



# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

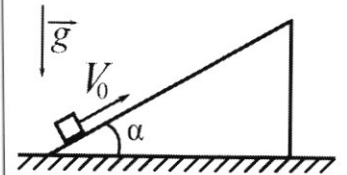
1. Фейерверк массой  $m = 2$  кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва  $H = 65$  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/с<sup>2</sup>. 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/с<sup>2</sup>.



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/с<sup>2</sup>.

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/с<sup>2</sup>.

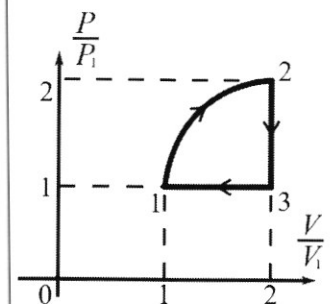
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1$ .

1) Какое количество  $Q$  теплоты подведено к газу в процессе расширения?

2) Найдите работу  $A$  газа за цикл.

3) Найдите КПД  $\eta$  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.

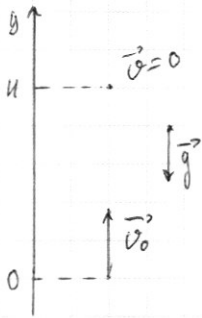
Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Явлениями поляризации пренебрегите.



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 1

1)



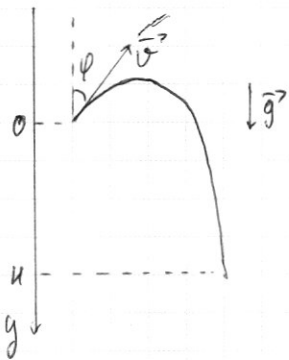
$$y: y = y_0 + \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2gy}$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH}$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 65 \text{ м}} = 10\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)

Скорости всех осколков одинаковые  $\Rightarrow K = \frac{mv^2}{2}$



$$y: y_a = y_0 + v_y t + \frac{g_y t^2}{2}$$

$$H = \frac{g t^2}{2} - v \cos \varphi t$$

$$g t^2 - 2v \cos \varphi t - 2H = 0$$

$$t = \frac{v \cos \varphi + \sqrt{v^2 \cos^2 \varphi + 2gH}}{g} \quad (t \geq 0) \Rightarrow$$

$\Rightarrow t_{\max}$ , при  $\cos \varphi = 1$ ;  $t_{\min}$ , при  $\cos \varphi = -1$

$$\tau = t_{\max} - t_{\min} = \frac{v + \sqrt{v^2 + 2gH}}{g} - \frac{-v + \sqrt{v^2 + 2gH}}{g} = \frac{2v}{g}$$

$$v = \frac{g\tau}{2} \Rightarrow \left( K = \frac{mg^2\tau^2}{8} \right) t_{\min} = \frac{\sqrt{\frac{g^2\tau^2}{4} - 2gH} - \frac{g\tau}{2}}{g} \quad v = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 10 \text{ с}}{2} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

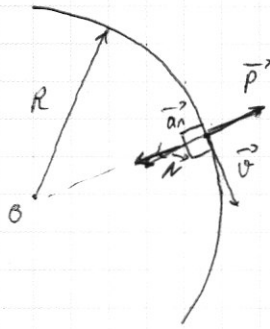
$$\left( K = \frac{2K_0 \cdot (10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2})^2 \cdot (10 \text{ с})^2}{8} = 2500 \text{ Дж} \right); t_{\min} = \frac{\sqrt{\frac{10^2 \cdot 10^2}{4} - 2 \cdot 10 \cdot 65} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \frac{10 \cdot 10}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = (2\sqrt{3} - 5) \text{ с}$$

Ответ: 1)  $v_0 = 10\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; 2)  $(K = 2500 \text{ Дж})$

продолжить на стр. 3.

№ 3.

