

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

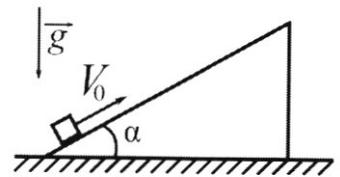
1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. 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  $\tau$  осколки будут падать на землю? *через 10 с*

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.

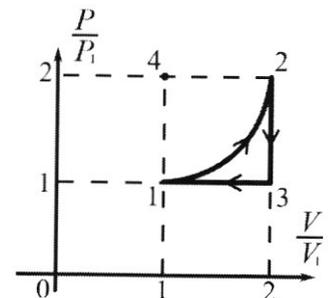
2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение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

$t_1 = 70$ , м/с

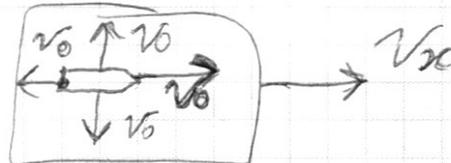
$t_1 = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gh}}{g}$ , а округки подругам в  
меньше  $g$

$$t = t_2 - t_1 = \frac{2v_0}{g} \quad t = \frac{2 \cdot 60}{10} = 12 \text{ с.}$$

Задача была переопределена, ведь  
известно, что двигатель ракеты  
№1.

$m = 1 \text{ кг}$   
 $T = 70$   
 $t = 10 \text{ с}$   
 $k = 1800 \text{ Вт}$

поиск  
поиск максимума, скорость  
орбитальной



1) движение по об к: от  $v_0$  до 0 за  $T$ , при  $\theta = g = \text{const}$ , тогда

$$k = \frac{gT^2}{2} \quad k = \frac{10 \cdot 9 \cdot \text{м}}{2} = 45 \text{ м}$$

по теореме о свойству энергии системы

$$k = m_1 v_0^2 + m v_x^2$$

оптимальная масса, кин. энергия системы  
масса

2)  $\tau_1$  - до поверхности Тоскани  $\tau_2$  - ~~в~~ <sup>на высоте</sup> поверхности, ~~одно~~ это полет ~~вверх~~ и ~~вниз~~, ~~по~~ ~~у~~

$$K = v_0 \cdot \tau_1 + \frac{g \tau_1^2}{2} \quad K = v_0 \cdot \tau_2 + \frac{g \tau_2^2}{2}$$

$$\frac{g}{2} \tau_1^2 + v_0 \cdot \tau_1 - K = 0 \quad \frac{g}{2} \tau_2^2 - v_0 \cdot \tau_2 - K = 0$$

$$\tau_1 = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g} \quad \tau_2 = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

$$\tau_1 = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g} \approx \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

$\tau_1$  и  $\tau_2$  положительны, тогда

$$\tau_1 = \frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g} \quad \tau_2 = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

но верь  $\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2v_0}{g}$

$$v_0 = \frac{g\tau}{2} \quad v_0 = \frac{10 \cdot 10 \cdot \text{м}}{2 \cdot \text{с}} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\tau_1 = \frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

$$\tau_1 = \frac{\sqrt{2500 + 2 \cdot 10 \cdot 45} - 50}{10} \cdot \text{с} = \frac{\sqrt{2500 + 900} - 50}{10} \cdot \text{с}$$

$$= \frac{(\sqrt{25+9} - 5) \cdot \text{с}}{10} = (\sqrt{34} - 5) \cdot \text{с} =$$

$$= \frac{\sqrt{34} - 5}{10} \cdot \text{с} = \frac{34 - 25}{10 \cdot (\sqrt{34} + 5)} \cdot \text{с} = \frac{9}{10 \cdot (\sqrt{34} + 5)} \cdot \text{с} \approx \frac{9}{10 \cdot (6 + 5)} \cdot \text{с} = \frac{9}{110} \cdot \text{с}$$

Ответ:  $H = 45 \text{ м}$ ;  ~~$\tau_1 \approx 0,9 \text{ с}$~~   ~~$\tau_2 \approx 0,8 \text{ с}$~~   
 $\tau_1 \approx 0,82 \text{ с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Реш.

