

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 5-009

(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  $10 \text{ м/с}^2$ .

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.

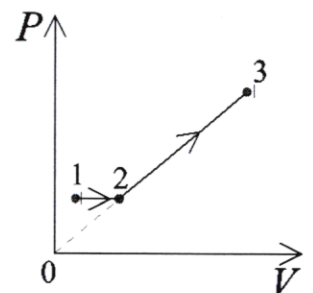
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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

$$A_{23} = \frac{p_3 + p_2}{2} \cdot 2V_2 = \frac{p_3 + p_2}{2} \cdot 6V_4 = \frac{4p_1}{2} \cdot 6V_1 = 12p_1V_1$$

$$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{1}{12}$$

Ответ:  ~~$\frac{1}{12}$~~   $\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{1}{12}$ ;  $\frac{T_3}{T_1} = 27$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

а конечная скорость, в системе связанной с поверхностью:

$$v_k = -(v+u) \cdot \mu = -v - 2u$$

По условию  $v_k = -2v$ , тогда

$$-2v = -v - 2u$$

$$u = \frac{v}{2} ; \quad \frac{v}{u} = 2$$

Ответ:  $u = \frac{v}{2}$

Найдём вк. энергию в каждом сосуде:

$$U_1 = \frac{3v_1}{2} R T_1 ; \quad U_2 = \frac{3}{2} v_2 R T_2 ;$$

После того, как клапан открыли:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} (v_1 + v_2) R T ;$$

$$1) T = \frac{2}{3} \frac{(U_1 + U_2)}{(v_1 + v_2) R} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{3} \frac{R}{R} \left( \frac{v_1 T_1 + v_2 T_2}{v_1 + v_2} \right) = \frac{100 + 100}{\frac{8}{15}} = 375K$$

$$p_2 V_0 = v_2 R T_2 ; \quad p_2 V_0 = (v_1 + v_2) R T ; \quad \text{разделим 2-е уравнение на 1-е}$$

$$\frac{p}{p_2} = \frac{v_1 + v_2}{v_2} \frac{T}{T_2} ;$$

$$2) \frac{p}{p_2} = \frac{\frac{8}{15} \cdot 375}{2 \cdot \frac{1}{5} \cdot 500} = \frac{200}{200} = 1 ; \quad p = p_2 ; \quad \text{Ответ: } 375K ; 1$$

№2 (2-й пункт)

$$v_2 = \frac{2}{3} \frac{m_1}{m_2} v_1 = \frac{2}{3} \cdot 2 v_1 = \frac{4}{3} v_1$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{4}{3}$$

Ответ:  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{4}{3}$

№5

Запишем уравнение состояния для момента 1 и 2

$$p_1 V_1 = \nu R \bar{T}_1$$

$$p_1 V_2 = \nu R \bar{T}_2 = 3 p_1 V_1, \text{ по условию}$$

$$\text{тогда } \bar{T}_2 = 3 \bar{T}_1$$

Уравнение состояния для момента 3:

$$p_3 V_3 = \nu R \bar{T}_3; \text{ так как}$$

$$9 p_2 V_2 = \nu R \bar{T}_3, \text{ так как } V_3 \text{ увелич. в 3 раза и } p_3$$

3 раза, т.к. давление пропорционально

$$\bar{T}_3 = 9 \bar{T}_2 = 27 \bar{T}_1;$$

1)  $\frac{\bar{T}_3}{\bar{T}_1} = 27$  раз

2)  $A_{12} = p_1 \Delta V = p_1 (3V_1 - V_1) = 2 p_1 V_1$

$$A_{23} = p_{ср} \cdot (V_3 - V_2), \text{ где } p_{ср} - \text{среднее давление}$$

$$p_{ср} = \frac{p_3 + p_2}{2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

Так как мяч упал на то же место, где лежал  
вначале, возможен только 1 вариант, где мяч  
ударился перпендикулярно стене, т.е.  $v_y = 0$ , где

$v_y$  - вертикальная составляющая скорости. Т.е.

$$v_y = v \sin \alpha = g t ;$$

$t = \frac{t_0}{2}$ , так как  $v_x$  - горизонтальная скорость

постоянна.

$$v \sin \alpha = \frac{g t_0}{2}, \text{ отсюда}$$

$$v = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} = \frac{15}{4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$1) L = v \cos \alpha \cdot \frac{t_0}{2} = \frac{15}{4} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{1,5}{2} = \frac{2,25 \sqrt{2}}{8} \text{ м}$$

$$2) H = v \sin \alpha \cdot \frac{t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{4} = \frac{15}{2} \cdot \frac{1,5}{2} - \frac{10 \cdot 1,5^2}{8} = \frac{2,25}{8} \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } L = \frac{2,25 \sqrt{2}}{8} \text{ м; } H = \frac{2,25}{8} \text{ м}$$

№2

Запишем законы сохранения импульса и энергии:

$$\begin{cases} m_1 V_1 = \frac{m_1 V_1}{3} + m_2 V_2, \\ \frac{m_1 V_1^2}{2} = \frac{m_1 V_1^2}{2 \cdot 9} + \frac{m_2 V_2^2}{2} \end{cases}$$

Выразим из 3. с. импульса  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{2}{3} \frac{m_1}{m_2} V_1;$$

И подставим во 2-е уравнение 3. с. энергии:

$$m_1 \frac{8}{9} V_1^2 = m_2 \cdot \frac{4}{9} \frac{m_1^2}{m_2^2} V_1^2 \quad | : V_1^2 m_1$$

$$\frac{8}{9} = \frac{4}{9} \frac{m_1}{m_2}, \quad \text{тогда} \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$$

