

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

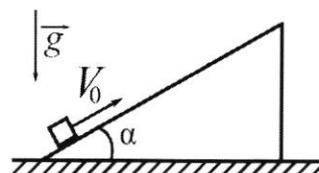
Шифр

(заполняется секретарем)

1. Фейерверк массой $m = 2$ кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва $H = 65$ м. На землю осколки падают в течение $\tau = 10$ с.

- 1) Найдите начальную скорость V_0 фейерверка.
- 2) Найдите суммарную кинетическую энергию K осколков сразу после взрыва. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают начальную скорость $V_0 = 2$ м/с (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



- 1) На какую максимальную высоту H над точкой старта поднимется шайба на клине?
- 2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

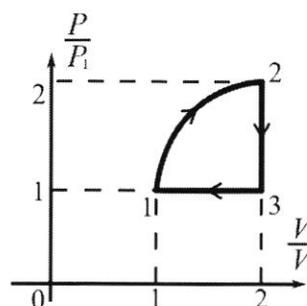
3. По внутренней поверхности проволочной металлической сферы радиуса $R = 1,2$ м равномерно со скоростью $V_0 = 3,7$ м/с движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Масса модели $m = 0,4$ кг. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

- 1) С какой по величине силой P модель действует на сферу?
- 2) Рассмотрим модель автомобиля равномерно движущуюся по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = \frac{\pi}{6}$. Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} такого равномерного движения. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,9$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна T_1 .

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

Универсальная газовая постоянная R .



5. Заряд $Q > 0$ однородно распределен по сфере радиуса R . В первом опыте на расстоянии $2R$ 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 $2R$ от центра.

- 2) Найдите силу F_2 , с которой заряд сферы действует на заряженный стержень.

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

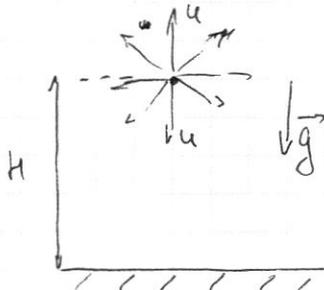
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

$m = 2 \text{ кг}$
$H = 65 \text{ м}$
$\tau = 10 \text{ с}$
$v_0 = ?$
$k = ?$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} = mgH \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65} =$$

$$= 10\sqrt{13} \approx \underline{36 \frac{\text{м}}{\text{с}}}$$



u - скорость осколков сразу после взрыва.
Рассмотрим 2 осколка, летящие
только вверх и только вниз.

(1): $ut_1 + \frac{gt_1^2}{2} = H$, t_1 - время полёта
осколка, летящего вниз.

(1) - (2):

$$u(t_1 + t_2) + \frac{g}{2}(t_1^2 - t_2^2) = 0$$

$$u(t_1 + t_2) + \frac{g}{2}(t_1 + t_2)(t_1 - t_2) = 0$$

$$(t_1 + t_2)(u + \frac{g}{2}\tau) = 0$$

$$t_1 + t_2 \neq 0 \Rightarrow u = \frac{g}{2}\tau; \quad k = \frac{mu^2}{2} = \frac{m \cdot \frac{g^2}{4}\tau^2}{2} = \frac{2 \cdot \frac{100}{4} \cdot 100}{2} =$$

$$= \underline{2500 \text{ Дж}}$$

Ответ: $v_0 = 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad k = 2500 \text{ Дж}$

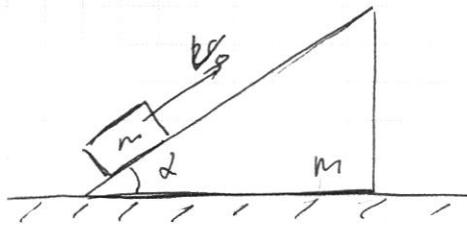
№2

$$\alpha = 30^\circ$$

$$V_0 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$H = ?$$

$$V = ?$$



m - масса шайбы

v' - скорость клина, когда шайба
качается на высоте H .