- $m = 1 \text{ кг}$
- $T = 3 \text{ с}$
- $K = 1800 \text{ Дж}$
- $T = 90 \text{ с}$
- $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

для конусного скачка

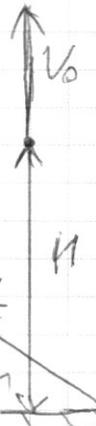
$$K_i = m_i \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$\Sigma K = \Sigma m \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$K = m_0 \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3600 \text{ Дж}}{1} \cdot \frac{1}{\text{с}^2}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



$t$  - время от падения первого до падения  
последнего скачка.  $T$  умножим на  $v$ , вычит  
через  $t$

$$v \cdot t + g \frac{t^2}{2} = H$$

произведение в конусе равно  $m_0$

Реш.

$$\cos \alpha = 0.6$$

1)  ~~$m \cdot v_0^2 = m g H$~~

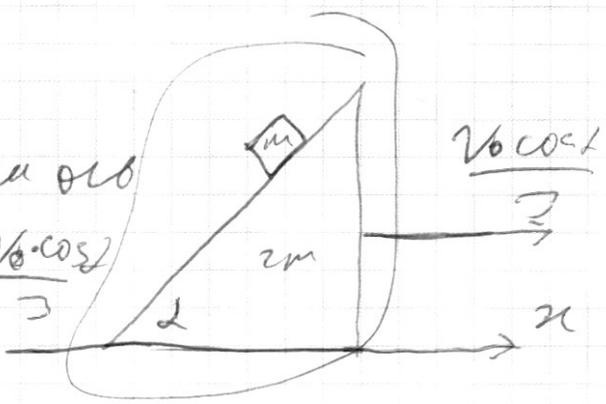
~~$$\frac{m v_0^2}{2} = m g H$$~~

~~$$H = \frac{1}{2} v_0^2 = \sqrt{2gH}$$~~

~~$$v_0 = 2.40$$~~

ис. З. С. У. на ось

$$m v_0 \cos \alpha = \frac{m v_0^2 \cos^2 \alpha}{2} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2}$$



из З.С.Э.

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h + \frac{3 m v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{2 \cdot 3}$$

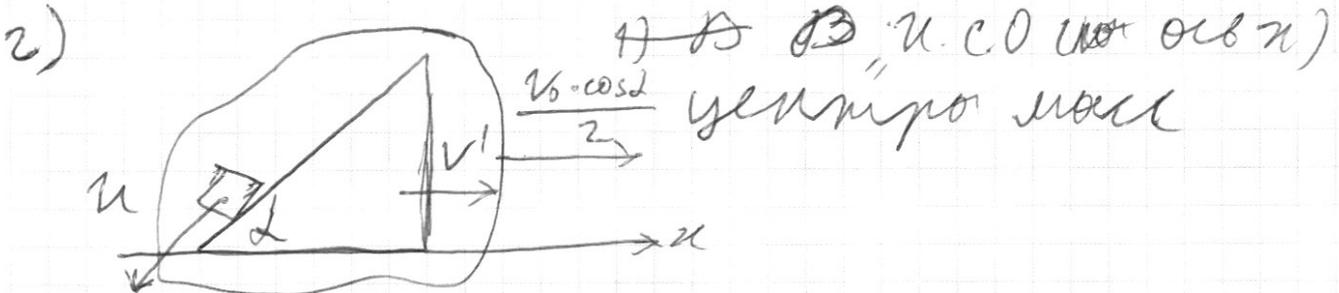
$$\frac{v_0^2}{2} \left( 1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3} \right) = g h$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 g h}{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}}}$$

$\frac{1}{0.22}$

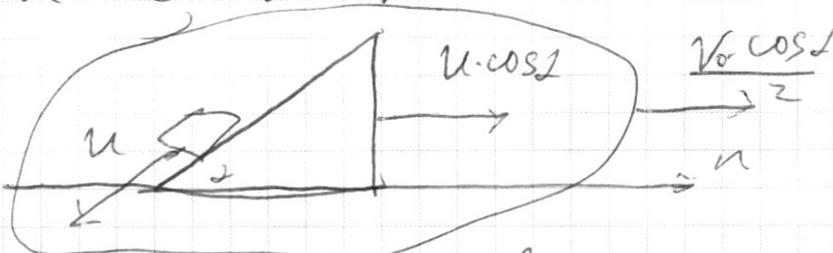
$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 0.2}{1 - \frac{0.36}{3}}} \cdot \frac{m}{c} = \sqrt{\frac{4}{1 - 0.12}} \cdot \frac{m}{c} = \sqrt{\frac{4}{0.88}} \cdot \frac{m}{c}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{0.22}} \cdot \frac{m}{c} \approx 2 \frac{m}{c}$$



