

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

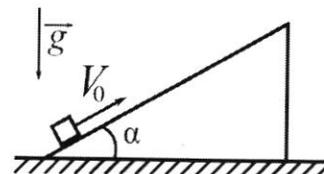
1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. 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 τ 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 α 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.

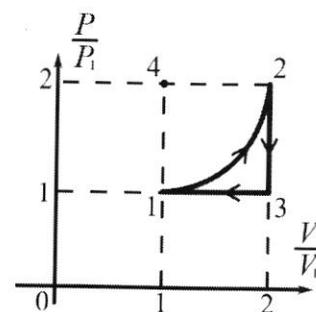
2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1 \text{ м}$. Ускорение свободного падения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

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 η 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 $q > 0$.

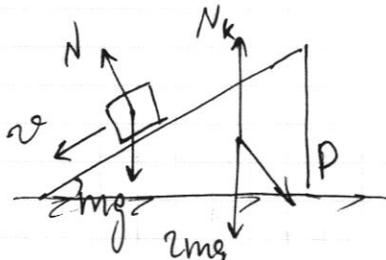
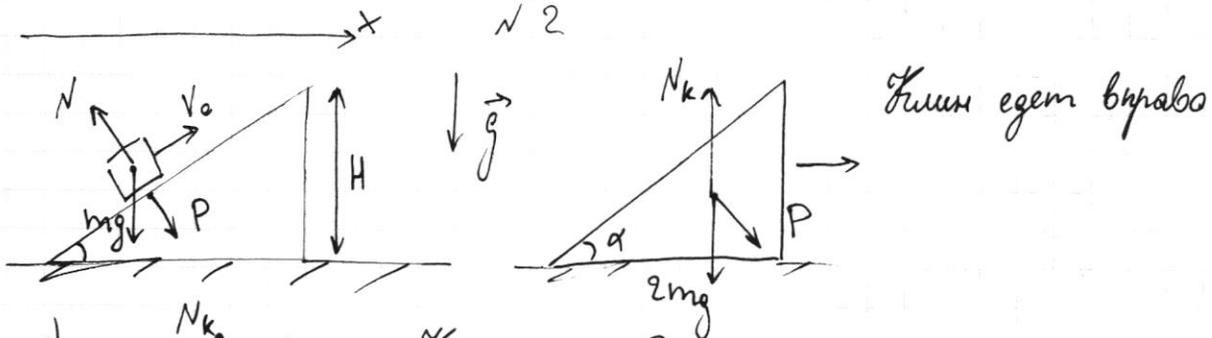
1) Найдите силу F_1 , действующую на заряженный шарик.

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



Когда шайба спускается клин тоже едет вправо. v - скорость шайбы при возвращ. отн. клина в точку старта, v_H - скор. клина

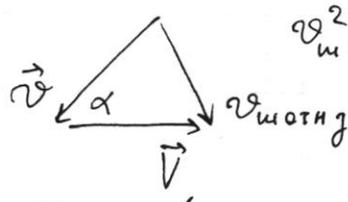
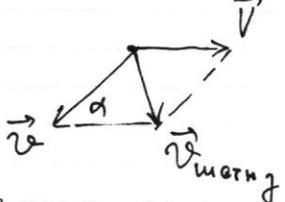
при подъёме шайбы на высоту H

① ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = 0 + \frac{2mv_H^2}{2} + mgH + \frac{mv_H^2}{2}$ (отн. Земли)

② ЗСИ: $mv_0 \cos \alpha = 2mv_H + mv_H$ (на Ox)

③ ЗСЭ: $mgH + \frac{2mv_H^2}{2} = \frac{mv_{шотнз}^2}{2} + \frac{2mV^2}{2}$

$\vec{v}_{шотнз} = \vec{v} + \vec{V}$



$v_{шотнз}^2 = v^2 + V^2 - 2vV \cos \alpha$

④ ЗСИ: $2mv_H = 2mV + m(V - v \cos \alpha)$

① и ②

$$\begin{cases} v_0^2 = 2v_H^2 + 2gH \\ v_0 \cos \alpha = 2v_H \end{cases} \quad v_H = \frac{v_0 \cos \alpha}{2}$$

