

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

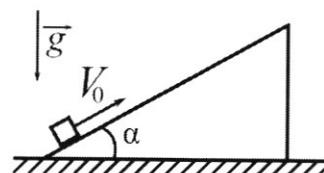
1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями.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

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.

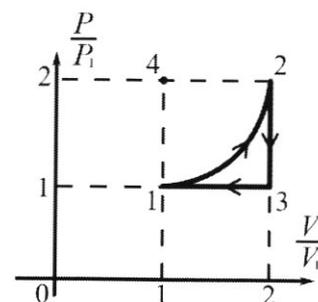
2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение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

№1

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$T = 3 \text{ с}$$

$$K = 1800 \text{ Дж}$$

$$\tau = 10 \text{ с}$$

1)  $H$  - ?

2)  $\tau'$  - ?

Решение:

1) З.С.Э.:  $\frac{m v_0^2}{2} = m g H$  ( $v_0$  - скорость в начале фреймверка)

$$\left( H = \frac{v_0^2}{2g} \right)$$

2) Движение фреймверка равноускоренно ( $g$ )

На ось  $y$  формула изменения

$$\text{скорости: } v(t) = v_{0y} - g t$$

В высшей точке:  $v(t) = 0$ ;  $t = T \Rightarrow 0 = v_0 - g T \rightarrow$

$$(v_0 = g T)$$

3) Подставим:  $H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{g^2 T^2}{2g} = \frac{g T^2}{2} = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (3 \text{ с})^2}{2} =$

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

4)  $K = \sum \Delta E_k = \sum \frac{m_0 v'^2}{2}$ , т.к.  $\frac{v'^2}{2} = \text{const} \Rightarrow$

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

$$v' = \sqrt{\frac{2K}{m}} = (v' - \text{скорость осколка после взрыва})$$

$$= 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$m_0$  - ~~масса~~ масса осколка

5) Вопрос 2: козга

упадёт 1 осколок  $\tau'$ :

Решение: Очевидно, что 1 осколок будет в начале иметь

скорость  $\vec{v}'$  вертикально вниз, т.к. именно он за наимень-

шее время преодолеет  $H$ .

ПРОДОЛЖЕНИЕ СТР. 2

$\sqrt{2}$

Дано:

$\cos \alpha = 0,6$

$v_0$

$h = 0,2 \text{ м}$

1)  $M = 2m, v_0 = ?$

2)  $N = m, v = ?$

Решение:

1) Р-м шайбы и силки:

2 з.Н. на  $x$  и  $y$ :

$$\begin{cases} ma_m = mg \cdot \sin \alpha \\ 0 = N - mg \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} (a_m = g \sin \alpha) \\ (N = mg \cos \alpha) \end{cases}$$

2) Р-м клин:

2 з.Н. на  $x$  и  $y$ :

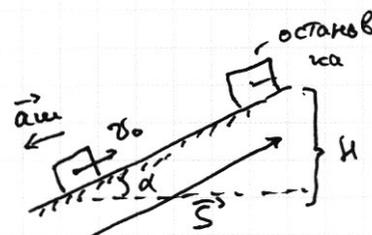
$$\begin{cases} Ma_{\text{кн}} = N \sin \alpha \\ N' = Mg + N \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} Ma_{\text{кн}} = mg \cos \alpha \cdot \sin \alpha \Rightarrow a_{\text{кн}} = \frac{m}{M} g \cos \alpha \sin \alpha \\ N' = Mg + mg \cos^2 \alpha \end{cases}$$

$$(a_{\text{кн}} = \frac{m}{M} g a_m \cdot \cos \alpha)$$

3) Р-м движение шайбы вдоль поверхности клина  $\uparrow$  вверх:

$$\vec{a} = \vec{g} \sin \alpha = \text{const} \Rightarrow \text{РДУ}$$



Тогда расстояние от старта

до полной остановки -  $\frac{h}{\sin \alpha}$ , тогда  $\frac{h}{\sin \alpha} = \frac{(0^2 - v_0^2)}{-2a}$

$$\frac{h}{\sin \alpha} = \frac{v_0^2}{2g \sin \alpha} \Rightarrow (v_0 = \sqrt{2gh} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}})$$

