

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 06-027

(заполняется секретарём)

Вариант 10-03

1. Мальчик бьет ногой по мячу, который лежал на горизонтальной поверхности земли, на некотором расстоянии от вертикальной стены дома. Мяч полетел под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту и после упругого столкновения со стеной упал через время $t_0=1,5$ секунды после начала полета на то же место, где лежал вначале.

- 1) На каком расстоянии L от стены лежал мяч вначале?
- 2) Найти высоту H от поверхности земли до места удара мяча о стену.
Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 .

2. Шарик массой m_1 , скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, сталкивается с шариком массой m_2 , который покоился на той же поверхности. После центрального упругого удара шарик массой m_1 начал двигаться в обратном направлении со скоростью в 3 раза меньшей начальной.

- 1) Найти отношение масс $\frac{m_2}{m_1}$.
- 2) Найти отношение скорости шарика массой m_2 , после столкновения к скорости шарика массой m_1 до столкновения.

3. Навстречу шарiku, скользящему по гладкой горизонтальной поверхности, движется по той же поверхности брусок. Шарик и брусок движутся вдоль одной прямой. Скорость шарика перпендикулярна грани бруска, о которую он ударяется. Масса бруска много больше массы шарика. После упругого удара шарик движется в обратном направлении со скоростью, которая в 2 раза больше его начальной скорости.

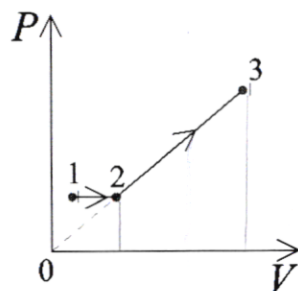
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

4. В двух теплоизолированных сосудах одинакового объема, соединенных короткой трубкой с закрытым краном, находятся $\nu_1=1/3$ моль одноатомного идеального газа при температуре $T_1=300 \text{ К}$ и $\nu_2=1/5$ моль другого одноатомного идеального газа при температуре $T_2=500 \text{ К}$. Кран открывается, газы в сосудах смешиваются.

- 1) Найти температуру в сосудах после установления теплового равновесия.
- 2) Найти отношение конечного давления в смеси газов к начальному давлению в сосуде с температурой T_2 .

5. Объем идеального газа увеличивается в $n=3$ раза в изобарическом процессе, а затем еще раз увеличивается в $n=3$ раза в процессе прямо пропорциональной зависимости давления газа P от его объема V .

- 1) Во сколько раз увеличивается конечная температура газа по сравнению с начальной?
- 2) Найти отношение работы, которую совершает газ в изобарическом процессе, к работе, которую он совершает в процессе прямо пропорциональной зависимости давления газа P от его объема V .



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$t_0 = 1,5 \text{ c}$

$\alpha = 30^\circ$
качка

$H, L = ?$



N1

$H = H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

$L = \frac{L_{\max}}{2} = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

$t_0 = t_{\text{пов}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \frac{gt_0}{2 \sin \alpha}$

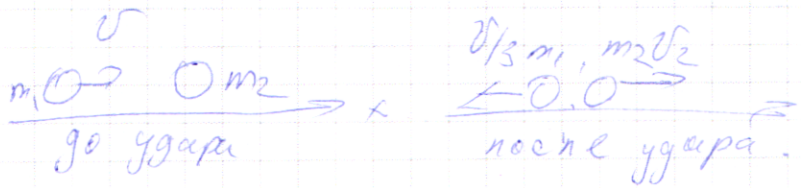
$H = \frac{g^2 t_0^2}{4 \sin^2 \alpha} \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{2g} = \frac{gt_0^2}{8} = \frac{22,5}{8} = 2,81 \text{ м}$

$L = \frac{g^2 t_0^2}{4 \sin^2 \alpha} \cdot \frac{2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{t_0^2 g \cos \alpha}{4} = 13,5 \approx 13,5 \text{ м}$

Ответ: $H = 2,81$

$L = 13,5 \text{ м}$

N2



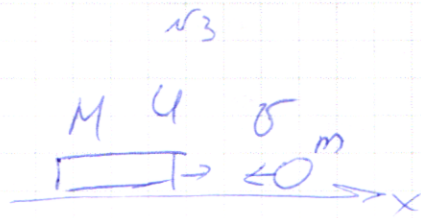
ЗСЧ $m_1 v = m_2 v_2 - m_1 \frac{v}{3}$

$\frac{4}{3} m_1 v = m_2 v_2$

ЗСЭ $\frac{m_1 v^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_1 (\frac{v}{3})^2}{2}$