$v_0^2 = 2 \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + 2gH$

$v_0^2 (1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2}) = 2gH$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gH}{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2}}} = \sqrt{\frac{4gH}{2 - \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10 \cdot 0,2}{2 - 0,36}} = \sqrt{2} \text{ (продолжение)}$$

1) ① и ②

$$\begin{cases} \frac{mV_0^2}{2} = \frac{3m\vartheta_H^2}{2} + mgH \\ mV_0 \cos \alpha = 3m\vartheta_H \end{cases}$$

$$V_0^2 = 3\vartheta_H^2 + 2gH$$

$$\vartheta_H = \frac{V_0 \cos \alpha}{3}$$

$$V_0^2 = \frac{3V_0^2 \cos^2 \alpha}{9} + 2gH$$

$$V_0^2 \left(1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}\right) = 2gH$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gH}{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}}} = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2}{3 - 0,36}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 20}{264}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 5}{66}} =$$

$$\approx \sqrt{\frac{50}{11}} \approx 5 \sqrt{0,1818} \approx 2,1 \text{ м/с}$$

2) $m_K = m_{ш} = m$ отн. Земли

$$\text{ЗСЧ: } mV_0 \cos \alpha = mV + m(V - \vartheta \cos \alpha) \quad (\text{по } OX)$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{m\vartheta_{ш \text{ отн. } K}^2}{2}$$

$$V_0 \cos \alpha = 2V - \vartheta \cos \alpha$$

$$V_0^2 = V^2 + \vartheta^2 + V^2 - 2\vartheta V \cos \alpha$$

$$\vartheta = \frac{2V - V_0 \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{2V}{\cos \alpha} - V_0$$

$$V_0^2 = 2V^2 + \left(\frac{2V - V_0 \cos \alpha}{\cos \alpha}\right)^2 - \frac{2V(2V - V_0 \cos \alpha)}{\cos \alpha} \cdot \cos \alpha$$

$$V_0^2 = 2V^2 + \frac{4V^2}{\cos^2 \alpha} - \frac{4VV_0}{\cos \alpha} + V_0^2 - 4V^2 + 2VV_0 \cos \alpha$$

$$V^2 \left(\frac{4}{\cos^2 \alpha} - 2\right) + V \left(2V_0 \cos \alpha - \frac{4V_0}{\cos \alpha}\right) = 0$$

$V=0$ - не подходит

$$V \left(\frac{4}{\cos^2 \alpha} - 2\right) + 2V_0 \cos \alpha - \frac{4V_0}{\cos \alpha} = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2 (продолжение)

$$v = \frac{v_0 \left(\frac{4}{\cos^2 \alpha} - 2 \cos \alpha \right)}{\frac{4}{\cos^2 \alpha} - 2} = \frac{v_0 (4 - 2 \cos^2 \alpha) \cos^2 \alpha}{(4 - 2 \cos^2 \alpha) \cos \alpha} = v_0 \cos \alpha = \sqrt{\frac{50}{11}} \cdot 0,6 =$$

$$\approx 12,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

№ 4

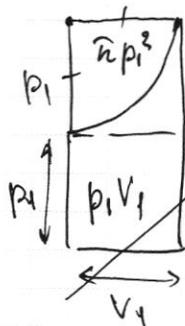
1) Процесс расширения происходит на дуге 1-2

$Q = \Delta U_{12} + A_{12}$, A_{12} - работа газа на уч. 12, ΔU_{12} - изменение внут. эн. на уч. 12

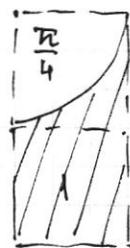
$$u_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} p_1 V_1 \quad u_2 = \frac{3}{2} \cdot 2 p_1 \cdot 2 V_1 = \frac{3}{2} \cdot 4 p_1 V_1$$

$$Q = \frac{3}{2} (4 p_1 V_1 - p_1 V_1) + A_{12} = \frac{3}{2} \cdot 3 p_1 V_1 + A_{12}$$

