

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

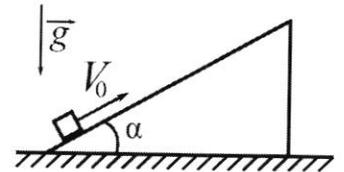
1. Фейерверк массой $m = 2$ кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва $H = 65$ 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/с². 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/с².



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/с².

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/с².

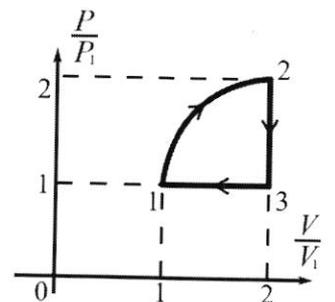
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна T_1 .

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

2) Найдите работу A газа за цикл.

3) Найдите КПД η 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

№ 1.

по закону сохранения энергии

$$\frac{m V_0^2}{2} = m g H \Rightarrow V_0^2 = 2 g H \Rightarrow V_0 = \sqrt{2 g H} =$$

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

запишем уравнение движения первого осколка и последнее уравнение осколка.

$$\begin{cases} H - Vt - \frac{g t^2}{2} = 0 \\ H + V(t+5) - \frac{g(t+5)^2}{2} = 0 \end{cases} \text{ где } t - \text{ время падения 1-ого осколка,} \\ \text{ } V - \text{ скорость осколка}$$

⇓

$$\begin{aligned} H - H - Vt - Vt - V5 - \frac{g t^2}{2} + \frac{g t^2}{2} + \frac{g 2t5}{2} + \frac{g 5^2}{2} = 0 \\ -2Vt - 10V + 100t + 500 = 0 \end{aligned}$$

$$100(t+5) = 2V(t+5) \Rightarrow 2V = 100 \Rightarrow V = 50$$

$$K = \frac{m V^2}{2} = \frac{2 \cdot 50^2}{2} = 2500 \text{ Дж}$$

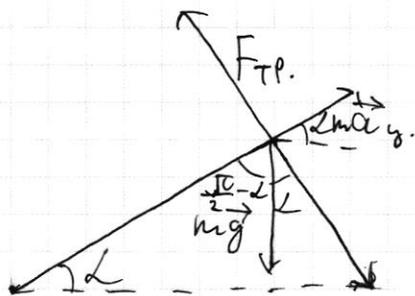
ответ: $V_0 = 36 \text{ м/с}$

$$K = 2500 \text{ Дж}$$

№ 3.

$P = m a_{\text{ц}} =$, где a - центростремительное ускорение

$$= m \frac{v^2}{R^2} = \frac{0,4 \cdot 3,7^2}{1,2^2} = \frac{3,7^2}{3 \cdot 1,2} = \frac{13,69}{3,6} \approx 4,56 \text{ Н} \approx 1 \text{ Н}$$



в верхней точке

$$\vec{F}_{TP} + m\vec{g} + m\vec{a}_y = 0$$

$$F_{TP} = P'$$

где a_y - центростремительное ускорение:

P' - сила реакции опоры

$$P' = ma_y - mg \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = ma_y - mg \cdot \frac{1}{2} =$$

$$= m(a_y - 5) \quad \mu P' = 0,9 m(a_y - 5) = F_{TP} = mg \cos \alpha =$$

$$= mg \frac{\sqrt{3}}{2} \quad 0,9 a_y - 4,5 = 10 \frac{\sqrt{3}}{2} = 5\sqrt{3}$$

$$a_y = \frac{V_{min}^2}{R^2} \quad 0,9 a_y = 0,9 \cdot \frac{V_{min}^2}{1,2 \cdot 1,2} = \frac{3V_{min}^2}{4,8} =$$

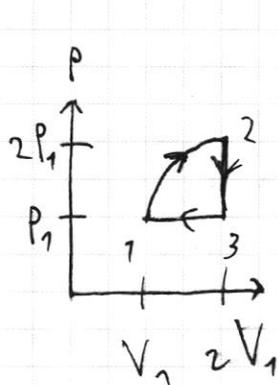
$$= \frac{30 V_{min}^2}{48} = \frac{15}{24} V_{min}^2 = \frac{5}{8} V_{min}^2$$

$$\frac{5}{8} V_{min}^2 - 4,5 = 5 \cdot 7,7 \quad \frac{5}{8} V_{min}^2 = 8,5 + 4,5$$

$$\frac{5}{8} V_{min}^2 = 13 \quad V_{min}^2 = \frac{8 \cdot 13}{5} = \frac{104}{5} = 20,8 \text{ м/с}^2$$

ответ: $P = 1 \text{ Н}$; $V_{min} = 20,8 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№4.

