

# 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  $\tau = 10 \text{ с}$ .~~

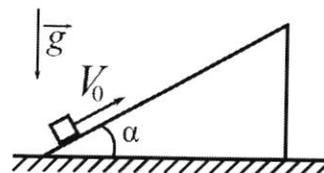
1) На какой высоте  $H$  взорвался фейерверк?

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.

*Через какое время первый осколок упадет на землю?*

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.

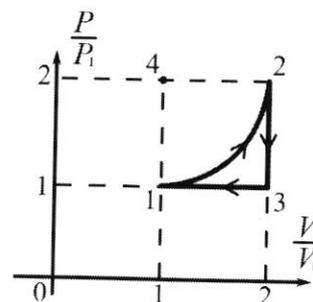
2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение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

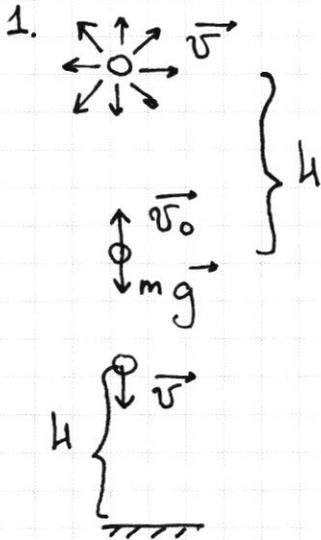
1) Найдите силу  $F_1$ , действующую на заряженный шарик.

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



$v = \text{const}$  - скорость осколков

$$\textcircled{1} \begin{cases} H = \frac{v_0 + v_1}{2} \cdot T & \frac{v_0}{2} T = \frac{v_0^2}{2g} \\ H = \frac{v_1^2 - v_0^2}{-2g} \end{cases} \Rightarrow v_0 = gT$$

$$v_0 = 10 \cdot 3 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$v_1 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , т.к.  $H$  - max

$$H = \frac{v_0}{2} \cdot T = \frac{30 \cdot 3}{2} = 45 \text{ м} \quad \text{Ответ: } 45 \text{ м.}$$

$$\textcircled{2} K = E_{k1} + E_{k2} \dots + E_{kn} \Rightarrow$$

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

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Самым первым упадет осколок, который ближе всех к земле  $\Rightarrow$  на расстоянии  $K$ .

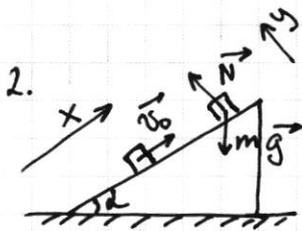
$$H = v \Delta t + \frac{g \Delta t^2}{2} \Rightarrow 5 \Delta t^2 + 60 \Delta t - 45 = 0$$

$$\Delta t^2 + 12 \Delta t - 9 = 0 \quad D = 144 + 36 = 200$$

$$\Delta t = \frac{-12 \pm 10\sqrt{2}}{2} = -6 \pm 5\sqrt{2}$$

$$\Delta t \approx -6 + 5 \cdot 1,4 = 1 \text{ с}$$

Ответ: 1 с.



$$\textcircled{1} \text{Ox: } -mg \sin \alpha = -ma \Rightarrow a = g \sin \alpha$$

$$\begin{cases} s = \frac{v_1^2 - v_0^2}{-2a} = \frac{v_0^2}{2a} \\ \sin \alpha = \frac{H}{s} \Rightarrow s = \frac{H}{\sin \alpha} \end{cases}$$

$$\frac{v_0^2}{2g \sin \alpha} = \frac{H}{\sin \alpha} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,2} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

$$\textcircled{2} \text{Oy: } N - mg \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

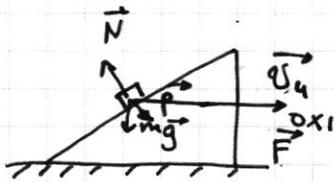
По закону изменения импульса:  $F \Delta t = M v_4 - M v_3$

$\Delta t = 2\tau_{gb}$ , где  $\tau_{gb}$  - время подъема/спуска вагона

$$S = \frac{v_0 + v_1}{2} \tau = \frac{h}{\sin \alpha} \Rightarrow \tau = \frac{2h}{v_0 \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,8} = \frac{1}{4} \text{ c}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8$$

$$\Delta t = 2 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \text{ c}$$



$$F = P \cos \alpha = N \cos \alpha$$

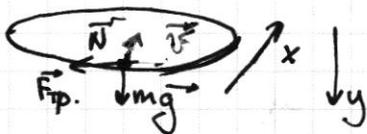
$$|P| = |N|$$

$$N \cos \alpha \Delta t = M v_3 \Rightarrow v_3 = \frac{M g \cos \alpha^2 \Delta t}{M} = 10 \cdot (0,6)^2 \cdot \frac{1}{2} = 1,8 \frac{\text{m}}{\text{c}}$$

$$m = M \Rightarrow N = M g \cos \alpha$$

Ответ:  $1,8 \frac{\text{m}}{\text{c}}$ .