A_{12} - площадь под графиком 12



$p_1 = V_1$ по величине



$$s = 2 - \frac{\pi}{4}$$

$$A_{12} = \left(2 - \frac{\pi}{4} \right) p_1 V_1$$

$$Q = \frac{9}{2} p_1 V_1 + 2 p_1 V_1 - \frac{\pi}{4} p_1 V_1 = p_1 V_1 (4,5 + 2 - 0,785) = 5,715 p_1 V_1$$

2) Работа газа за цикл площадь фигуры 1231

$$A = \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) p_1 V_1 = 0,215 p_1 V_1$$

$$\eta = \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|} = \frac{|Q| - (|Q_{23}| + |Q_{31}|)}{|Q|}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} (2 p_1 V_1 - 4 p_1 V_1) = \frac{3}{2} \cdot (-2 p_1 V_1) = -3 p_1 V_1 \text{ (сжатие процесс)}$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} (p_1 V_1 - 2 p_1 V_1) = -\frac{3}{2} p_1 V_1$$

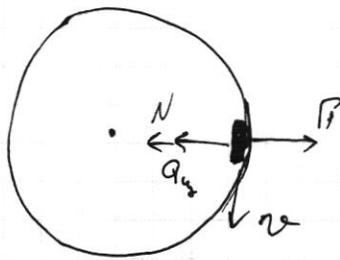
$$A_{31} = -p_1 V_1$$

$$Q_{31} = -\frac{3}{2} p_1 V_1 - p_1 V_1 = -2,5 p_1 V_1$$

$$\eta = \frac{5,415 p_1 V_1 - (2,5 p_1 V_1 + 3 p_1 V_1)}{5,415 p_1 V_1} = \frac{0,215}{5,415} \approx 3,97\%$$

N 3

1)

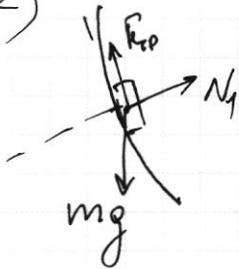


$$R = 2mg$$

по III г.н. $F = ma_y$ $N = F$ по II г.н. $N = ma_y$

$$2mg = ma_y \quad a_y = 2g$$

2)



$$ma_y = N_1 - mg \sin \alpha$$

$$\mu N_1 = mg \cos \alpha$$

$$a_y = \frac{v^2}{R} \quad v = \sqrt{R a_y}$$

$$N_1 = \frac{mg \cos \alpha}{\mu}$$

$$F_{TP} = \mu N_1 \quad (\text{скользящая})$$



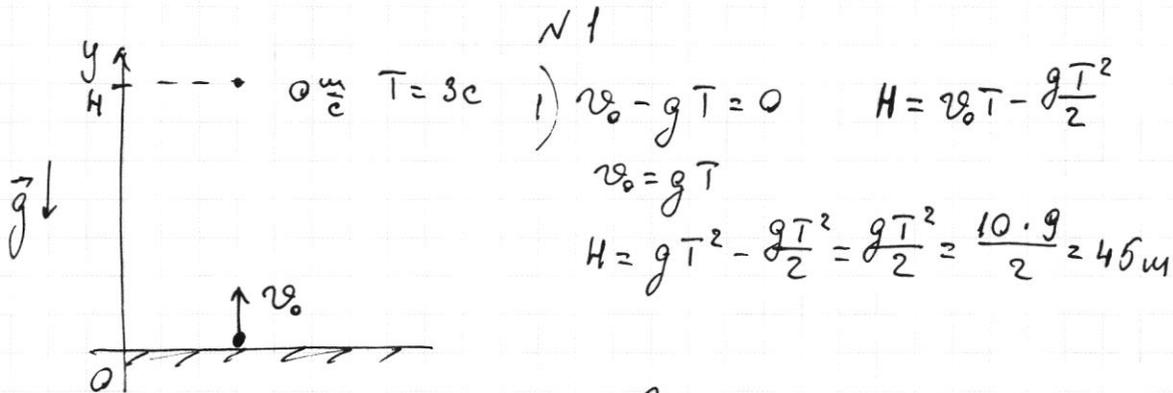
$$ma_y = N_2 + mg \sin 45$$

$$2ma_y = N_1 + N_2 \quad N_2 = 0$$

$$a_y = g \sin 45 = 10 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 5 \cdot 1,41$$

$$V_{\min} = \sqrt{1 \cdot 5 \cdot 1,41} \approx 2,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