1) Сила трения поезда компенсирует силу тяжести.



$$\vec{P} = -\vec{N}$$

$$P = N$$

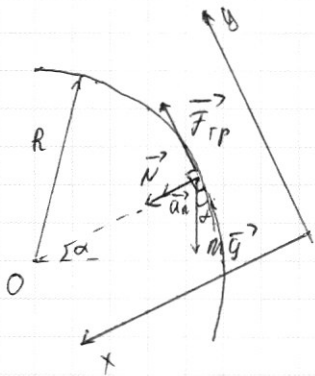
$$m\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{N} = m\vec{a}_n$$

$$N = ma_n = P$$

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

$$P = 0,4 \text{ к} \cdot \frac{(3,7 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{1,2 \text{ м}} = 4,6 \text{ к}$$

2)



Нам крайнее положение системы примыкает, если машинка с  $v_{\min}$  едет в верхней точке круга,  $F_{тр} = \mu N$ .

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}_n$$

$$y: F_{тр} = mg \cos \alpha = 0$$

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

$$x: N + mg \sin \alpha = ma_n$$

$$\frac{g \cos \alpha}{\mu} + g \sin \alpha = \frac{v_{\min}^2}{R}$$

$$v_{\min} = \sqrt{Rg \left( \frac{\cos \alpha}{\mu} + \sin \alpha \right)}$$

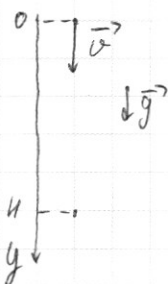
$$v_{\min} = \sqrt{1,2 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{1,3} + 0,5 \right)} = \sqrt{6 + 6,7\sqrt{3}} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } 1) P = 4,6 \text{ к}; 2) v_{\min} = \sqrt{6 + 6,7\sqrt{3}} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

2)



$$y: y = y_0 + v_y t_1 + \frac{g t_1^2}{2}$$

$$h = v t_1 + \frac{g t_1^2}{2}$$

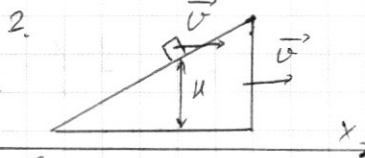
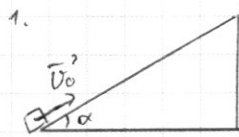
$$t_1 = \frac{-v + \sqrt{v^2 + 2gh}}{g}$$

$$t_1 = \frac{-50 \frac{\text{м}}{\text{с}} + \sqrt{2500 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 65 \text{ м}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = (\sqrt{38} - 5) \text{ с}$$

Ответ:  $t_1 = (\sqrt{38} - 5) \text{ с}$

№2.

1)  $m_{\text{ш}} = m, m_{\text{к}} = 2m$



в ситуации 2 шайба отн. клина неподвижна.

ЗСУ:  $m v_0 \cos \alpha = 3m v \Rightarrow v = \frac{v_0 \cos \alpha}{3} = \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{3} = \frac{1}{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

ЗСЭ:  $\frac{m v_0^2}{2} = \frac{2m v^2}{2} + \frac{m v^2}{2} + m g h \Rightarrow h = \frac{v_0^2 - 3v^2}{2g}$

$$h = \frac{4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{3}{20} \text{ м} = 0,15 \text{ м}$$

продолжение на стр. 5.

№ 4.

1) процесс - 1-2.

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = 4 p_1 V_1 = \nu R T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{4 \nu R T_1}{\nu R} = 4 T_1$$

$$A_{12} = p_1 (V_2 - V_1) + \frac{1}{4} \pi \cdot \cancel{p_1} \cdot (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = p_1 V_1 + \frac{4}{4} \pi p_1 V_1 =$$

$$= \left(1 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 \quad (\text{опред. как площадь под графиком})$$

$$\Delta U_{12} = Q - A_{12}$$

$$Q = A_{12} + \Delta U_{12} = \left(1 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) =$$

$$= \left(1 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 + 4,5 \nu R T_1 = \left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 = \left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) R T_1$$

2)  $A_{\Gamma} = A_{12} + A_{23} + A_{31}$

$$A_{23} = 0; \quad A_{31} = p_1 (V_1 - V_2) = -p_1 V_1$$

$$A_{\Gamma} = \left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 - p_1 V_1 = \left(4,5 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1$$

3)  $A_{\Gamma} = p_1 V_1 + \frac{1}{4} \pi p_1 V_1 - p_1 V_1 = \frac{1}{4} \pi p_1 V_1 = \frac{1}{4} \pi R T_1$