3.



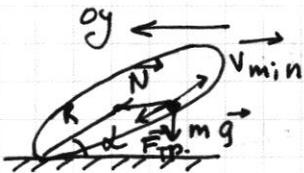
$$1) |P| = |N|$$

$$|N| = 2|F_{\text{тр}}| \Rightarrow N = 2mg$$

$$\text{ox: } N = ma_{\text{цс}}$$

$$2mg = ma_{\text{цс}} \Rightarrow a_{\text{цс}} = 2g$$

Ответ:  $20 \frac{\text{m}}{\text{c}^2}$ .



$$2) \text{oy: } N = ma_{\text{цс}} \Rightarrow N = \frac{m v_{\text{min}}^2}{R}$$

$$a_{\text{цс}} = \frac{v_{\text{min}}^2}{R}$$

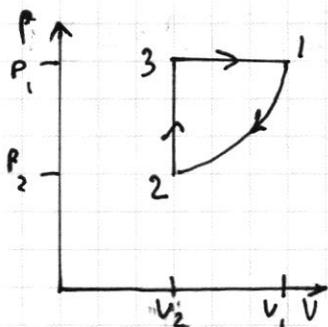
$$\text{ox: } mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0 \quad F_{\text{тр}} = N \mu \Rightarrow$$

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

$$v_{\text{min}} = \sqrt{\frac{mg \sin \alpha R}{m \mu}} = \sqrt{\frac{10 \cdot \sqrt{2} \cdot 1}{2 \cdot 0,8}} = 2,5 \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{c}}$$

Ответ:  $2,5 \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{c}}$ .

4. Дан график в осях  $(\frac{V}{v_1}, \frac{P}{P_1})$ , перерисуйте для осей  $(P; V)$ .



$$1) Q = A_r + \Delta U$$

$$3-1 \quad V \uparrow$$

$$(v_1 - v_2) = P_1 - P_2 = r$$

$$A_r = P_1 (v_1 - v_2) \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} P_1 \Delta V$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