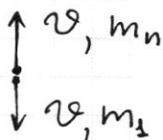
N 1

$$1) v_0 - gT = 0 \quad H = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

$$v_0 = gT$$

$$H = gT^2 - \frac{gT^2}{2} = \frac{gT^2}{2} = \frac{10 \cdot 9}{2} = 45 \text{ м}$$

2) Осколки падают в теч. $t = 10 \text{ с}$, т.е. последний осколок падает через z , последний осколок - это тот, у которого v вверху, где v - скорость каждого осколка после взрыва.



$$K = \frac{m_1 v^2}{2} + \dots + \frac{m_n v^2}{2} = \frac{N m v^2}{2}$$

~~N~~ ~~кас. во осколков~~ $v^2 = \frac{2K}{m}$

$$1) 0 = H - v z_1 - \frac{g z_1^2}{2}$$

$$\frac{m_1 v^2}{2} + m_1 g H = \frac{m_1 v_{k1}^2}{2}$$

$$2) 0 = H + v z - \frac{g z^2}{2}$$

$$\frac{m_n v^2}{2} + m_n g H = \frac{m_n v_k^2}{2} \quad (3 \text{ с э})$$

$$1. v^2 + 2gH = v_{k1}^2$$

$$-v - g z_1 = -v_{k1}$$

$$2. v^2 + 2gH = v_k^2$$

$$v_k = v_{k1}$$

$$v - g z = -v_k$$

$$-v - g z_1 = v - g z$$

$$g(z_1 - z) = -2v$$

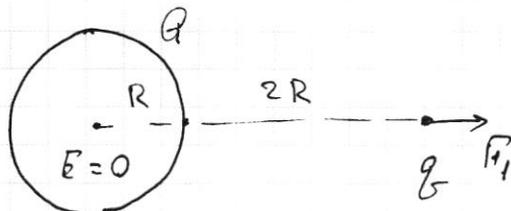
$$z - z_1 = \frac{2v}{g}$$

$$z_1 = \left| z - \frac{2\sqrt{\frac{2K}{m}}}{g} \right| = \left| 10 - \frac{2\sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}}}{10} \right| = \left| 10 - \frac{\sqrt{100 \cdot 4 \cdot 9}}{5} \right| = |10 - 12| = 2 \text{ с}$$

① и ②
 ~~$-qz_1 - \frac{qz_1^2}{2} =$~~

№ 5

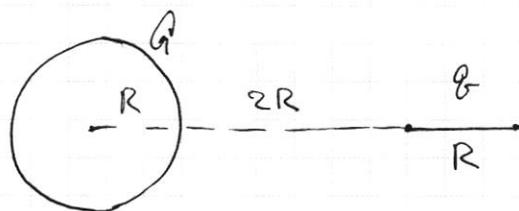
1)



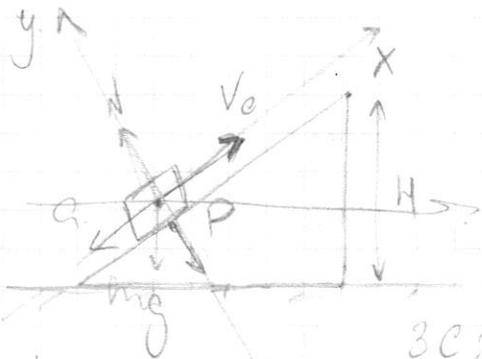
$$F_1 = E_1 q = \frac{kQ}{9R^2} q = \frac{kQq}{9R^2}$$

$$E = \begin{cases} 0, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases} \text{ для сферич}$$

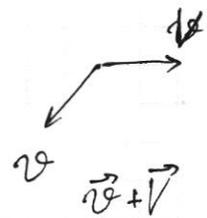
2)



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$M = 2m$
 $\cos \alpha = 0,6$
 $v_0, H = 0,2 \text{ м}$