Время подъёма:  $v(t) = v_0 + at \quad 0 = v_0 - g \sin \alpha \cdot t$

$$(t = \frac{v_0}{g \sin \alpha} = \frac{2}{10 \cdot 0,8} = \frac{1}{4} \text{ с} \quad (\cos \alpha = 0,6 \Rightarrow \sin \alpha = 0,8))$$

4) Аналогично Р-м движение вниз:  $\vec{a}_m = \vec{g} \sin \alpha$

Путь -  $\frac{h}{\sin \alpha} \Rightarrow \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{at^2}{2} = \frac{g \sin \alpha t^2}{2} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \alpha}}$

ПРОДОЛЖЕНИЕ СТР. 4

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~1)  $H = 45 \text{ м}$~~  ~~2)  $t = 1,5 \text{ с}$~~

Тогда найдем время его движения

$$H = v' t' + \frac{g t'^2}{2}$$

~~$10 t'^2 + 2 t' = 45$~~

$$g t'^2 + 2 v' t' - 2H = 0$$

$$10 t'^2 + 2 \cdot 60 t' - 2 \cdot 45 = 0$$

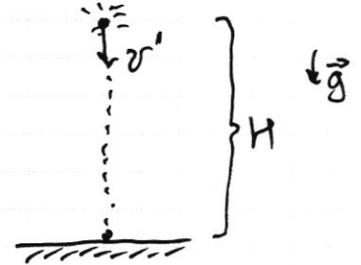
$$10 t'^2 + 120 t' - 90 = 0$$

$$t'^2 + 12 t' - 9 = 0$$

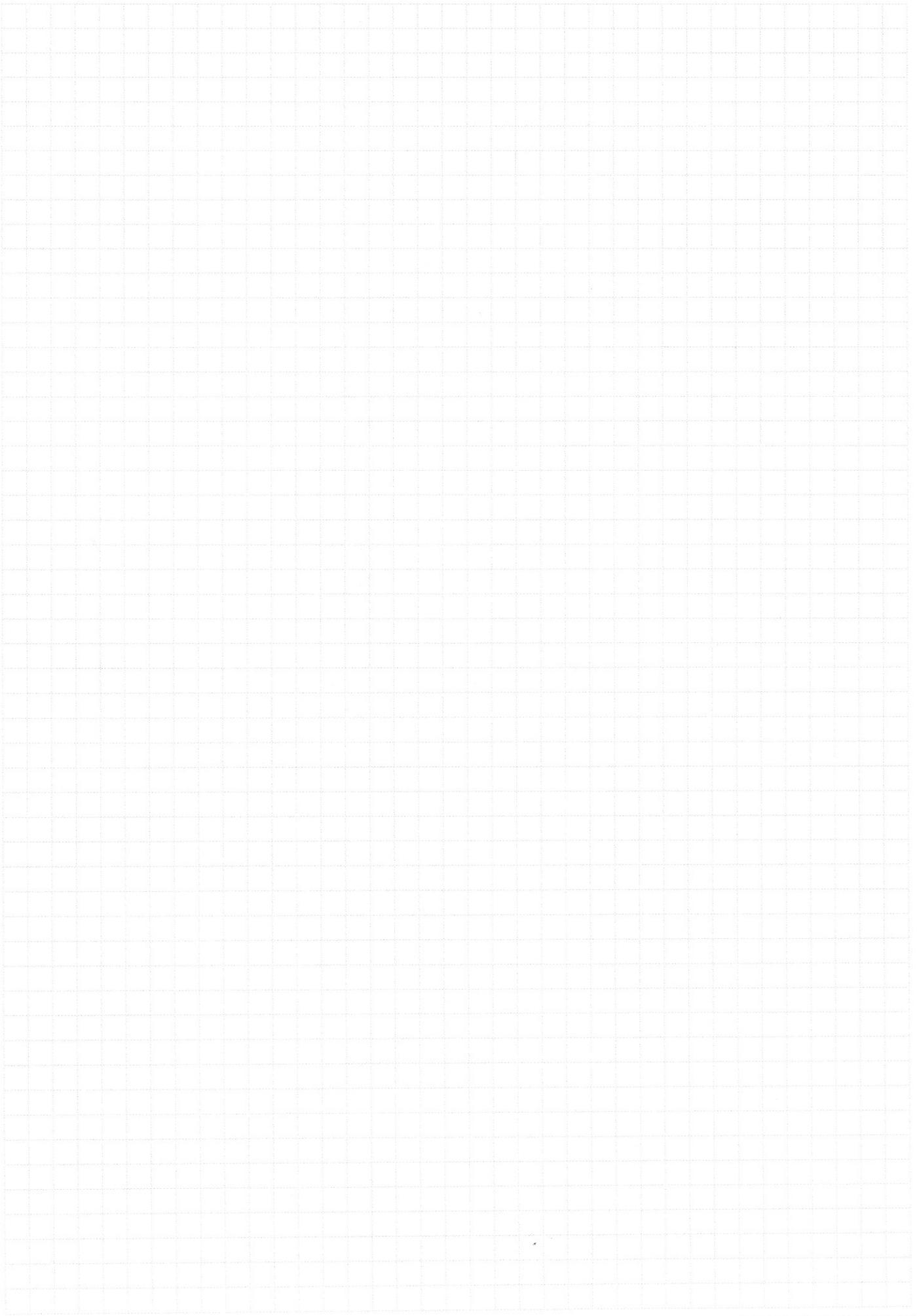
$$D = 144 + 9 \cdot 4 = 180$$

$$t' = \frac{-12 \pm \sqrt{180}}{2} = \left[ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{180}}{2} - 6 \approx 1,5 \text{ с} \\ < 0 \end{array} \right.$$

Ответ: 1)  $H = 45 \text{ м}$  2)  $t \approx 1,5 \text{ с}$



СМОТРЕТЬ СТРАНИЦУ 3



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T^2 = \sqrt{\frac{2R}{g \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{10 \cdot 0,8^2}} = \frac{1}{4} \text{ с} = 0,25 \text{ с}$$