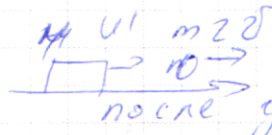
$\frac{8}{9} m_1 v^2 = m_2 v_2^2$

$\Rightarrow \frac{m_1 v}{m_2 v_2} = \frac{3}{4} \quad \frac{m_1 v}{m_2 v_2} = \frac{v_2}{v} \frac{3}{8} \quad \frac{v_2}{v} = \frac{2}{3} \frac{3}{4} = \frac{2}{3}$
 $\frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{3}{4} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2} \quad \text{Ответ:} \quad \frac{v_2}{v} = \frac{2}{3}, \frac{m_2}{m_1} = 2$



$M \gg m$

u - скорость
другой
до удара



u' - скорость
бр. после
удара

v - скорость
шарика

$$3CU \quad Mu - mv = Mu' + mv$$

$$3C \Rightarrow \frac{Mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{Mu'^2}{2} + \frac{m(2v)^2}{2}$$

$$M(u - u') = 3mv$$

$$M(u^2 - u'^2) = 3mv^2$$

$$M(u - u')(u + u') = 3mv^2$$

$$\cancel{3mv} (u + u') = \cancel{3mv} v^2 \quad v = u + u'$$

$$M(u - v + u) = 3mv \quad u' = v - u$$

$$Mu - Mv + Mu = 3mv$$

$$2Mu = v(3m + M)$$

$$\frac{v}{u} = \frac{2M}{3m + M} \approx 2. \quad \text{Ответ: } \frac{v}{u} = 2$$

$T_1 = 300K$

$T_2 = 500K$

$V_1 = \frac{1}{3}$ моль

$V_2 = \frac{1}{5}$ моль

T^L ?

P ?

№4

$$P = P_1 + P_2$$

$$P_1 V = \nu_1 RT_1$$

$$P_2 V = \nu_2 RT_2$$

$$P(2V) = (\nu_1 + \nu_2) RT^L$$

$$\Delta U_1 = -A_1$$

$$\Delta U_2 = -A_2$$

$$\sum A = 0 \Rightarrow A_1 = -A_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U_1 = -\Delta U_2$$

T^L - тем. поле откр.
(систем) Крон.

P_1, P_2 - давлек. 1 и 2 газа
после откр.
крана.

$$\frac{3}{2} \nu_1 R \Delta T_1 = -\frac{3}{2} \nu_2 R \Delta T_2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$P_1 (T_3' - T_1) = P_2 (T_2 - T_1)$$

$$T_1' (V_1 + V_2) = P_1 T_1 + P_2 T_2$$

$$T_1' = \frac{P_1 T_1 + P_2 T_2}{P_1 + P_2} \approx 375 \text{ K}$$

$$P = P_1 + P_2 = \frac{(P_1 + P_2) R T_1'}{2V} = \frac{R (P_1 T_1 + P_2 T_2)}{2V}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 R T_2}{R (P_1 T_1 + P_2 T_2)} = \frac{2V_2 T_2}{V_1 T_1 + V_2 T_2} = \frac{2 \cdot 100}{100 + 100} = 1$$

Ответ: $T = 375 \text{ K}$ $\frac{P_2}{P_1} = 1$

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

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 3$$

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3}$$

$$\frac{P_2}{V_2} = \frac{P_3}{V_3} = \text{const}$$

$$\frac{V_2^2}{T_2} = \frac{V_3^2}{T_3} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^2 = 9$$

$$T_3 = 9 T_2 = 9 (3 T_1) = 27 T_1$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 27$$

$$A_{12} = P \Delta V = P_1 2 V_1$$

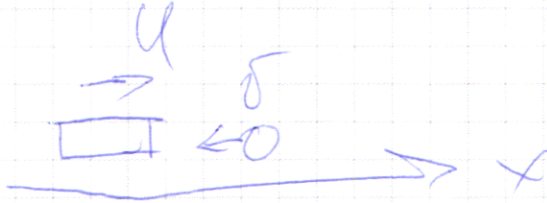
$$A_{2-3} = \frac{1}{2} (P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{1}{2} c (V_3^2 - V_2^2) = \frac{1}{2} c 8 V_2^2 =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{P_2}{V_2} 8 V_2^2 = 4 P_2 V_2 = 4 P_1 3 V_1 = 12 P_1 V_1$$

$$\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{2P_1V_1}{12P_1V_1} = \frac{1}{6}$$