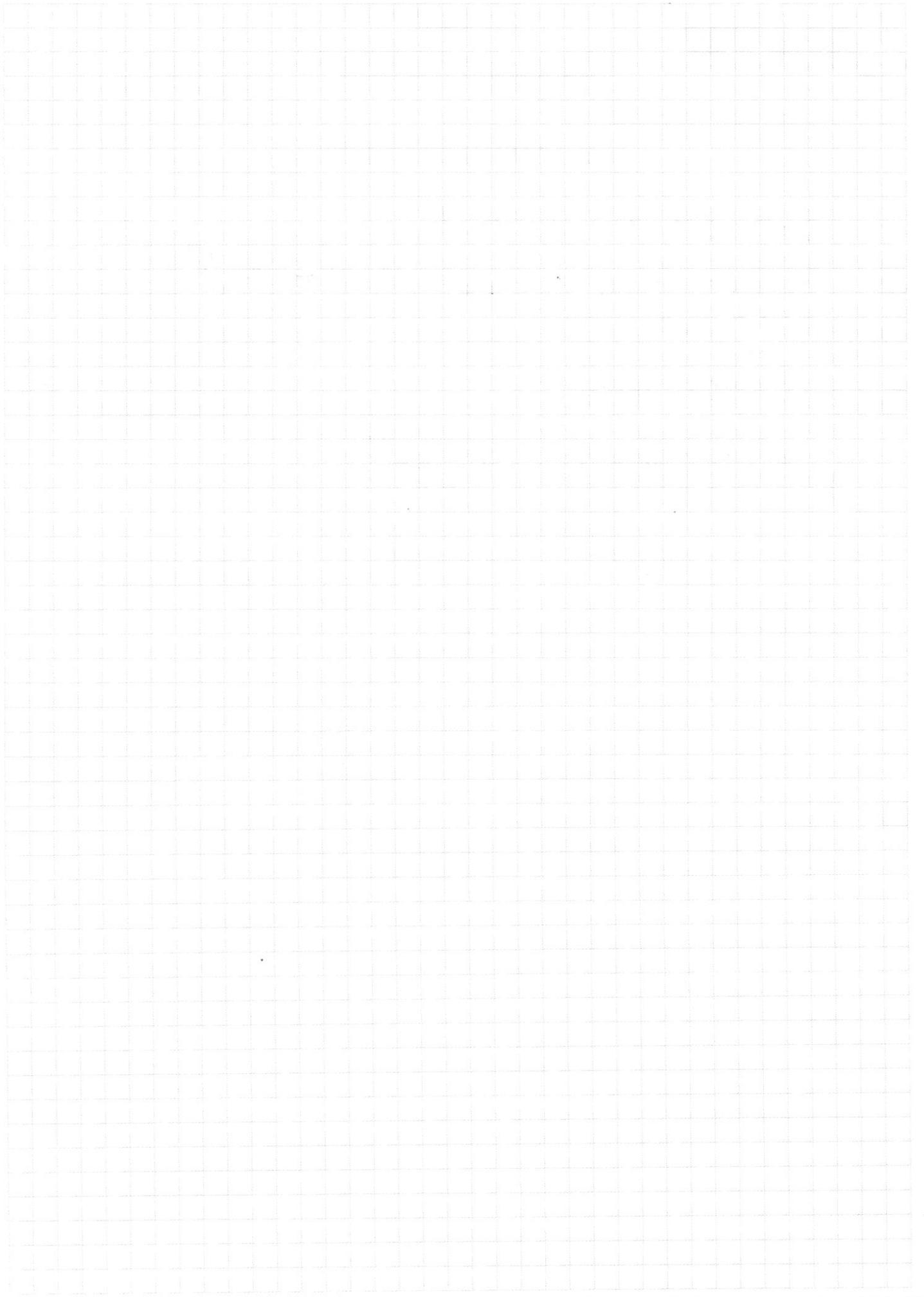
$$Q = P_1 \Delta V + \frac{3}{2} P_1 \Delta V = 2,5 P_1 \Delta V$$

$$\textcircled{2} A_{\text{цикла}} = A_{\Gamma 3-1} - A_{\Gamma 1-2} = P_1 \Delta V - \frac{\pi \Delta V^2}{4}$$

~~③  $\eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q}$~~

$$\textcircled{3} \eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{\Delta V (P_1 - \frac{\pi}{4} \Delta V)}{2,5 P_1 \Delta V} = \frac{P_1 - \frac{\pi}{4} \Delta V}{2,5 P_1}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

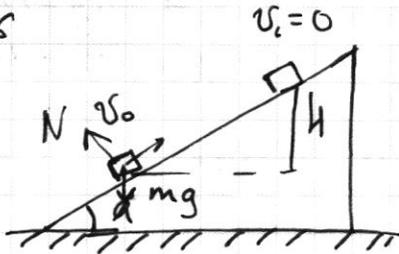
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$F_{тр} = 0$   
 $\cos \alpha = 0,6$   
 $v_0 - ?$

$h = 0,2 \text{ м}$

$M = 2 \text{ т}$

$v - ?$



$v_0 = \sqrt{2gh} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

①  $S = \frac{v_0^2}{2g \sin \alpha}$

$\sin \alpha = \sqrt{1 - 0,36}$   
 $\sin \alpha = 0,8$

~~$S = \frac{h}{\sin \alpha} \Rightarrow S = \frac{h}{\sin \alpha}$~~

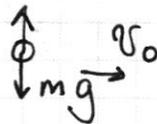
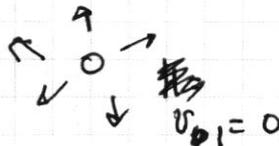
$ma = mg \sin \alpha \Rightarrow a = g \sin \alpha$

$\sin \alpha = \frac{g}{a} \Rightarrow a = \frac{g}{\sin \alpha}$

$h = \frac{v_0}{2} \cdot T = \frac{v_0^2}{2g}$

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

1.  $m = 1 \text{ кг}$   
 $T = 3 \text{ с}$   
 $v = \text{const}$   
 $k = 1800 \text{ Дж}$   
 $T = 10 \text{ с}$