Значит время полного движения шарика  $t_{\text{обш}} = 2T =$   
 $= 0,5 \text{ с}$

5) Для 2 вопроса  $\xi$ , по условию  $M = m \Rightarrow$

$$a_{\text{кл}} = \frac{m}{M} g \cos \alpha \sin \alpha = g \cos \alpha \sin \alpha =$$

Тогда р-м описывает движение клина  
по горизонтали:

$$\vec{a}_{\text{кл}} = \vec{g} \cos \alpha \sin \alpha = \text{const} \Rightarrow \text{РД}$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}_{\text{кл}} t$$

на x:  $v(t) = 0 + a_{\text{кл}} t$

В конкретный момент:  $v(t_{\text{обш}}) = a_{\text{кл}} t_{\text{обш}} = g \cos \alpha \sin \alpha \cdot t_{\text{обш}} =$   
 $= 10 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 5 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$$(v = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})$$

Ответ: 1)  $v_0 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2)  $v = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

№3

Дано:

$$N = 2mg, v = \text{const}$$

1)  $a = ?$

2)  $v_{\text{min}} = ?$ ,  $\alpha = 45^\circ$

$$\mu = 0,8, R = 1 \text{ м}$$

Решение:

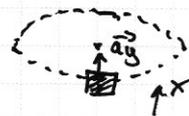
1) Заметим, что раз

$$v = \text{const}, \text{ то } \vec{a}_{\text{полное}} = \vec{a}_{\text{ц}} -$$

полное ускор равно центрострем.

2) На модель действует сила  $\vec{N}$  - реакция опоры.