$$\text{ЗСЭ: } \frac{mV_0^2}{2} = mgH + \frac{2mv'^2}{2}$$

$$V_0^2 = 2gH + 2v'^2$$

$$\text{ЗСМ: } mV_0 \cos \alpha = 2mv' \Rightarrow v' = \frac{V_0 \cos \alpha}{2}$$

$$V_0^2 = 2gH + 2 \cdot \frac{V_0^2 \cos^2 \alpha}{4}$$

$$2V_0^2 = 4gH + V_0^2 \cos^2 \alpha \Rightarrow H = \frac{V_0^2(2 - \cos^2 \alpha)}{4g} = \frac{4 \cdot (2 - \frac{3}{4})}{4 \cdot 10}$$

$$= \underline{\underline{0,125 \text{ м}}}$$

$$\text{ЗСЭ: } mgH + \frac{2mv'^2}{2} = \frac{2mV^2}{2}$$

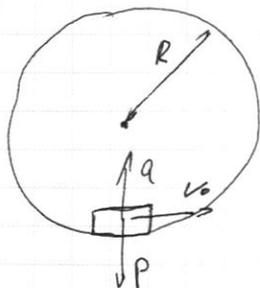
$$gH + v'^2 = V^2 \Rightarrow V = \sqrt{gH + \frac{V_0^2 \cos^2 \alpha}{4}}$$

$$= \sqrt{10 \cdot 0,125 + \frac{4 \cdot \frac{3}{4}}{4}} = \sqrt{2} \approx \underline{\underline{1,41 \frac{\text{м}}{\text{с}}}}$$

Ответ: $H = 0,125 \text{ м}$; $V = 1,41 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\pi}{6} \\ R &= 1,2 \text{ м} \\ V_0 &= 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ m &= 0,4 \text{ кг} \\ \mu &= 0,9 \\ P &=? \\ V_{\text{MIN}} &=? \end{aligned}$$



$\sqrt{3}$

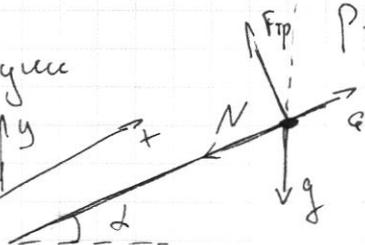
a - центростремительное ускорение
 ω - угловая скорость

$$\begin{cases} V_0 = \omega R \\ a = \omega^2 R \end{cases} \Rightarrow a = \frac{V_0^2}{R}$$

2-ой закон Ньютона: $P = ma$

$$P = m \cdot \frac{V_0^2}{R} = 0,4 \cdot \frac{3,7^2}{1,2} = \frac{13,69}{3} \approx \underline{\underline{4,5 \text{ Н}}}$$

N - сила реакции опоры



$F_{\text{тр}} = \mu N$; 2-ой закон Ньютона: ~~$N = ma = m \frac{V_{\text{MIN}}^2}{R}$~~

$$Ox: N = m(a - g \sin \alpha)$$

$$Oy: F_{\text{тр}} \cos \alpha = m(g - a \sin \alpha)$$

$$\cos \alpha \mu m(a - g \sin \alpha) = m(g - a \sin \alpha)$$

$$a = \frac{g(1 + \mu \sin \alpha \cos \alpha)}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha} = \frac{V_{\text{MIN}}^2}{R} \Rightarrow V_{\text{MIN}} = \sqrt{\frac{g(1 + \mu \sin \alpha \cos \alpha) R}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha}}$$

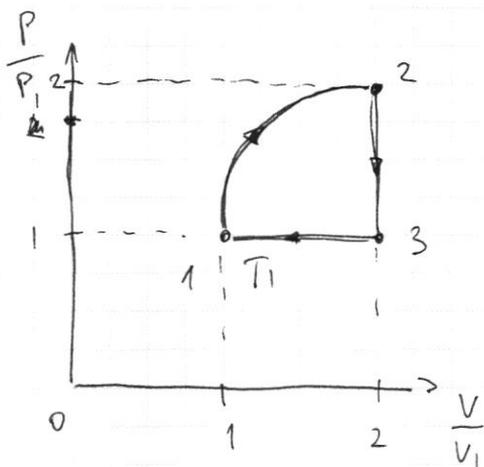
$$V_{\text{MIN}} = \sqrt{\frac{10 \cdot (1 + 0,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2})}{0,9 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}}} \cdot 1,2 = \sqrt{\frac{57,3}{5,114}} \cdot 1,2 = \sqrt{13,44} \approx$$

$$\approx \underline{\underline{3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}}}$$

Ответ: $P = 4,5 \text{ Н}; V_{\text{MIN}} = 3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

№4

$\nu = 1 \text{ моль}$
T_1, R
$i = 3$
$Q - ?$
$A - ?$
$\eta - ?$



Газ расширяется только в процессе 1-2.

