1 V_1 = -3 P_1 V_1 \quad ; A_{23} = 0$$

$$Q_{23} = -3 P_1 V_1$$

Рассмотрим участок 3 1.

$$A_{31} = -P_1 V_1 \quad \Delta U_{31} = \frac{3}{2} P_1 V_1 - \frac{3}{2} P_1 \cdot 2V_1 = -\frac{3}{2} P_1 V_1$$

$$Q = A_{31} + \Delta U_{31} = -2,5 P_1 V_1$$

Значит,  $Q_0 = Q_{12} = 6,5 P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1$

$$A_2 = P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1 = (1 - \frac{\pi}{4}) P_1 V_1$$

$$\eta = \frac{A_2}{Q} = \frac{1 - \frac{\pi}{4}}{6,5 - \frac{\pi}{4}} \approx \frac{1 - \frac{3,14}{4}}{6,5 - \frac{3,14}{4}} \approx \frac{0,2}{6,5 - 0,8} = \frac{0,2}{5,7} \approx 3,2\%$$

$$3,14 = 0,8 \cdot 4$$

$$3,14 = 0,8 \cdot 4$$

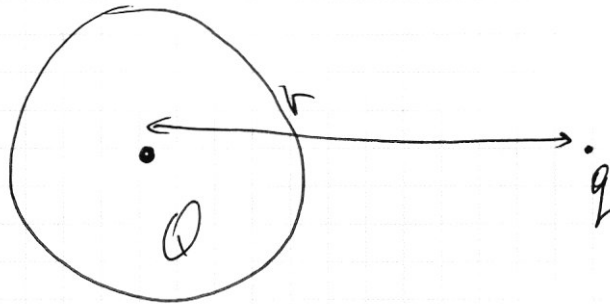
$$\frac{20,57}{1,132} \approx \frac{20,57}{1,132}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5  
R, 3R  
q > 0  
Q > 0  
F<sub>1</sub> - ?  
F<sub>2</sub> - ?  
k

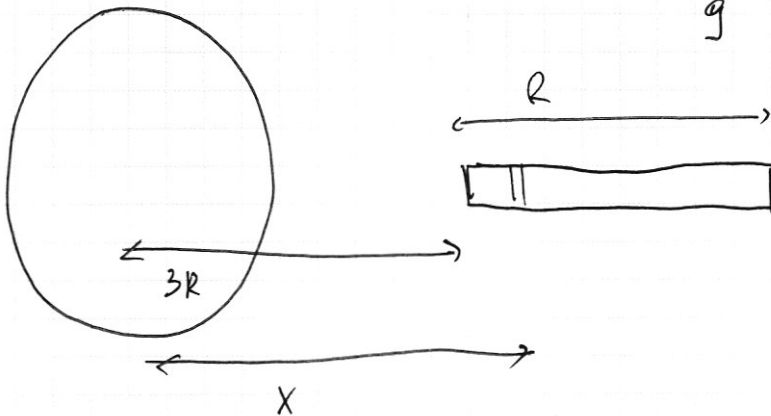
1) Шар можно заменить точкой:



$$r = 3R$$

$$F = \frac{kQq}{r^2} = \frac{kQq}{(3R)^2} = \frac{kQq}{9R^2}$$

2)



$$F_i = \frac{kQ \Delta q}{x^2}; \Delta q = a \cdot x; q = a \cdot R \Rightarrow a = \frac{q}{R}$$

$$F_0 = \int_{3R}^{4R} \frac{kQq}{R x^2} dx$$

$$= \frac{kQq}{R} \int_{3R}^{4R} \frac{1}{x^2} dx = \frac{kQq}{R} \left[ -\frac{1}{x} \right]_{3R}^{4R} = -\frac{kQq}{R} \left[ \frac{1}{4R} - \frac{1}{3R} \right] = \frac{kQq}{3R^2} - \frac{kQq}{4R^2} = \frac{kQq}{12R^2}$$

Ответ:  $\frac{kQq}{12R^2}$

N3

8)

$V_{\min} = ?$

$\alpha = 45^\circ$

$\mu = 0,8$

$R = 1\text{m}$

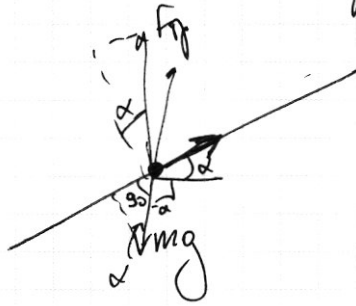
$g = 10\text{m/s}^2$

$$a_{\text{cent}} = \frac{v^2}{R}$$

$N = ma$  (спр. сил нес) в эту сторону

$$N = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N = \frac{v^2}{R} m \cdot \mu$$