из З.С.Э. на ось x

$$v \cdot \cos \alpha = v'$$



из З.С.Э. по вектору энергии системы

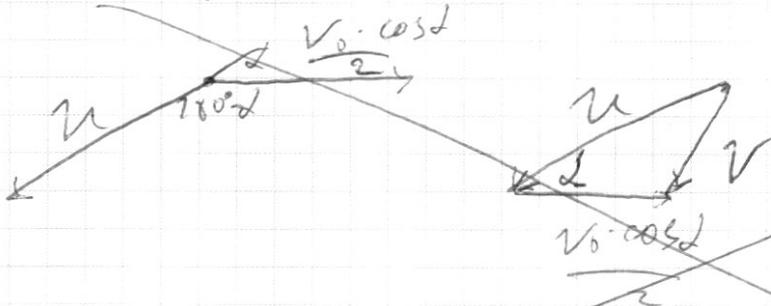
$$\frac{m v^2}{2} + \frac{m v^2 \cos^2 \alpha}{2} + \frac{m v_0^2 \cos^2 \alpha}{4} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$v^2 (1 + \cos^2 \alpha) = v_0^2 \left( 1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2} \right)$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$u^2 = v_0^2 \cdot \frac{1 - \frac{\cos^2 \alpha}{2}}{1 + \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1 - \frac{0,36}{2}}{1 + 0,36} = \frac{1 - 0,18}{1 + 0,36} = \frac{0,82}{1,36} = \frac{41}{68}$$



~~$$v^2 = u^2 + \frac{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4} - 2u \cdot \frac{v_0 \cdot \cos \alpha}{2} \cdot \cos \alpha =$$

$$= u^2 + \frac{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4} - 2u \cdot \frac{v_0 \cdot \cos^2 \alpha}{2}$$~~

~~$$v_{\text{мин}} = u \cdot \cos \alpha + \frac{v_0 \cdot \cos \alpha}{2} =$$~~

~~$$= v_0 \cdot \left( \sqrt{\frac{41}{68}} \cdot 0,6 + \frac{0,6}{2} \right) = v_0 \cdot 0,6 \cdot \left( \sqrt{\frac{41}{68}} + 0,5 \right) \approx$$

$$\approx v_0 \cdot 0,6 \cdot \left( \frac{65}{8} + 0,5 \right) \approx 0,6 \cdot \left( \frac{13}{4} + 1 \right) \frac{m}{c} \approx$$

$$\approx 0,6 \cdot 4,25 \frac{m}{c} = 2,55 \frac{m}{c}$$~~

ответ:  $v_0 \approx 2,1 \frac{m}{c}$ ;  $v_{\text{мин}} \approx 2,55 \frac{m}{c}$

$$\frac{13}{4} = 3,25$$

$$4,25 \cdot 0,8 = 2,55$$

$$\begin{array}{r} 2,5 \\ \times 3,5 \\ \hline 12,5 \\ 17,5 \\ \hline 105 \\ \hline 12,25 \end{array}$$

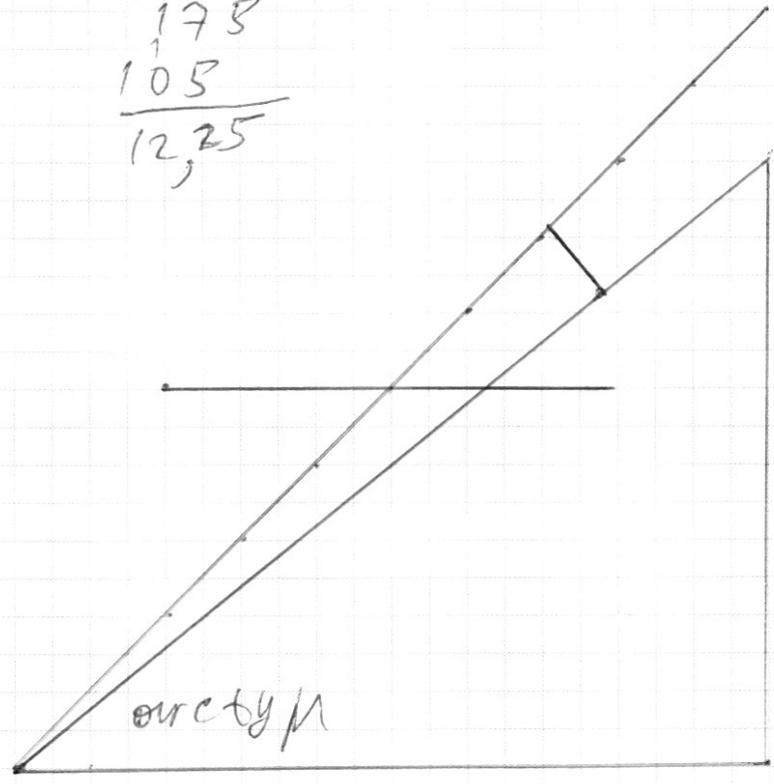
$$\begin{array}{r} 0,25 \\ \times 0,6 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,17 \\ \times 1,7 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 119 \\ 17 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,8 \\ \times 1,8 \\ \hline 144 \\ 18 \\ \hline 224 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11^2 = 121 \\ 10^2 = 100 \\ \hline 43 \\ \times 1143 \\ \hline 4572 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 4300 \\ \hline 4300 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9 \overline{) 11} \\ -0 \\ \hline 90 \\ -88 \\ \hline 12 \\ -11 \\ \hline 10 \end{array}$$