1-ый закон термодинамики:

$$Q = A_{12} + \Delta U_{12}, \text{ где } A_{12} - \text{ работа, } \Delta U_{12} - \text{ изм. внутр. энергии.}$$

Работа A_{12} по равна площади под графиком.

$$A_{12} = P_1 V_1 + \frac{1}{4} \pi P_1 V_1$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} i (4 P_1 V_1 - P_1 V_1)$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$Q = P_1 V_1 + \frac{\pi}{4} P_1 V_1 + \frac{3}{2} P_1 V_1 = P_1 V_1 \frac{\pi + 22}{4} = \frac{\pi + 22}{4} \nu R T_1 = \frac{25,14}{4} \cdot 1 \cdot R T_1 = \underline{\underline{6,285 R T_1}}$$

Работа A равна площади цикла.

$$A = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 = \frac{3,14}{4} \nu R T_1 = \underline{\underline{0,785 R T_1}}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_-}{Q_+}, \text{ где } Q_- - \text{ кол-во теплоты, отданное газом}$$

$$Q_+ = Q \quad Q_+ - \text{ кол-во теплоты, полученное газом}$$

$$Q_- = P_1 V_1 + \frac{3}{2} \cdot 3 P_1 V_1 = \frac{11}{2} P_1 V_1 = 5,5 \nu R T_1$$

$$\eta = 1 - \frac{5,5 R T_1}{6,285 R T_1} = 1 - 0,87 = \underline{\underline{0,13}}$$

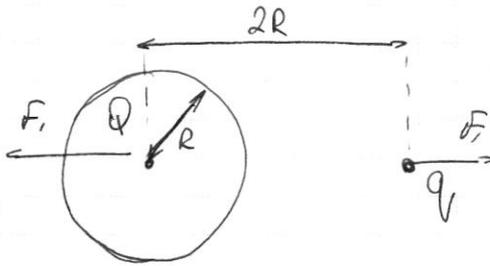
Ответ: $Q = 6,285 R T_1$; $A = 0,785 R T_1$; $\eta = 0,13$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

$Q > 0$
 $q > 0$
 R
 k

 $F_1 = ?$
 $F_2 = ?$

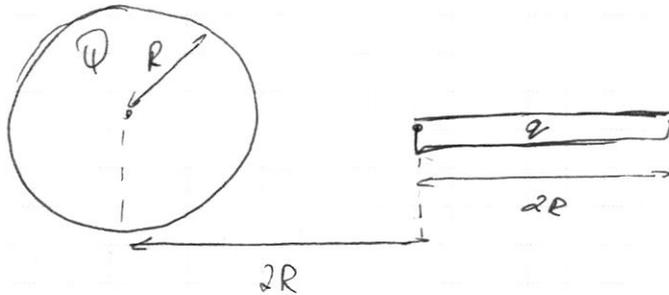


$$F_1 = k \frac{Qq}{4R^2}$$

↑
з-н. Кулона

Т.к. оба заряда положительные, сфера и шарик будут отталкиваться.