$F_{\text{тр}} \cdot \sin \alpha \geq mg \cdot \sin \alpha$   
(чтобы не было уек. на ось с  $v$ )

$$F_{\text{тр}} \geq mg$$

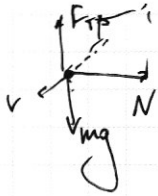
$$\frac{v^2}{R} \mu \geq g$$

$$v \geq \sqrt{\frac{gR}{\mu}}$$

$$\Rightarrow v_{\min} = \sqrt{\frac{10 \cdot 1}{0,8}} = \sqrt{\frac{100}{8}} = \frac{10}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{5\sqrt{2}}{2}$$

Ответ:  $\frac{5\sqrt{2}}{2}$

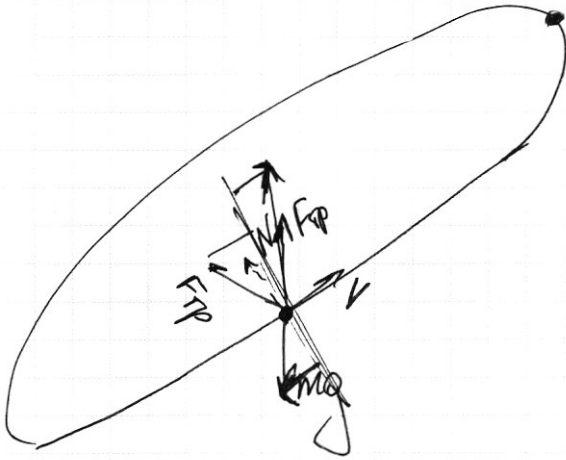
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$mg = F_{\text{сп}}$$

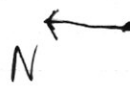
$$4mg = mg + N^2$$

$$N = \sqrt{3} mg$$



$$N + mg + F_{\text{сп}} + v$$

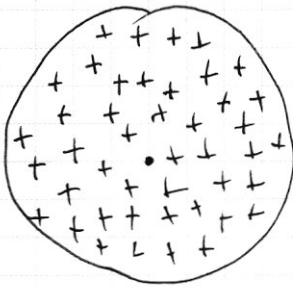
$$0 < \alpha < 45^\circ$$



$$a_{\text{ум}} = \frac{v^2}{R}$$

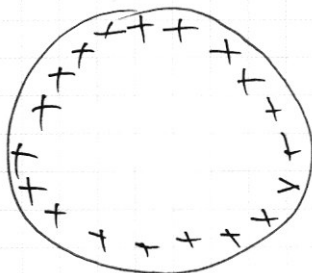
$$N = ma = \frac{mv^2}{R}$$

$$F =$$



$$2,28 = 1299$$

Q



$$\frac{2,28 \cdot 10^9}{108}$$

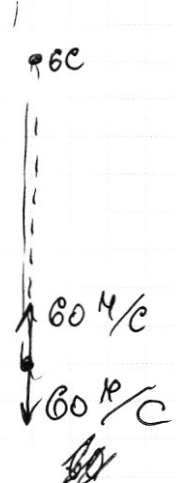
$$v_0^2 = \frac{4}{0,88} = \frac{4}{4 \cdot 0,22} = \frac{1}{0,22}$$

$$v_0^2 (1 - 0,12) = 4$$

$$v_0^2 = \frac{4}{0,88} = \frac{4 \cdot 0,22}{0,22} = \frac{1}{0,22}$$

$N_1$   
 $M$   
 $\nabla$   
 $R$

$r = 0$  с 1 по параллелю.  
 $t_1$  - время взрыва до 1.



$$vt_1 + gt_1^2 = \frac{gt_1^2}{2} + \frac{2gt_1 r}{2} + \frac{gr^2}{2} - vt_1 - vr$$

$$2vt_1 - gt_1 r = \frac{gr^2}{2} - vr$$

$$t_1 = \frac{\frac{gr^2}{2} - vr}{2v - gr}$$

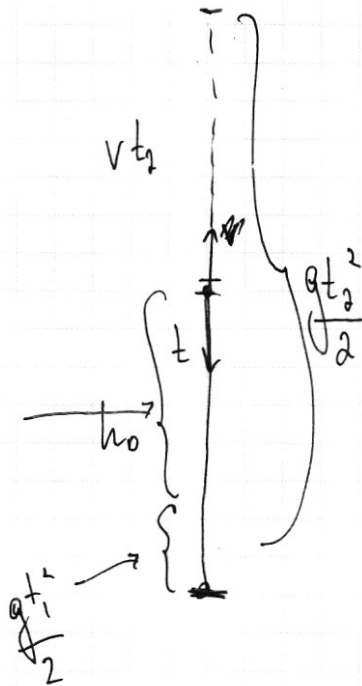
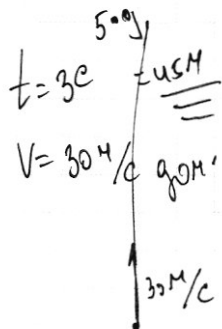
$$\frac{mv^2}{2} = 1800$$