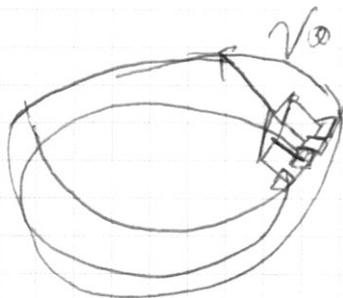
$$1,15$$

$$\begin{array}{r} 132 \\ \times 1143 \\ \hline 9001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 12990 \\ 4300 \overline{) 1143} \\ -3429 \quad 30 \\ \hline 8710 \end{array}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3.



$N$  - сила на машину со стороны центра

1)



$\Pi$  закон Коптона

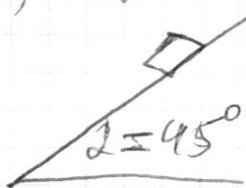
$N = 2mg$ , по  $\Pi$  Коптона:

$$m a = \sqrt{(4 - 1)} mg = \sqrt{3} \cdot m \cdot g$$

$$a = \sqrt{3} \cdot g \approx 1,7g \quad a \approx 17 \frac{m}{c^2}$$

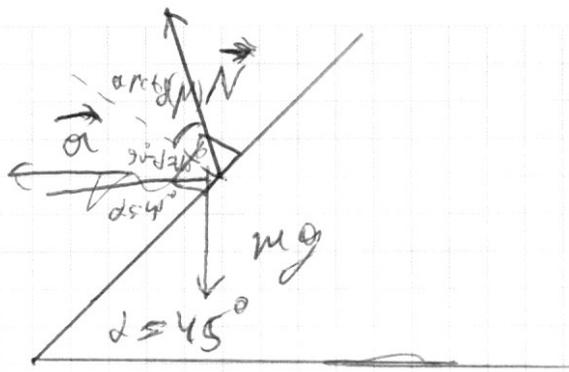
2)

~~Видно, что  $N$  увеличивается, полагая случай предельный,~~

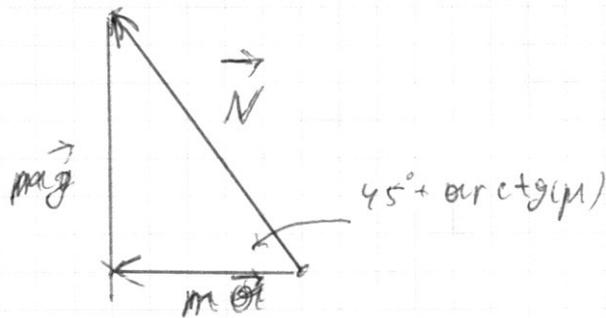


$N$  - по углу  $\alpha \perp g$  к вертикали,

$v_{min}$ , если уменьшится  $v$ , скользание должно поворачиваться вниз, и если не ~~возможна~~ её можно сменить ещё, пока  $N$  не станет  $\perp$  поверхности, что проконтролирует её ~~минимальности~~, ~~тогда~~  $N$  направлена ~~всё~~  $\perp$  к точке касания.