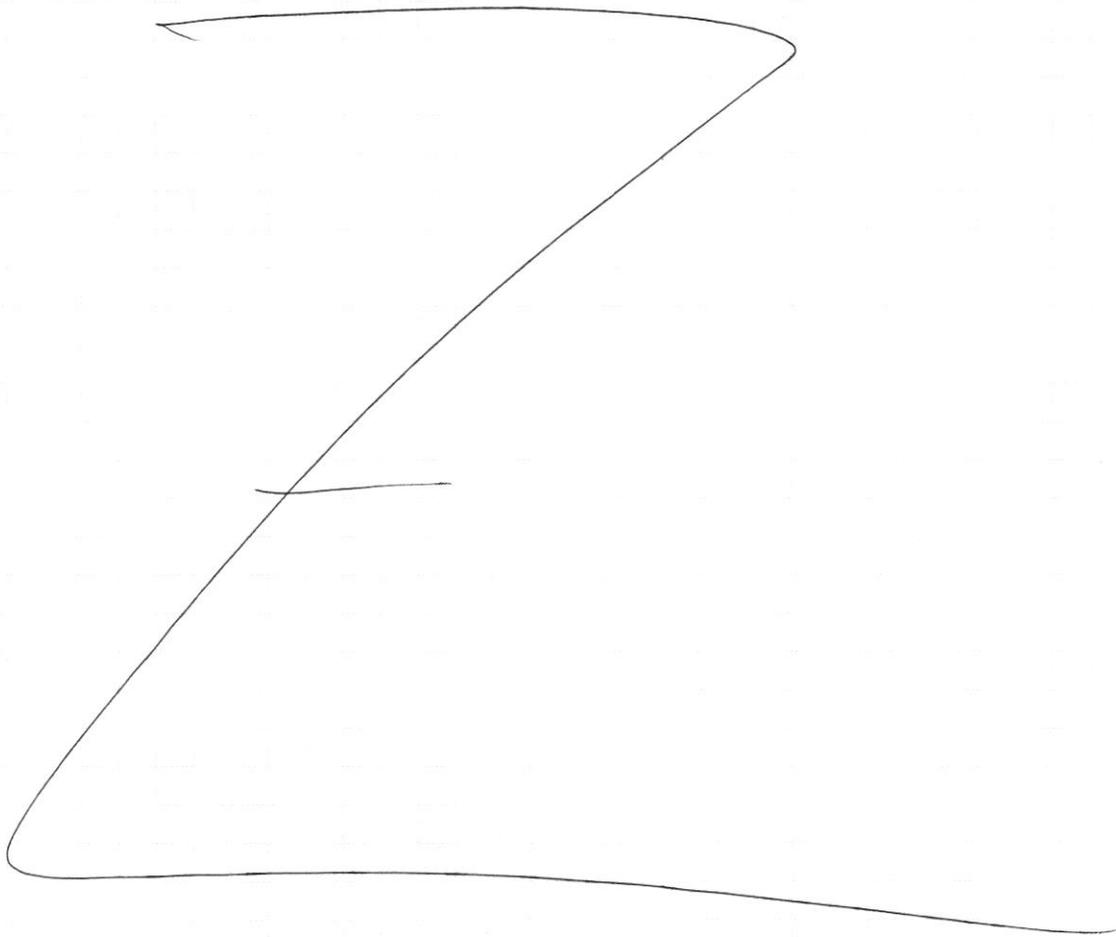
Сфера создаёт вокруг себя ~~то~~ электростатическое поле.



з-н. Кулона

$$F_2 = k \frac{Qq}{9R^2}$$

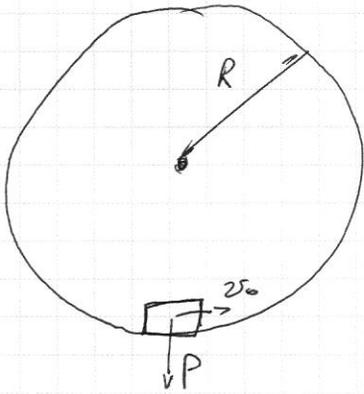
Ответ: $F_1 = k \frac{Qq}{4R^2}$; $F_2 = k \frac{qQ}{9R^2}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

- 1) $Mv = 2m\omega$
- 2) $Mv = m\omega$



$$v_0 = \omega R$$

$$a = \omega^2 R = \frac{v_0^2}{R}$$

$$P = ma = m \frac{v_0^2}{R} = 0,4 \cdot \frac{3,7^2}{1,2} = 0,4 \cdot \frac{13,69}{1,2} =$$

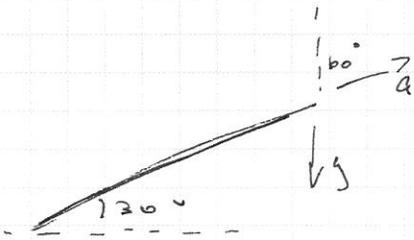
$$\begin{array}{r} 3,7 \\ 3,7 \\ \hline 239 \\ 111 \\ \hline 13,69 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1369 \overline{) 120} \\ 120 \\ \hline 869 \\ 120 \\ \hline 490 \\ 480 \\ \hline 1000 \\ 960 \\ \hline 400 \end{array}$$

$$= \frac{13,69}{3} =$$

$$= 4,5 \text{ H}$$

$$\begin{array}{r} 13,69 \overline{) 30} \\ 1200 \\ \hline 169 \\ 150 \\ \hline 1900 \\ 1800 \\ \hline 100 \end{array}$$



$$a \cos 60^\circ = g \Rightarrow a = 2g = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{2gR} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1,2} = \sqrt{24} = 2\sqrt{6} \text{ м/с}$$

$$m g \sin 30^\circ = \mu m a \cos 30^\circ = m (g - a \cos 60^\circ)$$

$$\mu \frac{\sqrt{3}}{2} a = g - \frac{a}{2} \Rightarrow a = \frac{g}{\frac{1 + \mu\sqrt{3}}{2}} = \frac{20}{1 + 0,9 \cdot \sqrt{3}} = \frac{20 \cdot \sqrt{3025}}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{2g}{1 + \mu\sqrt{3}} \cdot R} = \sqrt{\frac{20}{1 + 0,9\sqrt{3}} \cdot 1,2} = \sqrt{\frac{24}{1 + 0,9\sqrt{3}}} \approx 3,06 \text{ м/с}$$