з з.н.:  $m \vec{a}_{\text{ц}} = \vec{N}$ , на x:  $ma_{\text{ц}} = N$



(учеи токе, что  $a_y = \frac{N}{m}$   $N = 2mg$  (по условию), то  
 $ma_y = N \rightarrow a_y = \frac{2mg}{m} = 2g = a_{\text{полн}}$

$$(a = 2g = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})$$

3) Р-и теперь условие 2 вопроса:

Запишем силы:

$\vec{N}$ ,  $\vec{F}_{\text{тр}}$ ,  $m\vec{g}$  - все силы



23.К.: Спросим у нас на две оси  $x$  и  $y$  ( $v = \text{const} \Rightarrow a_y = a_{\text{полн}}$ )

$$x: \begin{cases} ma_y = N \end{cases}$$

$$y: \begin{cases} F_{\text{тр}} = mg \cdot \sin \alpha \quad (a_y = 0 \text{ т.к. } a_z = 0) \end{cases}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N \Rightarrow \begin{cases} ma_y = N \\ \mu ma_y = mg \sin \alpha \end{cases}$$



(виз сбоку)

$$a_y = \frac{g \sin \alpha}{\mu} = \frac{v_{\text{мин}}^2}{R}$$

$$(v_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{Rg \sin \alpha}{\mu}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{0,8}} =$$

$$= \sqrt{\frac{5 \cdot \sqrt{2}}{0,8}} = \sqrt{\frac{50 \cdot \sqrt{2}}{8}} = \sqrt{6,25 \sqrt{2}} \approx \sqrt{2} \cdot \sqrt{6,25} \approx 1 \cdot 2,5 = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}})$$

Ответ: 1)  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2)  $2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

СМОТРЕТЬ СТРАНИЦУ 6

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

14

Решение:

1) Перерисуем график в  $P(V)$  координатах.

2)  $Q_{\text{подвед}} = Q_{12}$

И начало термодинамики:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$$

$$\begin{aligned} \bullet \Delta U_{12} &= \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{21} = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (2p_1 \cdot 2V_1 - p_1 V_1) = \\ &= \frac{9}{2} p_1 V_1 \end{aligned}$$

$\bullet A_{12} = S_{12}$ , площадь эту можно найти как разность площади прямоугольника и четверти окружности.

$$S_{12} = \frac{3}{4} 2p_1 \cdot V_1 - \frac{1}{4} \pi p_1 V_1 = p_1 V_1 \left( 2 - \frac{\pi}{4} \right)$$

При  $\pi \approx 3,14$ ,  $\frac{\pi}{4} \approx 0,785 \Rightarrow S_{12} = p_1 V_1 \left( 2 - \frac{\pi}{4} \right) \approx 1,215 p_1 V_1$

Тогда  $(Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} \approx 4,5 p_1 V_1 + 1,215 p_1 V_1 \approx 5,715 p_1 V_1)$

3)  $A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$ ,  $\bullet A_{12} = 1,215 p_1 V_1$

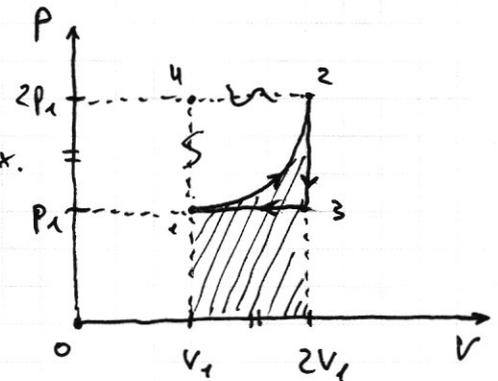
$\bullet A_{23} = S_{23} = 0$ ,  $\bullet A_{31} = -p_1 \cdot V_1$  (сжатие)

$$(A_{12} = 1,215 p_1 V_1 + 0 - p_1 V_1 = 0,215 p_1 V_1)$$

4) По опред.  $\eta = \frac{A_{\Gamma}}{Q_{\text{н}}} = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{0,215 p_1 V_1}{5,715 p_1 V_1} \approx \frac{0,215}{5,7} \approx 0,035 = 3,5\%$

Ответ: 1)  $5,715 p_1 V_1$ ;

2)  $0,215 p_1 V_1$ ; 3)  $3,5\%$



15

1)  $(Q, q)$   
 $3R$

$F_2 = ?$

2)  $F_2, 3R$

$(R, q, Q)$

Решение:

1)  $F_1 = F_k = \frac{kqQ}{(3R)^2} = \frac{kQq}{9R^2}$

2)  $(F_2 = \sum F_1(l) =$

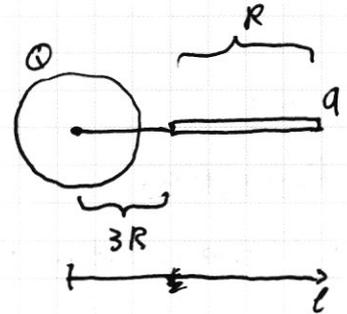
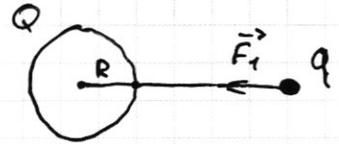
$= \sum \frac{kqQ}{l^2} = kqQ \cdot \sum \frac{1}{l^2}$

$= kqQ \int_{3R}^{+4R} \frac{1}{l^2}$

$(F_2 = kqQ \left( \frac{1}{9R^2} - \frac{1}{16R^2} \right) = kqQ \cdot \frac{(16-9)}{144 R^2} =$

$= \frac{7}{144} \frac{kqQ}{R^2}$

Ответ: 1)  $F_1 = \frac{kQq}{9R^2}$  ; 2)  $F_2 = \frac{7}{144} \frac{kqQ}{R^2}$



$$H = -v^1 t_1 + \frac{g t_1^2}{2}$$

$$t_1 - t_2 = 10$$

$$H = v^1 t_2 + \frac{g t_2^2}{2}$$

$$2H = v^1 (t_2 - t_1) + \frac{g}{2} (t_2^2 + t_1^2)$$

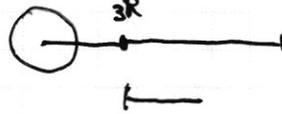
$$M a_{cm} = \sum \vec{F}_{ext} = \sum M_i g =$$