Ответ: $\frac{T_3}{T_1} = 27$; $\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{1}{6}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$Mu - mv = Mu' + 2mv$$

$$\frac{Mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{Mu'^2}{2} + \frac{m(2v)^2}{2}$$

$$M(u^2 - u'^2) = m3v^2$$

$$M(u - u') = m3v$$

~~$$mv(u + u') = 3mv^2$$

$$M(u + u') = 3mv$$~~

$$Mu - mv = M(-u + 3v) + 2mv$$

~~$$Mu - mv = Mu - M3v + 2mv$$~~

$$Mu - mv = 3mv - Mu + 2mv$$

$$2Mu = v(3M + 4m)$$

$$\frac{u}{v} = \frac{3M + 4m}{2M} \approx \frac{3}{2}$$

~~$$m > \frac{M}{2}$$~~

~~$$v_1 = \frac{v}{2}$$~~

$$u + u' = 3v$$
~~$$u' = 3v - u$$~~

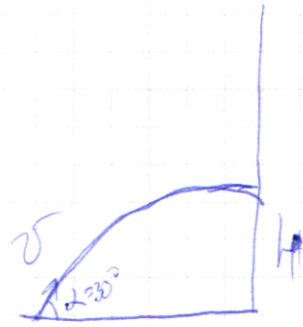
$$v_2 = v$$

~~$$P_1 - P_2 = \frac{v^2 R}{2} - \frac{v^2 R}{2}$$~~

~~$$P = \frac{v^2 R}{2} = \frac{v^2 R}{2} + \frac{v^2 R}{2}$$~~

$$v \Delta u = H$$

$$\begin{array}{r} 15 \\ + 15 \\ \hline 30 \\ + 15 \\ \hline 45 \\ + 15 \\ \hline 60 \end{array}$$



$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{225 \cdot 0,4}{20}$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$t_0 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$v_0 = \frac{gt_0}{2 \sin \alpha} = \frac{10 \cdot 1,5}{2} = 15$$

$$\begin{array}{r} 22,5 \cdot 1,5 \\ 16 \quad 1,5 \\ \hline 45 \\ 40 \quad 5 \end{array}$$

$$H = \frac{gt_0^2}{8} = \frac{10 \cdot 1,5^2}{8} = 2,8125$$

$$L = \frac{gt_0^2 \sin 2\alpha}{4g} = \frac{10 \cdot 1,5^2 \cdot 1,5}{8} = 2,8125 \cdot 1,5 = 4,21875$$

$$L = \frac{gt_0^2 \sin 2\alpha}{4g} = \frac{\sqrt{3} (1,5^2 \cdot 10)}{4} = 2,8125 \cdot \sqrt{3} \approx 4,85$$

$$m_1 v = 2m_1 \frac{2}{3} v - m_1 \frac{1}{3} v$$

$$\frac{4}{3} m_1 v = \frac{4}{3} m_1 v$$

$$m_1 v^2 = 2m_1 v \left(\frac{4}{3} v \right) + \frac{1}{3} m_1 v^2$$

$$22,5 \cdot 5$$

$$\begin{array}{r} 3 \cdot 1,5 \\ \times 1,5 \\ \hline 8,5 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~$$P_1 V_1 - P_2 V_2 = \nu R T_1 - \nu R T_2$$~~

$$\nu R T_1 - \nu R T_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2)$$

$$T_1 - T_2 = \frac{3}{2} T_1 - \frac{3}{2} T_2$$

~~$$\frac{1}{2} T_1 = \frac{1}{2} T_2$$~~

~~$$\nu R T_1 - \nu R T_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_2)$$~~

~~$$T_1 - T_2 = \frac{3}{2} (T_1 - T_2)$$~~

~~$$T_1 - T_2 = \frac{3}{2} T_1 - \frac{3}{2} T_2$$~~

~~$$\frac{1}{2} T_1 = \frac{1}{2} T_2$$~~

~~$$\frac{P_1 + P_2}{2} (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} (P_1 V_1 - P_2 V_2 + P_2 V_1 - V_2 P_1)$$~~

~~$$A = d(PV) = dP V + dV P = \frac{P_1 + P_2}{2} \frac{V_1 + V_2}{2} + \frac{V_2 - V_1}{2} (P_1 + P_2)$$~~

~~$$\frac{1}{2} (P_1 V_1 - P_2 V_2) = \frac{1}{2} T_1 - \frac{1}{2} T_2 = \frac{3}{2} (T_1 - T_2)$$~~