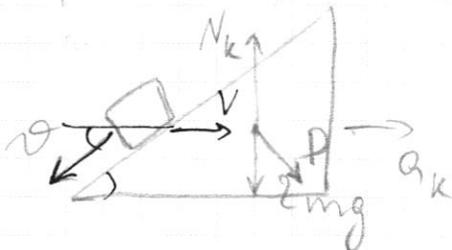
ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{2mv_H^2}{2}$

$v_0^2 = 2gh$

Усл. безтривности:

$a_y = a_{ук}$

$215 \overline{) 5415}$	43550
$\underline{00000}$	40005
21500	513
$\underline{00000}$	$\times 5415$
14145	7
$\underline{00000}$	40005
55	35450

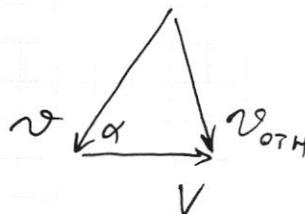
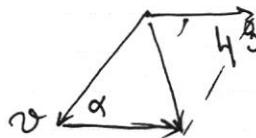


ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{2mv_H^2}{2}$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{2mV^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$

ЗСН: $mv_0 \cos \alpha = 2m v_{отн}$

$2m v_{отн} = -m v \cos \alpha + 2mV$



$\vec{v}_{отн} - \vec{v} = \vec{V}$

$v_{отн}^2 = v^2 + V^2 - 2vV \cos \alpha$

$\begin{matrix} 200 \\ - 236 \\ \hline 164 \end{matrix}$

$\frac{20}{164} = \frac{5}{41}$

$V - v \cos \alpha$

$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{p_1 V_1 (6,5 - \frac{5}{4}) - p_1 V_1}{Q_H}$

$\frac{215}{5415} = \frac{43}{1141}$

$\begin{matrix} 5415 \\ - 5415 \\ \hline 0,215 \end{matrix}$

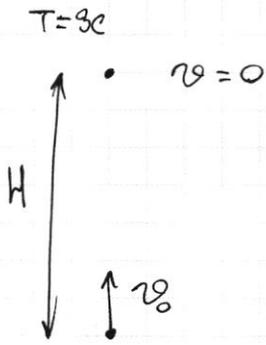
2,64

$\frac{20}{264} = \frac{5}{66}$

$\frac{60 \cdot 66}{5} =$

$= 12 \cdot 66 =$

$= 36 \cdot 22$



$$K = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + \dots + \frac{m_i v_i^2}{2} = \frac{N m v^2}{2}$$

$$v_0 - gT = 0$$

$$2K = N v^2$$

$$v_0 = gT$$

$$H = v_0 T - \frac{gT^2}{2} = gT^2 - \frac{gT^2}{2} = \frac{gT^2}{2}$$

~~$mgH + K$~~ $mgH = mgH + K$

$$K = \frac{N(m_1 + \dots + m_i) v^2}{2}$$

$$N v^2 = \frac{2K}{m}$$

$$y(t) = H + v_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

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

$$y(t) = H - v_0 t + \frac{g t^2}{2} = 0$$

$$v_0(t + t_1) = \frac{g}{2}(t^2 - t_1^2)$$

$$\frac{2v_0}{g} = t - t_1$$

$$mgh = \frac{m v^2}{2}$$

$$\eta = \frac{A_{\text{non}}}{A_g}$$

$$v - g t = v_k$$

$$-v - g t_1 = v_{k2}$$

$$K_{\text{носл}} = \frac{m_n v_k^2}{2} + m_n g H$$

$$\frac{m_n v_k^2}{2} + 2gH = v_k^2$$

$$Q = \Delta u + A \quad u_1 = \frac{3}{2} v_1 p_1 \quad u_2 = \frac{3}{2} 2v_1 \cdot 2p_1 = \frac{3}{2} \cdot 4v_1 p_1$$

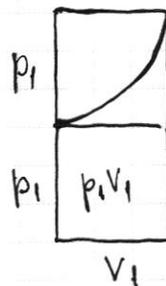
$$Q = \frac{3}{2} (4v_1 p_1 - v_1 p_1) +$$



$$\left(2 - \frac{\pi}{4}\right) \frac{p_1 \cdot V_1}{p_1 \cdot V_1}$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{p_1 \cdot V_1}$$

$$\frac{2p_1 \cdot V_1}{p_1 \cdot V_1} - \frac{\pi \left(\frac{p_1}{p_1}\right)^2}{4} = \frac{p_1}{p_1} \left(\frac{2V_1}{V_1} - \frac{\pi p_1}{4 p_1} \right)$$

