



# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

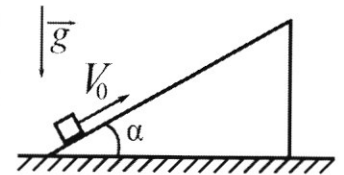
1. Фейерверк массой  $m = 2$  кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разбивается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва  $H =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

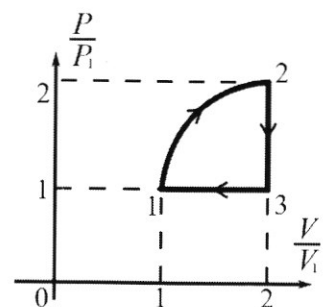
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1$ .

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.

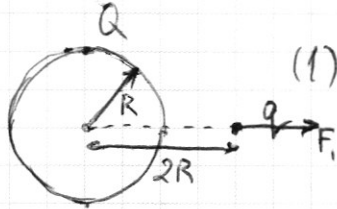
2) Найдите силу  $F_2$ , с которой заряд сферы действует на заряженный стержень.

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

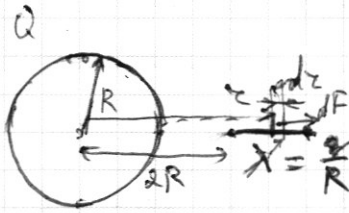
5)



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

Ответ:  $F_1 = \frac{kQq}{4R^2}$

(2)



$$dF = \frac{kQ \cdot \lambda dz}{r^2}$$

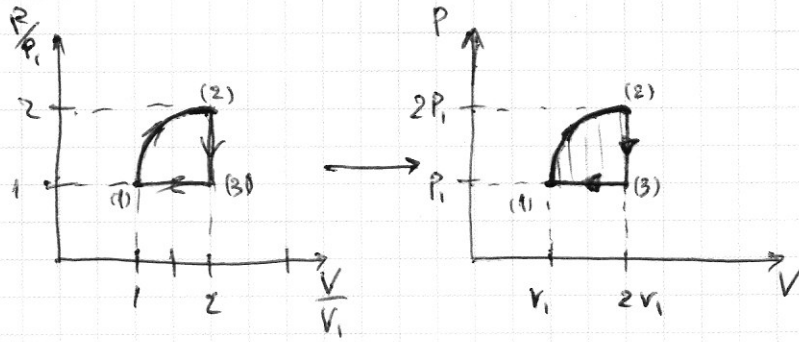
~~$$F_2 = \int_{2R}^{3R} dF = \int_{2R}^{3R} \frac{kQq}{R} \cdot \frac{dz}{r^2} = \frac{kQq}{R} \int_{2R}^{3R} \frac{dz}{r^2}$$~~

$$F_2 = \int_{2R}^{3R} dF = \int_{2R}^{3R} \frac{kQq}{R} \cdot \frac{dz}{r^2} = \frac{kQq}{R} \int_{2R}^{3R} r^{-2} dz = \frac{kQq}{R} \left( -\frac{1}{r} \right) \Big|_{2R}^{3R} =$$

$$= \frac{kQq}{R} \left( \frac{1}{2R} - \frac{1}{3R} \right) = \frac{kQq}{R} \cdot \frac{3R - 2R}{6R} = \frac{kQq}{6R^2}$$

Ответ:  $F_2 = \frac{kQq}{6R^2}$

4)  $\gamma = 1$  моль  
 $T_1$



$$P_1 V_1 = R T_1$$

$$P_2 V_2 = 2P_1 \cdot 2V_1 = 4P_1 V_1 = 4RT_1 = RT_2 \Rightarrow T_2 = 4T_1$$

$$P_1 V_1 = R T_1$$

(PV)  $\gamma$  площадь цикла  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$  равна  $\frac{1}{4}$  части площади с нулями  $P_1$  и  $V_1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow A = A_{123} = \frac{1}{4} \cdot \gamma \cdot P_1 \cdot V_1 = \frac{1}{4} \gamma \cdot R T_1 = \frac{\gamma R T_1}{4} \quad \text{Ответ: } A = \frac{\gamma R T_1}{4}$$