II закон Ньютона:

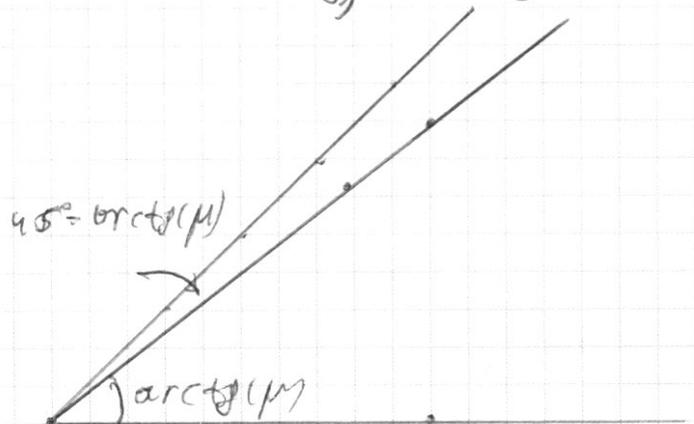


$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \operatorname{arccotg}(45^\circ + \operatorname{arctg}(\mu))$$

$$\frac{v_{\min}^2}{R} = g \cdot \operatorname{arctg}(45^\circ - \operatorname{arctg}(\mu))$$

$$v_{\min} = \sqrt{g \cdot R \cdot \operatorname{arctg}(45^\circ - \operatorname{arctg}(\mu))}$$

$$v_{\min} \approx \sqrt{10 \cdot 1 + \frac{115}{10} - 1} \cdot \frac{m}{c} \approx \sqrt{15} \cdot \frac{m}{c} \approx 1,1 \frac{m}{c}$$



Ответ: а)  $a \approx 17 \frac{m}{c^2}$ ;  $v_{\min} \approx 1,1 \frac{m}{c}$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

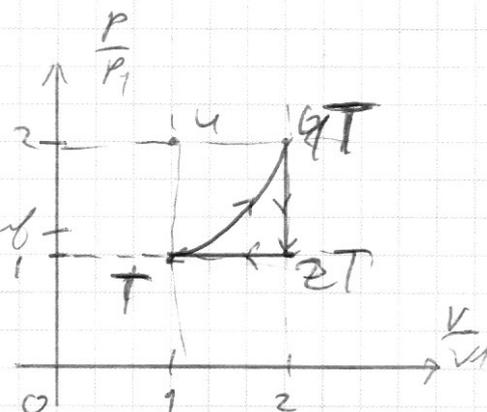
$$u = v_0 \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \alpha}{1 + \cos^2 \alpha}}$$

№4.

Используя закон  
Бойля-Мариотта, рассчитаю  
лю величину, если

$$T = P_1 V_1 = \nu R T$$

$$T = \frac{P \cdot V_1}{\nu \cdot R}$$



А именно - площадь под графиком

$$1) Q = \frac{3}{2} \cdot \nu \cdot R \cdot \nu T + \left( V_1 \cdot 2P_1 - \frac{\pi P_1 \cdot V_1}{4} \right) =$$

$$= \frac{3 P_1 V_1}{2} + 2 P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1 =$$

$$= P_1 V_1 \cdot \left( \frac{13}{2} - \frac{\pi}{4} \right)$$

2) A-модуль ~~не~~ ~~справедлив~~ ~~цикло~~

$$A = P_1 \cdot V_1 - \frac{\pi P_1 V_1}{4} = P_1 V_1 \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right)$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{1 - \frac{\pi}{4}}{\frac{13}{2} - \frac{\pi}{4}} \approx \frac{1 - 0,785}{6,5 - 0,785} \approx$$

$$\frac{\pi}{4} \approx \frac{3,14}{4} = \frac{1,57}{2} \approx 0,785$$

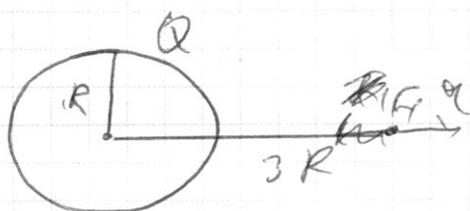
$$\approx \frac{0,215}{5,715} = \frac{43}{1443} \approx \frac{43}{1443} \approx 2,98\%$$

Ответ:  ~~$\eta = 4,3\%$~~   $Q_+ = \left( \frac{13}{2} - \frac{\pi}{4} \right) \cdot P_1 \cdot V_1$