$F_{тр} = m v_0^2$   
 $mg/T = m$   
 $v_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 $h = 45 \text{ м}$

- ①  $h - ?$   
 ②  $\Delta t + - ?$

старая

$v = \sqrt{\frac{2k}{m}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}} - v_{\text{частицы}}$

~~$F_{тр} = m v^2 \Rightarrow A = \frac{m g v^2}{m g} \dots$~~

$\frac{m v_0^2}{2} = m g h$

$h = v_0 \Delta t + \frac{g \Delta t^2}{2} \Rightarrow 5 \Delta t^2 + 60 \Delta t - 45 = 0$

$\Delta t^2 + 12 \Delta t - 9 = 0$

$D = 144 + 36 = 200$

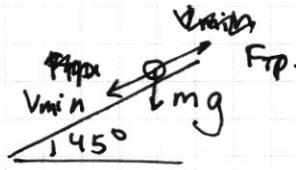
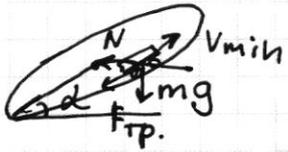
$\Delta t = \frac{-12 \pm 10\sqrt{2}}{2} = -6 \pm 5\sqrt{2}$

$\sqrt{2} \approx 1,4 \Rightarrow \Delta t = 1 \text{ с}$

3.  $a=0$   
 $N=2mg$   
 $F_c=0$   
 ①  $a=?$   
 ②  $v_{min}=?$   
 $\alpha=45^\circ$   
 $\mu=0,8$   
 $R=1m$



$$\textcircled{1} \Delta A = ma \Rightarrow a = \frac{2mg}{m} = 2g$$



$$Ox: F_{tr} - mg \sin \alpha = 0$$

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

$$N = \frac{mg \sin \alpha}{\mu}$$

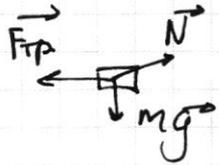
$$Oy: N = ma_{yc}$$

$$a_{yc} = \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{R \cdot mg \sin \alpha}{\mu}}$$

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

$$v = \frac{2,5}{2} \sqrt[4]{2} = 2,5 \sqrt[4]{2}$$



$$2mg = ma \quad a = 2g$$

4.  $Q_{max}$   
 $1 \text{ моль} = 1$   
 $P_1$   
 $V_1$   
 $Q=?$   
 $A=?$   
 $\eta=?$

$$A = \frac{P}{P_1}$$

100 18

12,5

6,25

2-3  $v = \text{const}$   
 $\eta = \text{const}$

$$\frac{T}{P} = \text{const}$$

$$A = 0$$

$$Q = \Delta U$$

1-2  $P = \text{const}$   
 $\eta = \text{const}$

$$\frac{T}{V} = \text{const}$$

$$Q = A_r + \Delta U$$

$$A_r \quad 1-2$$

$$V_2 - V_1 = P_2 - P_1$$

$$P_2 = \frac{P}{V_1}$$

$$V_2 = \frac{V}{V_1}$$

$$\frac{V}{V_1} - V_1 = \frac{V - V_1^2}{V_1}$$

$$P_0 V = \nu R \Delta T$$

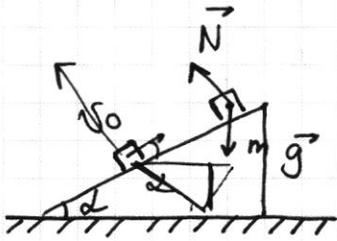
$$\frac{PV}{P_0 V_1}$$

$$V_2^2 - 2V_1 V_2 + V_1^2$$

$$P_2 \cdot V_2 - \frac{\pi (V_2 - V_1)^2}{4}$$

ДРТ

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$oy: N - mg \cos \alpha = 0 \quad N = mg \cos \alpha$$

$$ox: mg \sin \alpha = ma$$

$$\sin \alpha = \frac{H}{S}$$

$$S = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{H}{\sin \alpha} \Rightarrow a = \frac{v_0^2 \sin \alpha}{2H}$$