3)  $p_3 V_3 = p_1 V_1 = \nu R T_1$

$$p_2 V_2 = 2 p_2 V_2 = 2 \nu R T_1 \Rightarrow T_2 = \frac{2 \nu R T_1}{\nu R} = 2 T_1$$

$$\Delta U_{23} = \cancel{A} Q_{23}, \quad T_3 < T_2 \Rightarrow Q_{23} < 0$$

$$\Delta U_{31} = Q_{31} - A_{31} \Rightarrow Q_{31} = -p_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3), \quad T_1 < T_3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{31} < 0 \Rightarrow Q_{\text{н}} = Q$$

$$\eta = \frac{A_{\Gamma}}{Q_{\text{н}}} = \frac{\frac{1}{4} \pi p_1 V_1}{\left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1} = \frac{\pi}{22 + \pi}$$

Ответ: 1)  $Q = \left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1$ ; 2)  $A_{\Gamma} = \frac{1}{4} \pi p_1 V_1$

Ответ: 1)  $Q = \left(5,5 + \frac{\pi}{4}\right) R T_1$ ; 2)  $A_{\Gamma} = \frac{1}{4} \pi R T_1$ ; 3)  $\eta = \frac{\pi}{22 + \pi}$

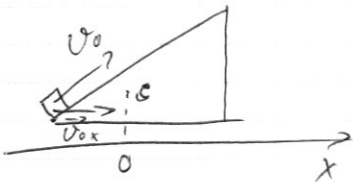
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5.

$$1) F_1 = k \frac{qQ}{(2R)^2} = k \frac{qQ}{4R^2}$$

N2.

$$2) \neq m_m = m_f, m_k = m$$



$$v_{cx} = \frac{m v_{0y}}{2m} = \frac{v_{0y}}{2}$$

Если рассмотреть систему отн. С,

то из соображений симметрии скорость клина

отн. С будет равна по модулю и противоположна по направлению отн. нач. уров.:



$$\Rightarrow \vec{v} = \frac{\vec{v}_{0x}}{2} + \frac{\vec{v}_{0x}}{2} = \vec{v}_{0x}$$

$$v = v \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2 \frac{m}{c} = \sqrt{3} \frac{m}{c}$$

Ответ:  $2) v = \sqrt{3} \frac{m}{c}$ ; 1)  $k = 0,15 \mu$

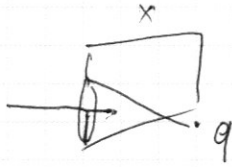




черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

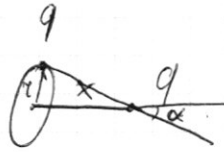
Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

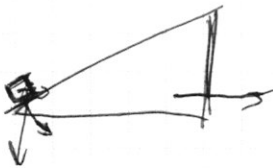
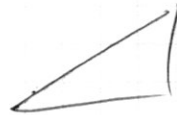
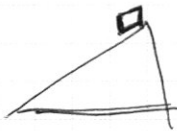
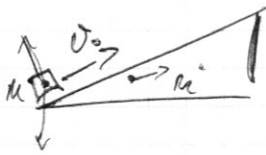


$$y \neq y^2$$

$$dF =$$



$$\frac{kq^2}{x^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{y^2+x^2}} = \frac{kq^2}{x \sqrt{y^2+x^2}}$$

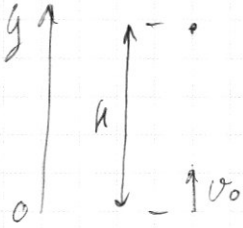




черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$y: y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$$

$$h = v_0 t$$

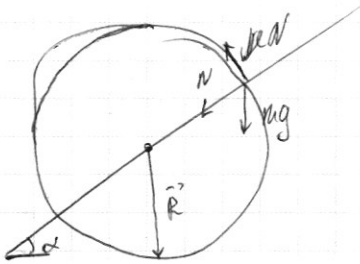
$$\frac{v_{0y}^2 - v_y^2}{2g_y}$$

$$v_{0y} t + g_y \frac{t^2}{2} =$$

$$\frac{v_{0y} + v_y}{2} \cdot \frac{(v_y - v_{0y})}{g_y}$$

$$\frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$$

$$v \cos \varphi = \frac{gt^2}{2}$$



- 1)  $m_{\text{шина}} = 2 \text{ тн}$
- 2)  $m_{\text{ш}} = m_{\text{шина}}$

$$65 = 15.5$$

$$v \cos \varphi = \sqrt{v^2 \cos^2 \varphi + 2gk}$$

g

$$v \cos \varphi = \sqrt{\quad}$$

$$\begin{array}{r} 13 \\ 25 \\ \hline 38 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 13,7 \\ 04 \\ \hline 5,48 \end{array}$$