$$(1) Q = A_{123} + \Delta U_{1 \rightarrow 2}$$

$$A_{123 \rightarrow 1} = A + P_1 (2V_1 - V_1) = \frac{\gamma R T_1}{4} + P_1 V_1 = \frac{\gamma R T_1}{4} + R T_1 = \frac{(\gamma + 4) R T_1}{4}$$

$$\Delta U_{1 \rightarrow 2} = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} R T_2 - \frac{3}{2} R T_1 = \frac{3}{2} R (4T_1 - T_1) = \frac{9 R T_1}{2}$$

$$Q = A_{123 \rightarrow 1} + \Delta U_{1 \rightarrow 2} = \frac{(\gamma + 4) R T_1}{4} + \frac{9 R T_1}{2} = R T_1 \frac{\gamma + 4 + 18}{4} =$$

$$= \frac{(\gamma + 22) R T_1}{4} \quad \text{Ответ: } Q = \frac{\gamma + 22}{4} \cdot R T_1$$

(3) В процессах  $2 \rightarrow 3$  и  $3 \rightarrow 1$  тепло отводится  $\Rightarrow Q_1 = Q \Rightarrow$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{123}}{Q_1} = \frac{\frac{\gamma R T_1}{4}}{\frac{(\gamma + 22) R T_1}{4}} = \frac{\gamma}{\gamma + 22}$$

$$\text{Ответ: } \eta = \frac{\gamma}{\gamma + 22}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

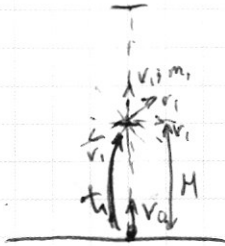
1)  $m = 2 \text{ кг}$   
 $H = 65 \text{ м}$   
 $\tau = 10 \text{ с}$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

$$(1) \frac{mV_0^2}{2} = mgh$$

$$V_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65} = \sqrt{1300} = 10\sqrt{13} \approx 36 \text{ м/с}$$

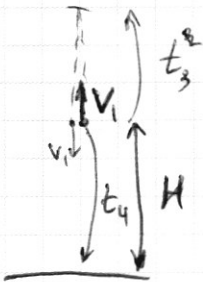
Ответ:  $V_0 \approx 36 \text{ м/с}$

(2)



$$t_1 = \frac{V_0}{g} = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$t_2 = \tau - t_1$$



$$t_3 = \frac{V_1}{g}$$

$$V_1 t_4 + \frac{g t_4^2}{2} = H$$

$$g t_4^2 + 2V_1 t_4 - 2H = 0$$

$$D = 4V_1^2 + 8gH$$

$$t_4 = \frac{2\sqrt{V_1^2 + 2gH} - 2V_1}{2g} = \frac{\sqrt{V_1^2 + 2gH} - V_1}{g}$$

$$2t_3 + t_4 = t_2$$

$$\frac{2V_1}{g} + \frac{\sqrt{V_1^2 + 2gH} - V_1}{g} - \frac{V_1}{g} = \frac{\sqrt{V_1^2 + 2gH} + V_1}{g} = \tau - \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\sqrt{V_1^2 + 2gH} + V_1 = g\tau - \sqrt{2gH}$$

$$\sqrt{v_1^2 + 2gH} + v_1 = gZ - \sqrt{2gH}$$

$$v_1^2 + 2gH = v_1^2 + (gZ - \sqrt{2gH})^2 - 2v_1(gZ - \sqrt{2gH})$$

$$v_1 \cdot 2(gZ - \sqrt{2gH}) = g^2Z^2 - 2gZ\sqrt{2gH} + 2gH - 2gH$$

$$v_1 = \frac{gZ(gZ - 2\sqrt{2gH})}{2(gZ - \sqrt{2gH})} = \frac{10 \cdot 10(10 \cdot 10 - 2\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65})}{2(10 \cdot 10 - \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65})} =$$