$$a = \frac{v_0^2 \cdot \sin \alpha}{2H} = g \sin \alpha = 8 \frac{m}{c^2}$$



или

$$mg \sin \alpha = \frac{m v_0^2 \sin \alpha}{2H}$$

$$v_0 = \sqrt{2gH} = 2 \frac{m}{c}$$

$$② \quad F \Delta t = M v_1 - M v_0 \rightarrow 0$$

$$F = N = Mg \cos \alpha \quad m = M$$

$$\Delta t = \tau \uparrow + \tau \downarrow = \frac{1}{2} c$$

$$\tau \uparrow: s = \frac{v_0^2}{2} \tau \Rightarrow \tau = \frac{2}{4 \cdot 2} = \frac{1}{4} c$$

$$\tau \downarrow: s = \frac{v_1^2}{2} \tau \Rightarrow \tau = \frac{2 \cdot 0,8}{4 \cdot 0,8} = \frac{1}{4}$$

$$\tau \downarrow: s = \frac{a \tau^2}{2} \Rightarrow \tau = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,8}{4 \cdot 8}} = \frac{1}{4} c$$

$$Mg \cos \alpha^2 \Delta t = M v_1 \Rightarrow v_1 = \Delta t g \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 10 (0,8)^2 = 4 \frac{m}{c^2}$$

$$1: P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$2: P_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$\Delta U = (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\frac{P}{P_1} = \frac{V}{V_1}$$

$$\frac{P}{P_1} - P_1 = \frac{V}{V_1} - V_1$$

$$P_1 < 0$$

$$V_1 < 0$$

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = r^2$$

$$(V_1 - P_2)^2 + (P_1 - V_2)^2 = (P_2 - P_1)^2$$

$$(P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1) = (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$\cancel{P_2 V_2} - P_2 V_1 - P_1 V_2 + \cancel{P_1 V_1} = \cancel{P_2 V_2} - P_1 V_1$$

$$2P_1 V_1 = P_1 V_2 + P_2 V_1 \quad V_1^2 - 2V_1 P_2 + V_2^2 - 2V_2 P_1 = 2P_1 P_2$$

then

$$P_2 = P_1 + V_2 - V_1$$

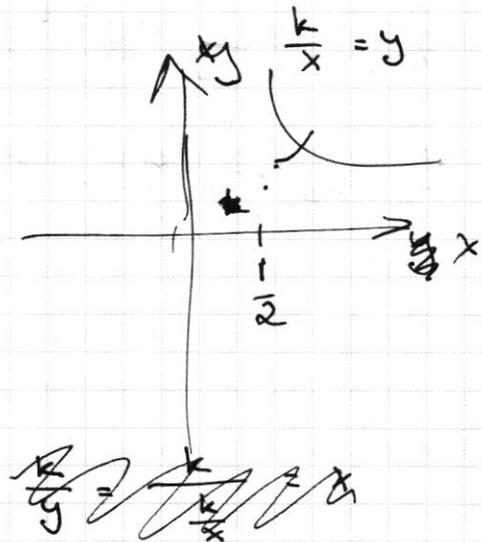
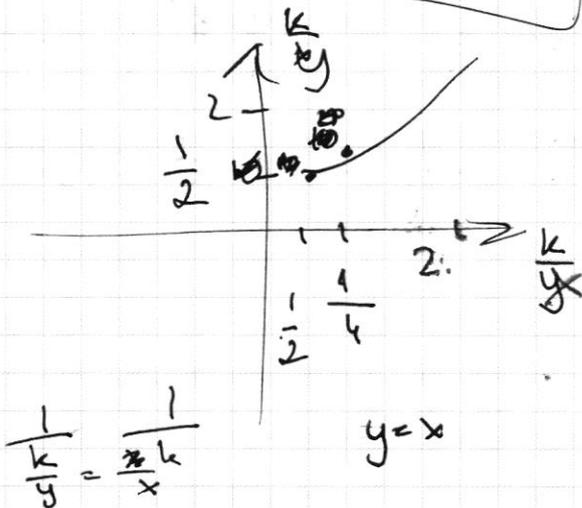
$$2P_1 V_1 = P_1 V_2 + P_1 V_1 + V_1 V_2 - V_1^2$$

$$D = (V_2 - P_1)^2 + 4 P_1^2 V_2^2$$

$$(V_2 + P_1)^2$$

$$V_1 = \frac{V_2 - P_1 \pm (V_2 + P_1)}{-2} = \begin{cases} P_1 \\ -V_2 \end{cases} \quad k=5$$

$$\boxed{P_1 = V_1 \quad P_2 = V_2}$$



$$T_1 - T_3$$

$$\frac{P_1 (V_1 - V_2)}{D R}$$

$$A = \frac{P}{P_2 - P_1} \cdot \frac{P V}{V_2 - V_1} - \frac{\pi}{4} \cdot (V_2 - V_1)^2 = \frac{P V}{(P_2 - P_1)^2} - \frac{\pi}{4} (P_2 - P_1)^2$$