$\begin{array}{r} 1,4 \\ 1,4 \\ \hline 56 \\ 1,4 \\ \hline 1,96 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1,6 \\ 1,6 \\ \hline 96 \\ 1,6 \\ \hline 2,56 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1,7 \\ 1,7 \\ \hline 119 \\ 1,7 \\ \hline 2,89 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1,8 \\ 1,8 \\ \hline 144 \\ 1,8 \\ \hline 3,24 \end{array}$
--	--	---	---

$\begin{array}{r} 1,72 \\ 1,72 \\ \hline 348 \\ 1,72 \\ \hline 1204 \\ 1,72 \\ \hline 2,9588 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1,73 \\ 1,73 \\ \hline 519 \\ 1,73 \\ \hline 1211 \\ 1,73 \\ \hline 2,9929 \end{array}$	$\begin{array}{r} 3,06 \\ 3,06 \\ \hline 1836 \\ 3,06 \\ \hline 9180 \end{array}$
---	---	---

$$\begin{array}{r} 1,73 \\ 1,73 \\ \hline 90 \\ 1,73 \\ \hline 1,5370 \end{array}$$

$$1,557$$

$$\sqrt{\frac{24}{2,557}} = 3,07$$

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ 3,1 \\ \hline 2404 \\ 3,1 \\ \hline 3240 \\ 3,1 \\ \hline 94864 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,07 \\ 3,07 \\ \hline 2143 \\ 3,07 \\ \hline 94213 \end{array}$$

$$24000$$

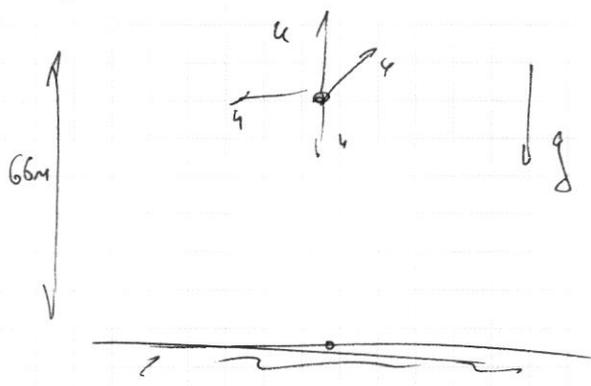
$$\begin{array}{r} 24000 \overline{) 2557} \\ 23013 \\ \hline 9870 \\ 9,38 \end{array}$$

$$9,4$$

$$\sqrt{9,4} = 3,07$$

$$\begin{array}{r} 23013 \overline{) 2404} \\ 23013 \\ \hline 94864 \end{array}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65} = \sqrt{1300} = 10\sqrt{13} = \underline{\underline{36 \frac{4}{5}}}$$



$$ut_1 + \frac{gt_1^2}{2} = H \quad t_2 - t_1 = \tau$$

$$\frac{gt_2^2}{2} - ut_2 = H$$

$$ut_1 + \frac{gt_1^2}{2} = H$$

$$\frac{g(\tau+t_1)^2}{2} - u(\tau+t_1) = H$$

$$t_2 = D = u^2 + 4uH$$

$$2H = -u\tau + \frac{g}{2}(t_1^2 + t_2^2)$$

$$\frac{g\tau^2}{2} + \frac{gt_1^2}{2} + g\tau t_1 - u\tau - ut_1 = H$$

$$t_1^2 + t_2^2 = t_1^2 + t_1^2 + \tau^2 + 2t_1\tau = 2t_1^2 + 2t_1\tau + \tau^2$$

$$\frac{g\tau^2}{2} + g\tau t_1 - u\tau - ut_1 = ut_1$$

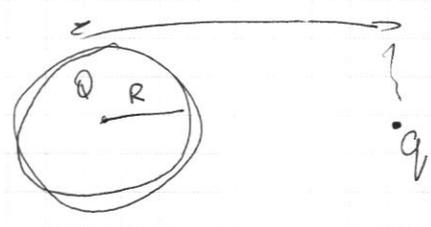
$$u(2t_1 + \tau) = g\tau\left(\frac{\tau}{2} + t_1\right)$$