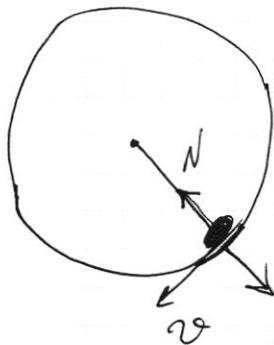


$$\frac{\pi p_1^2}{4}$$

$$\begin{array}{r} 314 \overline{) 4} \\ 31 \\ \underline{28} \\ 34 \\ \underline{32} \\ 20 \end{array}$$

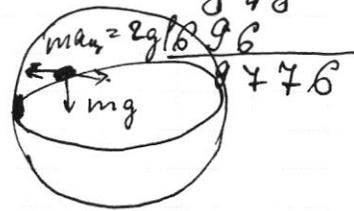
$$\begin{array}{r} 6,500 \\ - 0,785 \\ \hline 5,715 \\ 1,000 \\ - 0,785 \\ \hline 0,215 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4,500 \\ + 0,785 \\ \hline 5,285 \\ 1 \end{array}$$

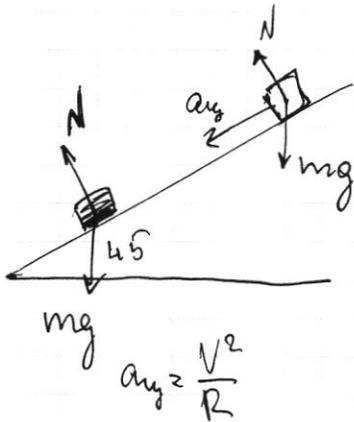


$$a_y = \frac{v^2}{R} = \frac{2mg}{m} = 2g$$

$$\begin{array}{r} \times 0,42 \\ 2,10 \\ \hline 2,10 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 0424 \\ \times 0424 \\ \hline 1696 \\ 848 \\ \hline 1776 \end{array}$$



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

$$v_{min} = \sqrt{R a_y}$$

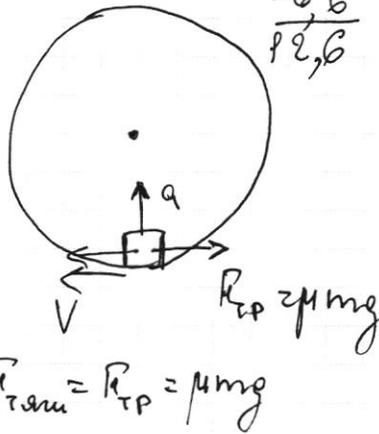
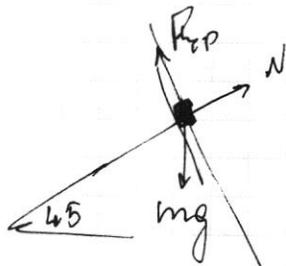
$$m a_y =$$

$$0,88 \sqrt{10}$$

$$m a_y = N - mg \sin 45$$

$$\frac{0,36}{3} = 0,12 \quad 1 - 0,12 = 0,88$$

$$\frac{2 \cdot 10 \cdot 0,2}{0,88}$$



$$R_{Там} = R_{TP} = 4mg$$

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ \times 0,6 \\ \hline 18,6 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 042 \\ 042 \\ \hline 84 \\ + 168 \\ \hline 0,1864 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 42 \\ \times 42 \\ \hline 84 \\ + 168 \\ \hline 1764 \end{array} \quad \begin{array}{r} 43 \\ \times 43 \\ \hline 129 \\ + 172 \\ \hline 1849 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 50 \overline{) 11} \\ \underline{44} \\ 60 \\ \underline{55} \\ 50 \\ \underline{44} \\ 6 \end{array}$$

$$\frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{11}}$$

$$\begin{array}{r} 2 \overline{) 11} \\ \underline{0} \\ \underline{20} \\ \underline{11} \\ 90 \\ \underline{88} \\ 20 \\ \underline{11} \\ 90 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 34 \\ 34 \\ \hline 136 \\ 102 \\ \hline 1156 \end{array}$$