$$= Mg$$

$$\frac{m v^1}{2} = mgH$$

$$\sqrt{2gh}$$

$$45 \cdot 2 \cdot 10^3 \Rightarrow 2K = \sum \Pi$$



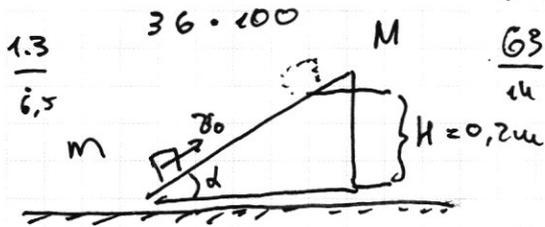
$$H =$$

$$2 \cdot 1800$$

$$1800 =$$

$$F_2 = \sum F_k : \sum \frac{Qq}{r^2} =$$

$$= Qq \cdot \sum \frac{1}{r^2} = \frac{7}{144}$$



$$\frac{F}{144} < \frac{1}{9}$$

$$M = 2m$$

$$v_0 = ?$$

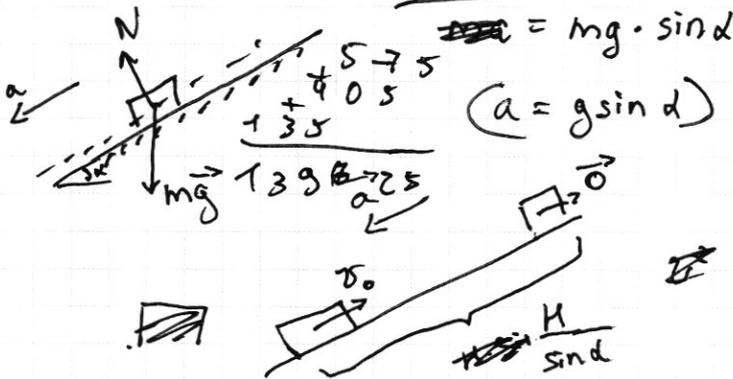
$$v$$

$$= Qq \cdot 9 \cdot 16 = 144$$

$$\frac{1}{9} - \frac{1}{16} + 125 \cdot 0,5 \cdot 0,6$$

$$4 \cdot 0,6 = 0,24$$

$$2,4 \text{ m/s}^2$$

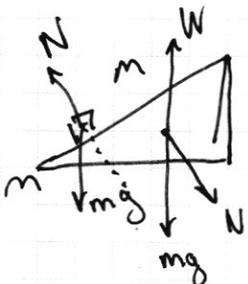


$$\frac{H}{\sin d} = \frac{v_0^2 - v^2}{-2g \sin d}$$

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

$$v_0^2 = 2gH$$

$$\int \frac{1}{r^2} = \frac{1}{4R^2} - \frac{1}{9R^2} \quad (v_0 = \sqrt{2gH} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$



$$\vec{a}_{osc} = \vec{a}_{пер} + \vec{a}_{отн}$$

16

$$\frac{2 \cdot 0,2}{10 \cdot 0,8 \cdot 0,8}$$

$$= \frac{2 \cdot 10^{-1} \cdot 2}{8 \cdot 10^{-1} \cdot 8} = \frac{4}{64} = \frac{1}{16} = \frac{1}{4}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$T = 3 \text{ с}$$

$$k = 1800 \text{ Дж}$$

$$\tau = 10 \text{ с}$$

1)  $H$  - ?

2)  $\tau$  - ?

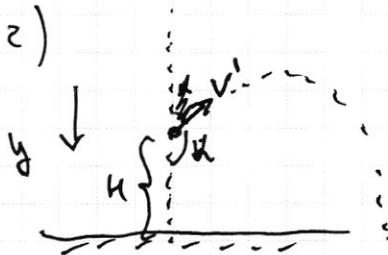
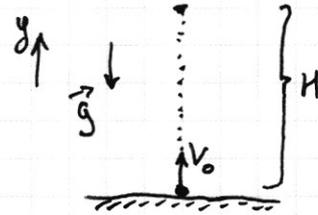
$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh \Rightarrow \left( H = \frac{v_0^2}{2g} \right)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{g}t$$

$$0 = v_0 - gT$$

$$v_0 = gT$$

$$\left( H = \frac{g^2 T^2}{2g} = \frac{gT^2}{2} \right)$$



$$y: H = v'_y \cos \alpha t + \frac{gt^2}{2}$$

$$v_{xy} = v'_y \cos \alpha + gt$$

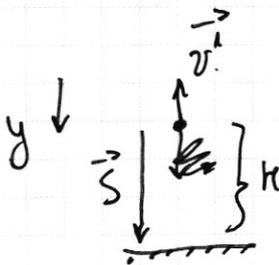
$$2H \Rightarrow gt^2 + 2v'_y t - 2H = 0$$

$$D = (v'_y)^2 + 2gH =$$

$$= (v'_y)^2 + 2gH$$

$$t = -v'_y \pm \sqrt{v_y'^2 + 2gH}$$

$$\Sigma k = 1800 \text{ Дж}$$



$$\vec{s} = \vec{v}'t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

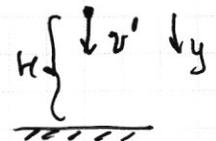
$$H = -v't + \frac{gt^2}{2}$$

$$H = v't_1 + \frac{gt_1^2}{2}$$

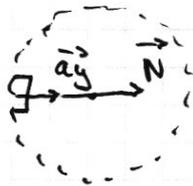
$$H = -v'(10+t_1) + \frac{g}{2}(10+t_1)^2$$