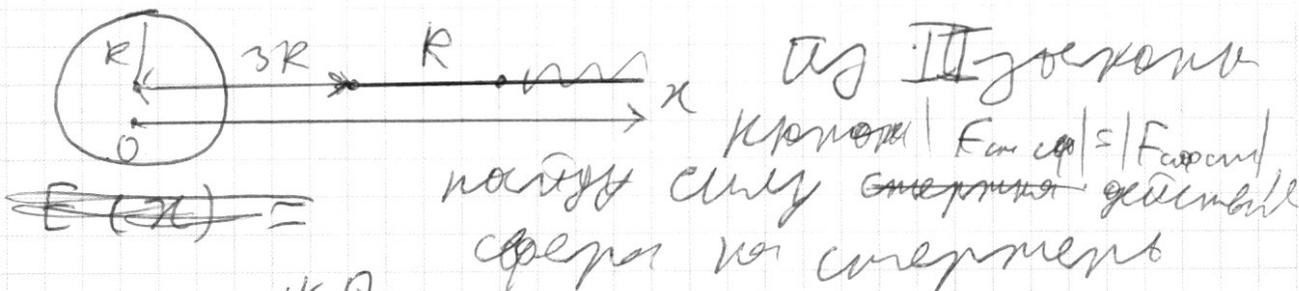
$A = P_1 V_1 \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right)$ ;  ~~$\eta \approx 4,3\%$~~   $\eta \approx 3,7\%$

№ 5.

1)



$$F_1 = \frac{k Q dq}{3R^2} = \frac{k Q Q}{9R^2} - \text{по закону Кулона}$$



$$E(x) = \frac{kQ}{x^2} \quad (\text{при } x \geq R)$$

$dF = E(x) \cdot dq$  - сила на элемент сферы

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$dF = E(x) \cdot \frac{q}{R} \cdot dx$$

$$dF = \frac{kQq}{R^2} \cdot \frac{dx}{x^2}$$

$$F = \frac{kQqR}{R} \cdot \int_{3R}^{4R} \frac{dx}{x^2}$$

$$F = \frac{kQq}{R} \cdot \left( \frac{x_1}{3R} - \frac{x_2}{4R} \right) =$$

$$= \frac{kQq}{R} \cdot \frac{4R-3R}{12R} = \frac{kQq}{12R^2}$$

ответ:  $F_1 = \frac{kQq}{9R^2}$      $F_2 = \frac{kQq}{12R^2}$

~~root (прогнозировать)~~

~~$$\frac{g}{2} v_1^2 + v_0 v_1 - K = 0$$~~

~~$$\frac{g}{2} v_2^2 - v_0 v_2 - K = 0$$~~

~~$$g = v_0^2 + 2gK$$~~

~~$$g = v_0^2 + 2gK$$~~

~~$$v_1 = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gK}}{g}$$~~

~~$$v_2 = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gK}}{g}$$~~

~~корреляция только с +, иначе  
v и время отрицательны~~

~~$$v_1 = \frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gK}}{g}$$~~

~~$$v_2 = \frac{v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2gK}}{g}$$~~

~~$$v = v_2 - v_1 = \frac{2v_0}{g}$$~~

$H = ?$   $t_1 = ?$

121.

$m = 1 \text{ кг}$

$T = 20$

$K = 1800 \text{ Дж}$

$\tau = 10 \text{ с}$

$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

последний осколок укажет осколок, летящий вверх, а I - вниз

$T_1$  - время до разрыва I осколка, от взрыва,

$\tau_2$  - от взрыва до разрыва последнего

$$-\tau_2 \cdot v_0 + \frac{v_0^2}{2} - \frac{g \tau_2^2}{2} = H$$

$$\frac{g}{2} \tau_2^2 - v_0 \cdot \tau_2 - H = 0$$

$$D = v_0^2 + 2gH$$

$$\tau_2 = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

~~$$H = \left( \frac{10 \cdot 10^2}{2} - 10 \cdot 60 \right) \text{ м} =$$~~

при разрыве осколка, его скорость смешивается с  $v_0$  до 0, тогда за  $T$  время

$$H = \frac{g T^2}{2}$$

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

$$\frac{1}{3.7}$$

2) II укажет осколок, уполз через  $\tau_1$  после взрыва.

$$v_0 \cdot \tau_1 + \frac{g \tau_1^2}{2} = H$$

$$D = v_0^2 + 2gH$$

$$\frac{g}{2} \tau_1^2 + v_0 \cdot \tau_1 - H = 0$$

$$\tau_1 = \frac{-v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2gH}}{g}$$