$$\frac{20}{88} = \frac{5}{22}$$

$$\frac{50}{11} =$$

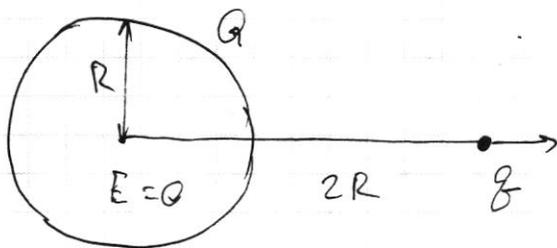
$$\frac{5 \cdot 10 \cdot 2}{22} = \frac{100}{22} = \frac{50}{11}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 35 \\ \hline 175 \\ 105 \\ \hline 1225 \end{array} \quad \begin{array}{r} 6 \\ \times 38 \\ \hline 304 \\ 114 \\ \hline 1444 \end{array} \quad 1818$$

$$5 \sqrt{0,1818} =$$

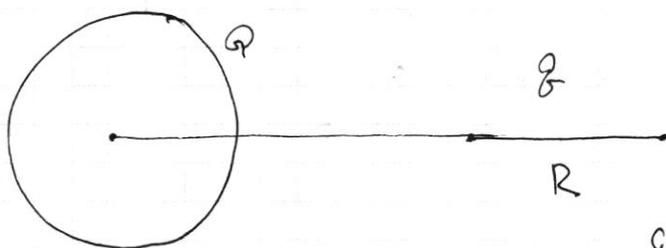
$$= 5$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$F = Eq$$

$$F = Eq = \frac{kQq}{9R^2}$$

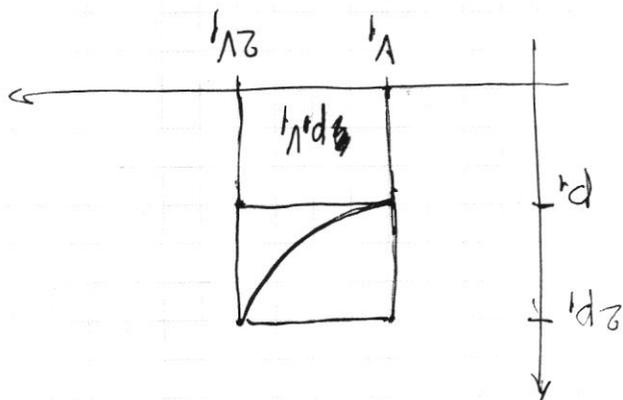
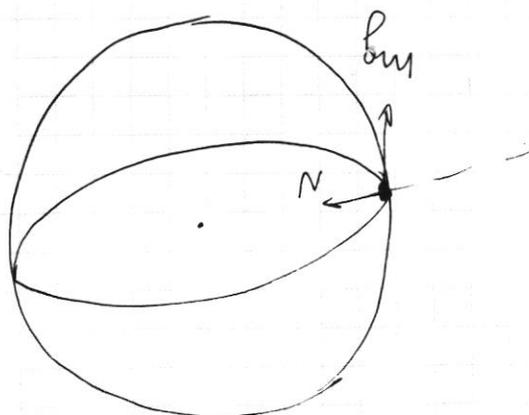


$$V_0 \cos \alpha = 2V - v \cos \alpha$$

$$v = V_0 \cos \alpha \quad v = \frac{2V - V_0 \cos \alpha}{\cos \alpha}$$

$$V_0^2 = 2V^2 + \left(\frac{2V - V_0 \cos \alpha}{\cos \alpha} \right)^2 - 2$$

$$\frac{2V}{2} = \frac{2V}{2}$$



$$D = \frac{N^4}{M} = \frac{N^4}{M}$$

$$p_1 = \frac{1}{3} \rho g h^2 = \frac{\rho g h^2}{3} = \frac{\rho g (2R)^2}{3} = \frac{4}{3} \rho g R^2$$

$$p_1 V_1 = 1 \cdot R T = \frac{2}{3} k T$$