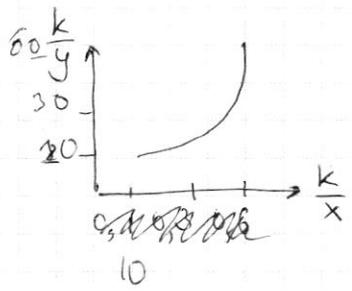
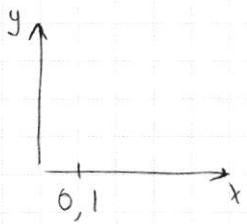
$$\Delta U = \frac{P V}{P_2 V_2} - \frac{P V}{P_1 V_1}$$

$$r = V_1 - V_2 = P_1 - P_2$$

1-2  $V_1 \downarrow$   $P_1 \downarrow$

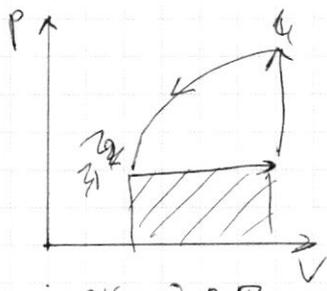
$$k = \frac{1}{0,1} = 10$$

2-3  $P_1 \uparrow$   $V = \text{const}$   
3-1  $V_1 \uparrow$   $\frac{P}{P_1} = \text{const}$



$f(k/x)$

$$\begin{cases} \frac{T_1}{V_1} = \frac{T_3}{V_2} \\ \frac{T_3}{P_1} = \frac{T_2}{P_2} \end{cases}$$



$PV = \text{const}$

$$\frac{P_1 T_2}{(P_1 - r)} = \frac{P_2 (V_1 - r) T_1}{V_1}$$

$$\frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{T_2 P_1}{P_2}$$

$$PV = D R T$$

$$PV = \text{const}$$

$$\frac{1}{P_1} = \frac{1}{P_2}$$

1-2  $T = \text{const}$   $T_1$

$$\frac{P}{P_1} = \text{const}$$

$$Q = A_r + \Delta U$$

$$A_r = \frac{P}{P_1} \cdot \left( \frac{V}{V_2} - \frac{V}{V_1} \right)$$

$$D = \text{const}$$

$$A_r = \frac{P}{P_1} \cdot V \frac{(V_2 - V_1)}{V_1 V_2}$$

$$\Delta U = P_1 (V_1 - V_2)$$

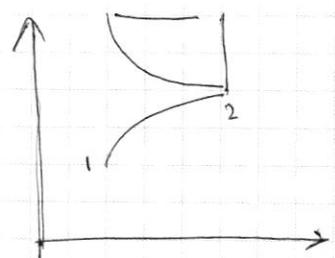
$$Q = (V_1 - V_2) \left( P_1 + \frac{P V}{P_1 V_1 V_2} \right)$$

2-3  $T \downarrow$   $T_1 \rightarrow T_2$   $3-1$   $T \uparrow$   $T_2 \rightarrow T_1$

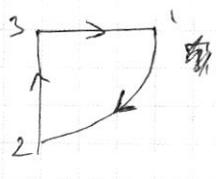
$$P(V_1 - V_3) = \frac{D R T_1}{P_1}$$

$$D R \Delta T$$

$$0 = \frac{T_1}{V_1} - \frac{T_3}{V_2} = \frac{T_3}{P_1} - \frac{T_2}{P_2}$$



$V_1 \downarrow$   
 $P_1 \downarrow$



$$P_1 V_1 = D R T_1$$

$$P_2 V_2 = D R T_2$$

$$Q = A_r + \Delta U$$

$$A_r = \frac{P_2 - P_1}{P_1} (V_1 - V_2)$$

$$P_1 - P_2 = V_1 - V_2$$

$$A_r = (P_1 - P_2) (V_1 - V_2)$$

$$\Delta U = P_1 (V_1 - V_2)$$

$$Q = (V_1 - V_2) (2 P_1 - P_2)$$

$$P_1 V_1 = D R$$

$$\frac{V}{P} = \text{const}$$

$$\frac{V}{V} = \text{const}$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР
------

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)