$$\frac{2}{3} = 6,7$$

$$v \cos \varphi$$

$$\begin{array}{r} 2500 \\ - 1300 \\ \hline 1200 \end{array}$$

$$v \neq \sqrt{v^2 + \frac{2gk}{\cos^2 \varphi}}$$

$$\begin{array}{r} 3,7 \\ 3,7 \\ \hline 259 \\ 111 \\ \hline 13,69 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,8 \\ 12 \\ 36 \\ 18 \\ \hline 216 \end{array}$$

0,

$$\begin{array}{r} 5,48 \quad 11,2 \\ 4,8 \quad 4,5666 \\ \hline 68 \\ 6,0 \\ 80 \\ 7,2 \\ 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 20000 \\ \hline 3 \\ 10000 \\ 5000 \\ 2500 \end{array}$$

$$\frac{10000}{4}$$

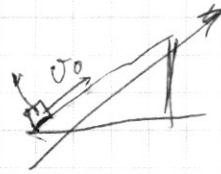
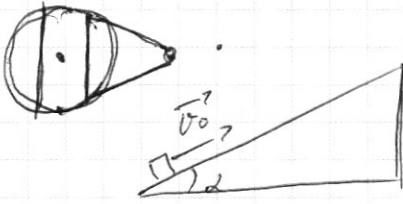
$$2500$$

$$65 = 5 \cdot t + 5t^2$$

t<sup>2</sup>

$$t^2 + t - 13 = 0$$

$$t = \frac{-1 \pm \sqrt{1+52}}{2}$$

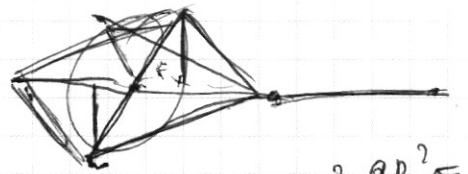
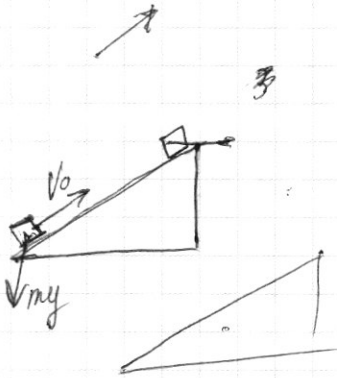


$$1 \frac{3m v_0^2}{2} = m g h + \frac{3m v^2}{2}$$

$$2: m v_0 \cos \alpha = 3m v$$

$$3 \frac{v_0^2}{2} = \frac{3v^2}{2} + g h$$

$$h = \frac{v_0^2 - 3v^2}{2g}$$



$$\Delta U = Q - A_T \quad \text{Ч.} \quad R^2 + 9R^2 =$$

$$x^{-2} \quad A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$$

$$T_1, T_2 = 4T_1, T_3 = 2T_1$$

$$\Delta U = Q$$

$$-2 \cdot 3RT_1 = Q$$

$$Q = -3p \cdot V_1$$

$$\Delta U = Q - A_T$$

$$- \frac{3}{2} p \cdot V_1 = Q_{31} + D \cdot V_1$$

$$Q_{31} = -2.5 p \cdot V_1 \Rightarrow$$

$$(-x^{-1})' = x^{-2}$$

$$\frac{2}{3} x^2 =$$

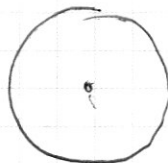
$$dF = k Q \left( \frac{1}{x^2} \cdot A \frac{dx}{R} \right)$$

$$x; m v$$

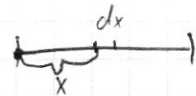
$$k \int$$

m

$$x - y = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \frac{k}{(3R)^2} + \frac{k}{R^2} = k$$



$$\left( \frac{x^2}{4r} \right) =$$



$$\frac{g}{10 \text{ or } 10} \frac{10}{g}$$

$$2 \frac{k}{4R^2} = \frac{dx}{x} m$$

$$dm = \frac{dx}{R} \times m$$