$Q_{12} = A_{12} + U_{12}$, где A_{12} - работа на участке расширения;

U_{12} - изменение внутренней энергии на участке 12

$$Q = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 + P_1 V_1 + \frac{\nu}{2} (4P_1 V_1 - P_1 V_1) =$$

$$= \left(\frac{\pi}{4} + 1 + \frac{9}{2} \right) P_1 V_1 = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2} \right) P_1 V_1.$$

по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$P_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow P_1 V_1 = P T_1 \Rightarrow Q = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2} \right) R T_1$$

A_{31} - работа на участке 31 = $P_1 V_1$;

A_{23} - работа на участке 23 = 0

$$A_{12} = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 + P_1 V_1$$

$$A = A_{12} - A_{31} - A_{23} = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 + P_1 V_1 - P_1 V_1 = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 = \frac{\pi}{4} R T_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{\frac{\pi}{4} R T_1}{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2} \right) R T_1} = \frac{\frac{\pi}{4}}{\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2}} = \frac{\pi}{\pi + 22} = \frac{3,14}{25,14} =$$

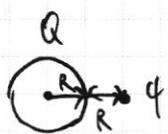
$$= 0,124$$

ответ: $Q = \left(\frac{\pi}{4} + \frac{11}{2} \right) R T_1$; $A = \frac{\pi}{4} R T_1$; $\eta = 0,124$

№5.

~~isovrem~~

1)



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

2)

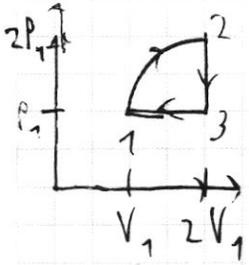


$$F_2 = \int_{2R}^{3R} \frac{kQ \cancel{dq}}{r^2} dr = \frac{kQq}{R} \cdot \frac{1}{r} \Big|_{2R}^{3R} =$$

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

ответы: $F_1 = \frac{kqQ}{4R^2}$; $F_2 = \frac{kqQ}{6R^2}$

Ny.



$$Q_{12} = A_{12} + U_{12} = \frac{\pi P_1 V_1}{4} + P_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$= \frac{\pi}{4} (P_1 V_1) + \frac{3}{2} R (T_2 - T_1)$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1 = R T_1 \quad \frac{\pi}{4} R T_1 + \frac{3}{2} R T_1 = Q_{12}$$

$$4 P_1 V_1 = R T_2 \quad \left(\frac{\pi}{4} + \frac{3}{2} \right) R T_1 = Q_{12}$$

$$A_{123} = A_{12} - A_{13} = \frac{\pi P_1 V_1}{4} = \frac{\pi}{4} R T_1$$

$$\eta = \frac{\frac{\pi}{4} R T_1}{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{3}{2} \right) R T_1} = \frac{\frac{\pi}{4}}{\frac{\pi}{4} + \frac{3}{2}} = \frac{\pi}{\pi + 18} =$$

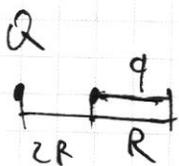
$$= \frac{3,14}{21,44} \approx \frac{1}{7}$$

N.S.



$$F_1 = \frac{k q Q}{4 R^2}$$

$$\frac{9}{36} - \frac{4}{36} = \frac{5}{36}$$



$$F = \int_{2R}^{\infty} \frac{k q Q}{r^2} dr = k q \left(-\frac{1}{9R^2} + \frac{1}{4R^2} \right) = \frac{5 k q Q}{36 R^2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} H = vt - \frac{gt^2}{2} = 0 \\ H + v(t+5) - \frac{g(t+5)^2}{2} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} 65 - vt - 5t^2 = 0 \\ 65 + v(t+10) - 5(t+10)^2 = 0 \end{cases}$$
~~$$\begin{cases} 130 - v(2t+10) - 5(t^2 - t^2 - 20t - 100) = 0 \\ 130 - v(2t+10) - 5(t^2 - t^2 - 20t - 100) = 0 \end{cases}$$~~

$$\begin{array}{r} 3,740000 \\ -2574 \\ \hline 6260 \\ -5028 \\ \hline 12320 \\ 100 \\ \hline 17 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ \sqrt{13} \quad 17 \\ \hline 289 \end{array}$$

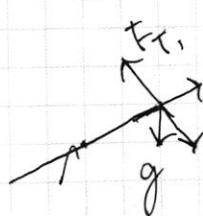
$$\begin{cases} v(-t - t - 10) - 5(t^2 - t^2 - 20t - 100) = 0 \\ v(-2t - 10) = 5(-20t - 100) \end{cases}$$

$$v = 5 \cdot \frac{20t + 100}{2t + 10} = 50$$

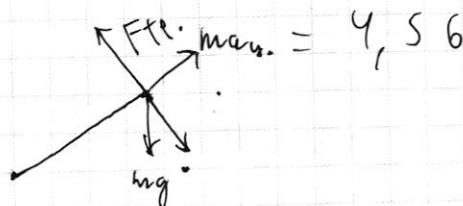
$$\begin{array}{r} 3,6 \\ \times 3,6 \\ \hline 216 \\ 108 \\ \hline 12,96 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,7 \\ \times 3,7 \\ \hline 259 \\ 111 \\ \hline 13,69 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,5 \\ \times 3,5 \\ \hline 175 \\ 105 \\ \hline 12,25 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,5 \\ \times 3,5 \\ \hline 18 \\ 144 \\ \hline 324 \end{array}$$