$$= 50 \cdot \frac{100 - 20\sqrt{13}}{100 - 10\sqrt{13}} = 50 \cdot \frac{10 - 2\sqrt{13}}{10 - \sqrt{13}} = 50 \cdot \frac{10 - 2 \cdot 3,6}{10 - 3,6} = 50 \cdot \frac{2,8}{6,4} =$$

$$= 25 \cdot 2 \cdot \frac{4 \cdot 7}{8 \cdot 8} = \frac{25 \cdot 7}{8} = 21,875 \approx 22 \text{ м/с}$$

$$\Delta K = \frac{m_1 v_1^2}{2} \Rightarrow K = \sum \Delta K = \frac{v_1^2}{2} \cdot \sum m_1 = \frac{m v_1^2}{2} = 484 \text{ Дж}$$

Ответ:  $K = 484 \text{ Дж}$



3)



$$R = 1,2 \text{ м}$$

$$v_0 = 3,7 \text{ м/с}$$

$$m = 0,4 \text{ кг}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$(1) P_z = mg \pm 4 \text{ (H)}$$

$$P_n = m \cdot \frac{v_0^2}{R} = \frac{0,4 \cdot 3,7^2}{1,2} = \frac{4 \cdot 10^1 \cdot 37^2 \cdot 10^{-2}}{12 \cdot 10^{-1}} = \frac{37^2}{3} \cdot 10^{-2} \approx 456 \cdot 10^{-2} = 4,56 \approx 4,6 \text{ Н}$$

$$P_E = \sqrt{P_z^2 + P_n^2} = \sqrt{16 + 4,6^2} \approx \sqrt{16 + 21} = \sqrt{37} \approx 6,1 \text{ (H)}$$

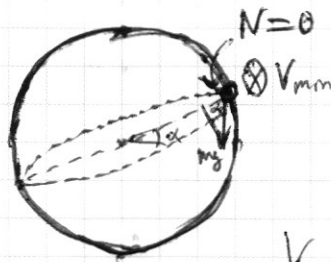
$$P_z = \sqrt{(mg)^2 + F_{TP}^2}$$

$$F_{TP} = \sqrt{P_n} = 0,9 \cdot 4,6 \approx 4,1 \text{ Н}$$

$$P_z = \sqrt{(0,4 \cdot 10)^2 + 4,1^2} \approx \sqrt{16 + 16,8} = \sqrt{32,8} \text{ Н}$$

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_n^2} = \sqrt{32,8 + 21} = \sqrt{53,8} \approx 7,3 \text{ Н} \quad \text{Ответ: } P \approx 7,3 \text{ (H)}$$

(2)



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

$$V_{\min} = \sqrt{gR} \cdot \sqrt{\sin \alpha} =$$

$$= \sqrt{10 \cdot 1,2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{5 \cdot 1,2} = \sqrt{6} \approx$$

$$\approx 2,47$$

$$\text{Ответ: } V_{\min} \approx 2,47 \text{ м/с}$$



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{7}{2} \cdot \frac{7}{2} = \frac{49}{4} = 12,25$$

$$3,6^2 = \frac{36}{10} \cdot \frac{36}{10} = \frac{1296}{100} = 12,96$$

$$\begin{array}{r} 37 \\ \times 37 \\ \hline 259 \\ + 111 \\ \hline 1369 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 62 \\ \times 62 \\ \hline 124 \\ + 372 \\ \hline 372 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 36 \\ \hline 216 \\ + 108 \\ \hline 1296 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 57 \\ \times 57 \\ \hline 399 \\ + 61329 \\ \hline 3249 \end{array}$$