~~$$T_1 - T_2 = 3T_1 - 3T_2$$~~

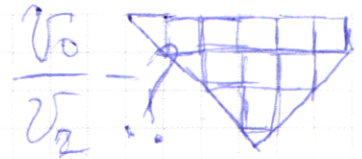
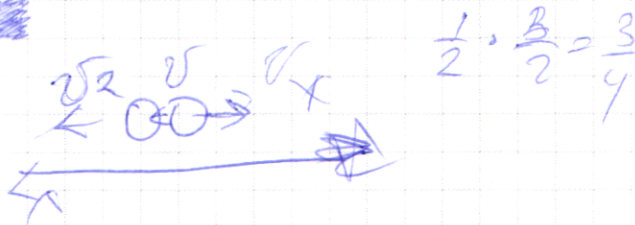
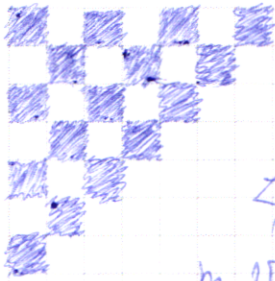
~~$$4T_1 = 4T_2$$~~



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$m_1 v_0 = m_2 v_2 - m_1 v_1 = m_2 v_2 - m_1 \frac{v_0}{3}$$

$$\frac{4}{3} m_1 v_0 = m_2 v_2 \quad \frac{m_1 v_0^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_1 v_0^2}{9}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_0}$$

$$m_1 v_0^2 \left(\frac{8}{9} \right) = m_2 v_2^2$$

$$\frac{4}{3} = \frac{32}{27} \frac{m_2}{m_1}$$

$$\frac{m_1 v_0}{m_2 v_2} = \frac{v_2 \cdot 9}{v_0 \cdot 8} = \frac{4}{3}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{9}{8}$$

$$\frac{v_2}{v_0} = \frac{8 \cdot 4}{27} = \frac{32}{27}$$

$m_1 v_0 = m_2 v_2$
 $m_2 v_2 = m_1 v_0$

$P = \text{const.}$

$$A = P(V - v) = 2P_0 V_0$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} A$$

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

$$\Delta T = \frac{2P_0 V_0}{\nu R} = T_2 - T_1$$

$$\frac{P}{V} = \dots$$

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} \Rightarrow \frac{V_2^2}{T_2} = \frac{V_3^2}{T_3}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^2$$

$$P = aV$$

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

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 3$$

$$T_2 = 3T_1$$

$$= 9$$

$$T_3 = 9T_2 = 27T_1$$

$$A_2 = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1)$$

$$\frac{P_3 V_3}{2} - \frac{P_2 V_2}{2} = \frac{a}{2} (V_3^2 - V_2^2) = \frac{a}{2} 8 V_2^2 = 4a V_2^2$$

$$A_{1-2} = \nu R 2T_1$$

$$A_{2-3} = \nu R$$

$$\alpha = \frac{P_2}{\sqrt{2}}$$

$$2 \cdot 4 (3V_1)^2 = 2 \cdot 36 V_1^2 = \frac{P_2}{\sqrt{2}} 36 V_1^2 =$$

$$= \frac{P_1}{3V_1} 36 V_1^2 = 12 P_1 V_1$$

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

$$\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{2 P_1 V_1}{12 P_1 V_1} = \frac{1}{6}$$

нн

$$P_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$P = P_1 + P_2$$

$$\frac{1}{3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$P_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 2V = \nu_2 R T_2$$

$$m = \nu M$$

$$\frac{m_1 c_1 \Delta T_1}{\nu_1 M c_1 \Delta T_1} = \frac{m_2 c_2 \Delta T_2}{\nu_2 M c_2 \Delta T_2}$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$$

$$\nu_1 T_1 - \nu_2 T_1 = \nu_2 T_2 - \nu_2 T_1$$

$$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T'}{2V}$$

$$= \frac{R (\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1)}{2V}$$

$$T' (\nu_2 + \nu_1) = \nu_2 T_2 + \nu_1 T_1$$

$$\frac{P}{P_2} = \frac{R (\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1)}{2V} \cdot \frac{1}{\nu_2 R T_2} =$$

$$T' = \frac{\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1}{\nu_2 + \nu_1} = \frac{100 + 100}{8 + 15} =$$

$$= \frac{\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1}{2 \nu_2 T_2} = \frac{100 \cdot 2 + 100}{100 \cdot 2} =$$

$$= \frac{15 \cdot 200}{8 \cdot 15} = 375 \text{ K}$$

$$\frac{125}{25} = 5$$