$$P = m a_{ц.} = m \frac{v_0^2}{R} = 0,4 \cdot \frac{3,7^2}{1,2} =$$



$$= \frac{3,7^2}{3} = \frac{13,69}{3} = \frac{13}{3} + 0,23 = 4 + 0,23 + 0,33 =$$



$$H - 5V - \sqrt{160 + V} - V - 5(5 + \sqrt{160 + V})^2 = 0$$

$$65 - 5V - \sqrt{160 + V} - V -$$

$$H + V(t+5) - \frac{g(t+5)^2}{2} = 0$$

$$H - Vt - \frac{gt^2}{2} = 0$$

$$2(H + V5 - 5(2t^2 + 2t5 + 5^2)) = 0$$

$$130 + 10V - 10t^2 + 10t5 + 55 = 0$$

$$13 + V - t^2 + t5 + \frac{5^2}{2} = 0$$

$$V = t^2 - 10t - 13 - 50 = t^2 - 10t - 63$$

$$65 - t^3 + 10t^2 + 63t - 5t^2 = 0$$

$$-t^3 +$$

$$65 + V(t+10) - 5(t+10)^2 = 0 \quad 65 - Vt - 5t^2 = 0$$

$$V(2t+10) - 10t^2 = 0 \quad V(t+5) - 5t^2 = 0$$

$$V(t+5) = 5t^2 \quad V(2t+10) - 5(20t + 100) = 0$$

$$130 + 10V$$

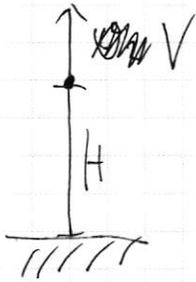
$$2Vt + 10V = 100t + 500$$

$$(50 - V)t = 5(V - 50)$$

$$Vt + 5V = 50t + 250$$

$$(50 - V)t = 5V - 250$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



по закону сохранения энергии

$$\frac{m V_0^2}{2} = m g H \quad V_0^2 = 2 g H$$

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

$$\sum_{i=0}^n \frac{k Q \frac{q}{h}}{2 \pi + \frac{2}{h}}$$

~~$$H + V_0 t - \frac{g t^2}{2} \quad H + V_0(t) - \frac{g (V_0 t)^2}{2} = 0$$~~

~~$$H + V_0 t - \frac{g t^2}{2} = 0$$~~

~~$$2 H + V_0 t - \frac{g (2 t^2 + 2 t V_0 + V_0^2)}{2} = 0$$~~

~~$$2 H + V_0 t - g t^2 + g t V_0 + \frac{V_0^2}{2} = 0$$~~

~~$$4 H + 2 V_0 t - 2 g t^2 + 2 g t V_0 + V_0^2 = 0 \quad g t^2 - g V_0 t - \frac{V_0^2}{2} - V_0 t - 2 H$$~~

~~$$2 g t^2 \quad t^2 - V_0 t - \frac{V_0^2}{2 g} - \frac{V_0 t}{g} - 2 H = 0$$~~

~~$$D = V_0^2 + 4 \cdot \left(\frac{V_0^2}{2 g} + \frac{V_0 t}{g} + 2 H \right) =$$~~

~~$$= V_0^2 + \frac{2 V_0^2}{g} + \frac{4 V_0 t}{g} + 8 H = 100 + \frac{2 \cdot 100}{10} + \frac{4 \cdot 10}{10} +$$~~

~~$$+ 8 \cdot 65 = 100 + 20 + 4 V_0 + 520 = 640 + 4 V_0$$~~

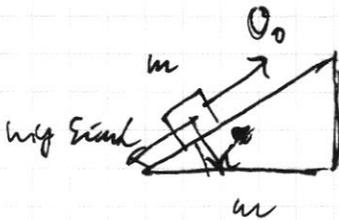
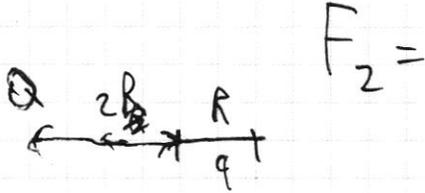
~~$$t = \frac{V_0 + \sqrt{640 + 4 V_0}}{2} = 5 + \sqrt{160 + V_0}$$~~



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$mg \cos \alpha \quad \& \quad \sin \alpha = \mu m \alpha$$

$$g \cos \alpha \quad \& \quad \sin \alpha \equiv a$$

$$m \theta_0 \cos \alpha \equiv$$