$$10 - 2 \cdot 3,6 = 10 - 7,2 = 2,8$$

$$10 - 3,6 = 6,4$$

$$\begin{array}{r} 2,8 \\ \times 2,8 \\ \hline 224 \\ + 280 \\ \hline 7,84 \end{array}$$

$$\frac{28}{64} = \frac{7 \cdot 4}{4 \cdot 16} = \frac{7}{16}$$

$$25 \cdot 0,875 = 25 \cdot 875 \cdot 10^{-3}$$

$$25 \cdot \frac{7}{8} = \frac{175}{8} = 16 \frac{7}{8} = 16,875$$

$$\begin{array}{r} 23 \\ \times 23 \\ \hline 69 \\ + 460 \\ \hline 529 \end{array}$$

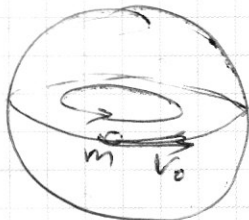
$$\begin{array}{r} 875 \\ \times 875 \\ \hline 4375 \\ + 7500 \\ \hline 21875 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 24 \\ \times 24 \\ \hline 96 \\ + 480 \\ \hline 576 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 22 \\ \times 22 \\ \hline 44 \\ + 440 \\ \hline 484 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1369 \overline{) 3} \\ 12 \quad \overline{) 456} \\ \hline 16 \\ \underline{15} \\ 19 \\ \underline{18} \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 16 \\ \times 16 \\ \hline 10 \\ + 96 \\ \hline 256 \end{array}$$



$$4,6^2 = 46 \cdot 46 \cdot 10^{-2}$$

$$\begin{array}{r} 46 \\ \times 46 \\ \hline 276 \\ + 1840 \\ \hline 2116 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 58 \\ \times 58 \\ \hline 4 \end{array}$$

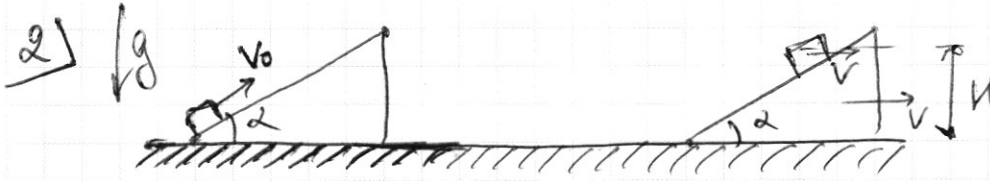
$$\begin{array}{r} 417 \\ \times 417 \\ \hline 119 \\ + 1640 \\ \hline 1689 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15 \\ \times 15 \\ \hline 75 \\ + 150 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 73 \\ \times 73 \\ \hline 219 \\ + 510 \\ \hline 5329 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 74 \\ \times 74 \\ \hline 296 \\ + 5180 \\ \hline 5476 \end{array}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$v_0 = 2 \text{ м/с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$\alpha = 30^\circ$$

(1)  $m v_0 \cos \alpha = 2 m v$

$$v = \frac{v_0 \cos \alpha}{2}$$

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

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

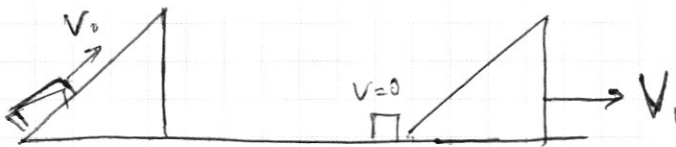
$$H = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v^2}{g} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{4g} =$$

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

$$= \frac{4}{2 \cdot 10} \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \right) = \frac{2}{10} \cdot \frac{8-3}{8} = \frac{1}{8} \cdot \frac{5}{8} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ (м)}$$

Ответ:  $H = 0,125 \text{ м}$

(2)



$$m v_1 = m v_0 \cos \alpha$$

$$v_1 = v_0 \cos \alpha = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \approx 1,73 \text{ м/с}$$

Ответ:  $v_1 \approx 1,7 \text{ м/с}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



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)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)