$$v = 60 \text{ м/с}$$

$$h_0 = 60 \cdot 5 + \frac{10 \cdot 25}{2} =$$

$$= 300 + 5 \cdot 25 = 300 + 125 = 425 \text{ м.}$$

$$\frac{10 \cdot 5^2}{2} = 125$$



$$\begin{cases} \frac{gt_2^2}{2} - vt_2 = vt_1 + \frac{gt_1^2}{2} \\ t_1 + r = t_2 \end{cases}$$

$$4vt_1 - 2grt_1 = gr^2 - 2vr$$

$$t_1 = \frac{gr^2 - 2vr}{4v - 2gr} = \frac{10 \cdot 100 - 2 \cdot 60 \cdot 10}{4 \cdot 60 - 2 \cdot 10 \cdot 10} = \frac{1000 - 1200}{40} = \frac{-200}{40} = -5$$

$$\begin{aligned} g(t_1+r)^2 &= 2vt_1 + 2v(t_1+r) + gt_1^2 \\ gt_1^2 + gt_1 r \cdot 2 + gr^2 &= 4vt_1 + 2vr + gt_1^2 \\ 2gt_1 r + gr^2 &= 4vt_1 + 2vr \end{aligned}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{mv^2}{2} = K$$

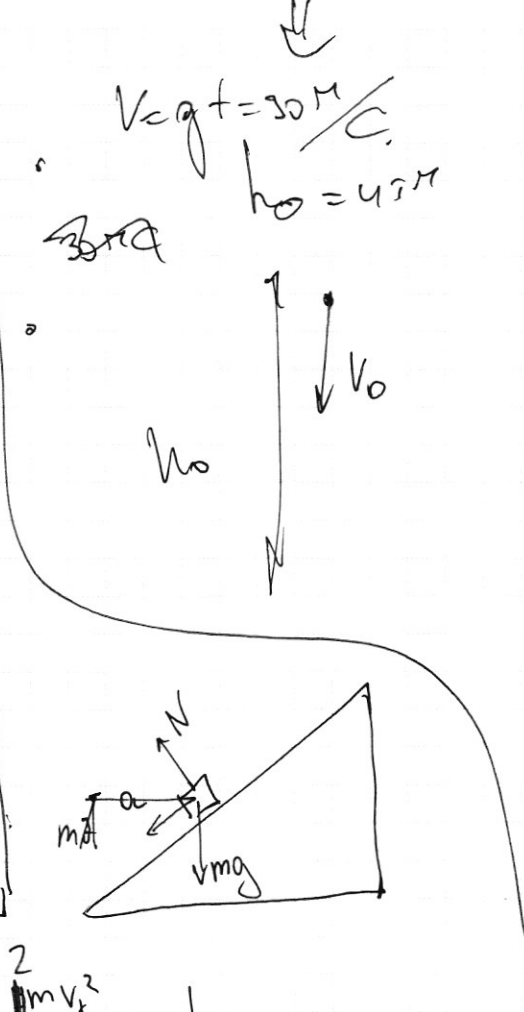
$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{3600}{1}} = 60 \text{ м/с}$$

$t = 3 \text{ с}$   $\downarrow$  — МАКС

$v = gt = 30 \text{ м/с}$

$h_0 = 45 \text{ м}$

~~30 м~~



$$45 = 60 \cdot x + 5x^2$$

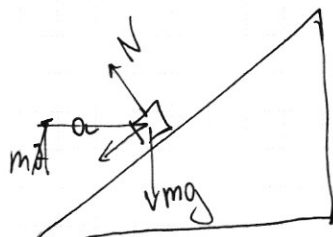
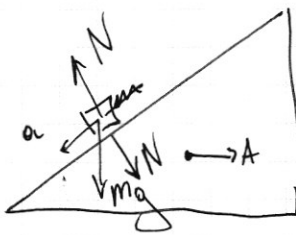
$$5x^2 + 60x - 45 = 0$$

$$x^2 + 12x - 9 = 0$$

$$x = \frac{-12 \pm \sqrt{144 + 4 \cdot 9 \cdot 1}}{2}$$

$$= \frac{-12 \pm \sqrt{180}}{2}$$

$$= \frac{-6 \pm \sqrt{45}}{1}$$



$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{2}{2} \frac{mv_2^2}{2} + mgh$$

$$m \cdot 0,6^2 = (m + m) \cdot v_k$$

$$v_0 \cdot 0,3 = v_k$$

$$v_0^2 = 2 \cdot \frac{m}{2} \cdot (0,3)^2 v_0^2 + 2 \cdot 10 \cdot 0,2$$

$$0,36 v_0^2 = 0,36 v_0^2 + 4$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{4}{0,8}} = 2,24 \text{ м/с}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{mv_0^2}{2} &= \frac{mV_1^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} \\ mV_0 \cos &= m \end{aligned} \right.$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)