$$0 = u(t_1 + t_2) + \frac{g}{2}(t_1 - t_2)(t_1 + t_2)$$

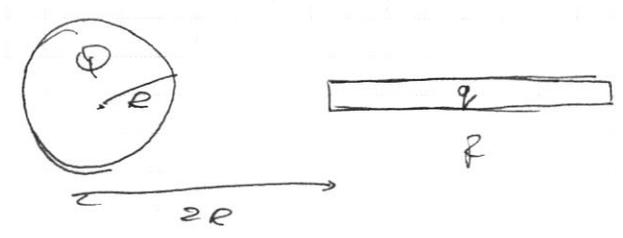
$$0 = (t_1 + t_2)\left(u + \frac{g}{2}\tau\right)$$

$$u = \frac{g}{2}\tau = \frac{50 \frac{\pi}{c}}{2R}$$

$$k = \frac{mu^2}{2} = \frac{2 \cdot 2500}{2} = 2500 \text{ Дж}$$

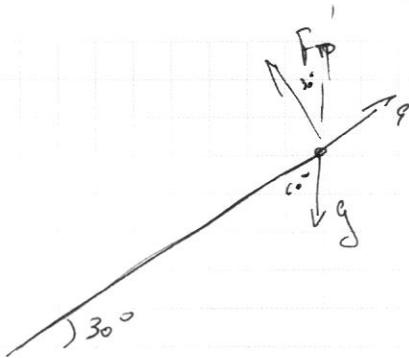


$$F_1 = k \frac{Qq}{4R^2} = [k] \cdot \frac{k_1^2}{m^2} \quad Ed = U$$



55000 / 6285
~~88280~~ / 0,844
 48200
 43335
 30030

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\mu m (a - g \cos 60^\circ) = \mu m F_{тр}$$

$$F_{тр} \cos 30^\circ = m(g - \frac{a}{2})$$

$$\mu (a - \frac{g}{2}) \frac{\sqrt{3}}{2} = g - \frac{a}{2}$$

$$v = \sqrt{10 \cdot \frac{2 + 9.5\sqrt{3}}{2\sqrt{3} \cdot 0.8}}$$

$$a = \frac{2g}{\sqrt{3}\mu} + \frac{g}{2} = g \left(\frac{2}{\sqrt{3}\mu} + \frac{1}{2} \right) = g \left(\frac{2 + \sqrt{3}\mu}{2\sqrt{3}\mu} \right)$$

$$= \sqrt{10 \cdot \frac{217.557}{2 \cdot 1.557}}$$

$$= \sqrt{\frac{35.57}{3.114}}$$

$$\begin{array}{r} 35570 \quad | \quad 3114 \\ 3114 \quad | \quad 11,422 \approx 11,42 \\ \hline 4430 \\ 3114 \\ \hline 13160 \\ 12456 \\ \hline 7040 \\ 6228 \\ \hline 8120 \end{array}$$

$$= \sqrt{11,42} \approx 3,4 \frac{m}{c}$$

$$\begin{array}{r} 3,5 \\ 3,5 \\ \hline 115 \\ 105 \\ \hline 1225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,9 \\ 3,2 \\ \hline 144 \\ 102 \\ \hline 1164 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,3 \\ 3,3 \\ \hline 108 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,6 \\ 3,6 \\ \hline 216 \\ 108 \\ \hline 1296 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,1 \\ 3,1 \\ \hline 231 \\ 101 \\ \hline 1341 \end{array}$$

$$g \left(\mu \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} \right) = g \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)$$

$$a = g \cdot \frac{4 + \sqrt{3}}{4} \cdot \frac{2}{\mu\sqrt{3} + 1} = g \frac{4 + \sqrt{3}}{2(\mu\sqrt{3} + 1)} = 10 \cdot \frac{5,73}{2 - 2,557} = \frac{57,3}{5,114}$$

$$v = \sqrt{\frac{57,3}{5,114} \cdot 12} = \sqrt{13,44} =$$

$$= \left(\frac{3,7}{1} \right)$$

$$\begin{array}{r} 57300 \quad | \quad 5114 \\ 5114 \quad | \quad 11,23 \\ \hline 6160 \\ 5114 \\ \hline 10460 \\ 10228 \\ \hline 2320 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11,2 \\ 12 \\ \hline 224 \\ 112 \\ \hline 1344 \\ , \end{array}$$