$$t - t_1 = 10$$

$$t_* = 10 + t_1$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

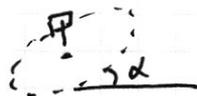


$$\gamma = \text{const}$$

$$m a_y = N$$

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

$$a_y = \frac{N}{m} = \frac{2mg}{2m} = 2g$$



$$a_y = \frac{v_{\min}^2}{R}$$

$$m a_y = N$$

$$\frac{m v_{\min}^2}{R} = N$$



$$F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha$$

$$\mu N = mg \sin \alpha$$

$$\mu \frac{m v_{\min}^2}{R} = mg \sin \alpha$$

$$v_{\min} = \sqrt{\mu R mg \sin \alpha} =$$

$$m a_x = F_{\text{тр}x} + m g_{\text{ox}} + N_x$$

$$m a_y = 0 + -mg \sin \alpha + N$$



$$\frac{m v^2}{R} = N + mg \sin \alpha$$

$$\frac{m v^2}{R} = N - mg \sin \alpha$$

$$= \sqrt{0,8 \cdot 1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}$$

$$N_1 - N + 2mg \sin \alpha = 0$$

$$N = 2mg \sin \alpha$$

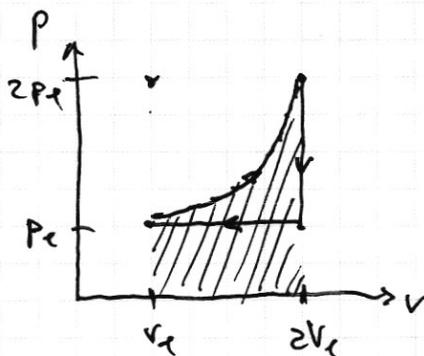
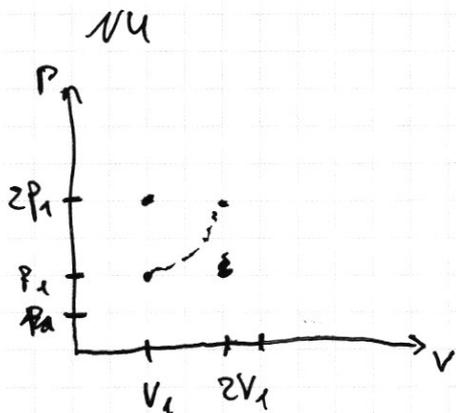
$$N + mg \sin \alpha = m a_y$$



$$mg \sin \alpha$$

$$mg \sin \alpha + N = m a_y$$

$$\mu N = m$$



$$Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} + A_{12}$$

$$A_{12} = S_{12} = 2P_1 \cdot V_1 - \frac{1}{4} \sqrt{5} P_1^2 = 2P_1 V_1 - \frac{1}{4} \sqrt{5} P_1 V_1$$

$$\nu = 3,14 \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (2P_1 2V_1 - P_1 V_1) =$$

$$= \frac{3 \cdot 3}{2} P_1 V_1 = \frac{9}{2} P_1 V_1$$

$$\begin{array}{r} 3,14 \cdot 4 \\ \underline{28} \\ 34 \\ \underline{32} \\ 20 \end{array}$$

$$Q_{12} = 4,5 P_1 V_1 + P_1 V_1 (2 - \frac{1}{4} \sqrt{5}) = (4,5 + 2 - \frac{1}{4} \sqrt{5}) =$$

$$= (6,5 - 0,785)$$

$$\approx 5,715 P_1 V_1$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$$

$$A_{12} = P_1 V_1 (2 - \frac{1}{4} \sqrt{5})$$

$$\begin{array}{r} 6,500 \\ \underline{0,785} \\ 5,715 \end{array}$$

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

$$k = \frac{\sum m_0 v^2}{2} = \frac{m_0 \cdot v^2}{2}$$

$$\begin{array}{r} 2,000 \\ \underline{0,785} \\ 1,215 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 57 \\ \times 35 \\ \hline 285 \\ 171 \\ \hline 1995 \end{array}$$

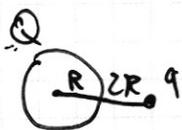
$$\begin{array}{r} 215 \\ \underline{5715} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 21500 \ 5715 \\ \underline{17145} \ 93 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5715 \\ \times 3 \\ \hline 17145 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 20 \ 57 \\ \underline{171} \ 35 \\ 285 \\ \underline{285} \\ 5 \end{array}$$

$$0,035 \quad 3,5\%$$



$$F_k = \frac{k Q Q}{g R^2}$$

$$\frac{2}{57} = 0,035$$

$$\frac{2000}{57} = 35$$