Ответ:  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$

№3

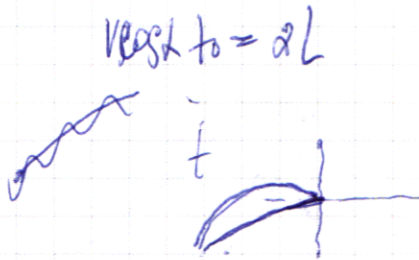
Перейдем в систему отсчета связанную с движущимся бруском: в этой системе отсчета брусок покоится а скорость шарика равна:  $v_{ш} = v + u$ , где  $v$  - скорость шарика,  $u$  - скорость бруска в ~~и~~ системе отсчета связанной с поверхностью. Так как  $m_b \gg m_{ш}$ , можно считать что импульс бруска не изменится, ~~и шарик~~

В нашей системе отсчета у шарика <sup>появится</sup> скорость:

$$v_{ш} = \underline{-(v+u)} \quad v_{бр} = -(v+u)$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$v \sin \alpha t$   
 $\text{tg} \alpha = \frac{v \sin \alpha - g t_0}{v_{\text{оск}}}$



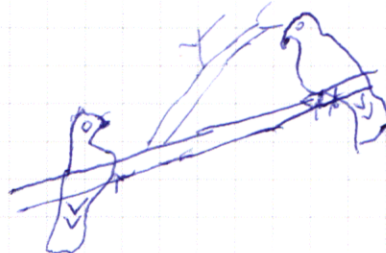
$v \sin \alpha$

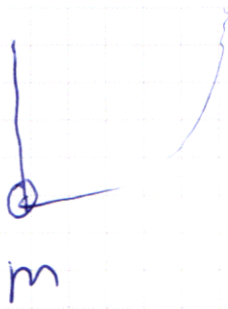
$\frac{2,25}{4} - \frac{2,25}{8} = \frac{2,25}{8}$

$m v_1 = -m v_1 + m v_2$

$\frac{10}{8} \frac{m_2}{m_1} \frac{v_2}{v_1}$

Joda





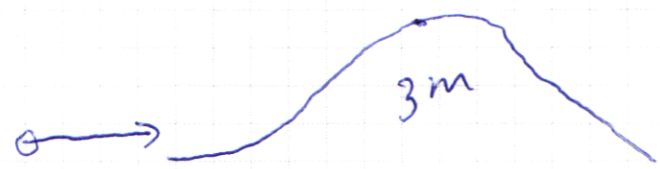
$$mgh = \frac{mv^2}{R}$$

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



$$\frac{v_i^2}{R} = 2g$$

$$\frac{mv^2}{2} - mgh = \frac{mv_i^2}{2}$$



$$mv^2 - mgh = \frac{mv_i^2}{2}$$

$$v^2 = 5gr$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2} + \frac{3mv^2}{2}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{4mv^2}{2}$$

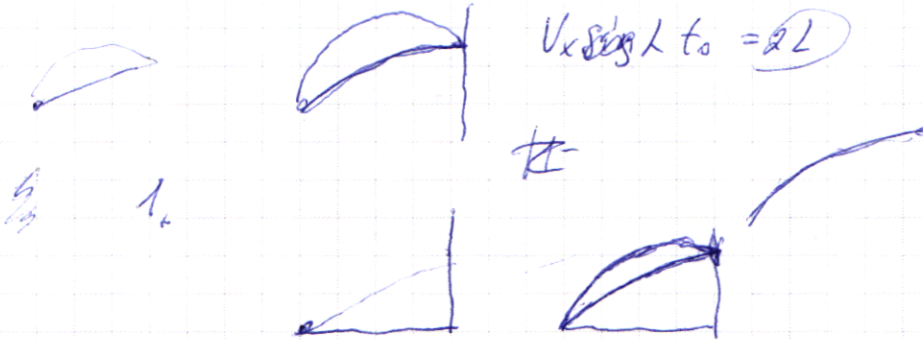
$$mgh = \frac{3mv^2}{2}; \quad \frac{mv_0^2}{2} = \frac{7mv^2}{2}; \quad v_0^2 = 7v^2$$

$$h = \frac{3v^2}{2} = \frac{3v_0^2}{7 \cdot 2} = \frac{3v_0^2}{14g}$$

2)  $v_0$

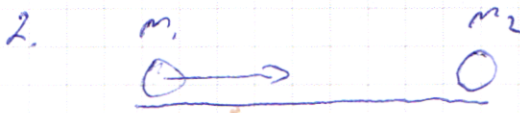
$$v_0 = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \quad | \quad T_1 = 27^\circ\text{C}; \quad v_1 = 2,2 \text{ m/s}; \quad T_2 = 7^\circ\text{C}; \quad v_2 = 0,3$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \cos \alpha}{2} - \frac{g \left(\frac{v_0 \cos \alpha}{2}\right)^2}{2} = 0$$

$$g = v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \cos \alpha}{2} ; \quad v = \frac{2g}{\cos \alpha} = \frac{40}{0,75} = \frac{160}{3}$$



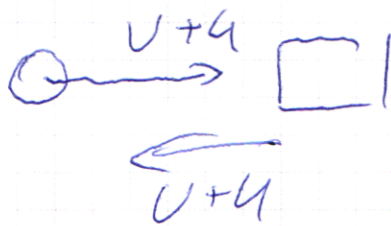
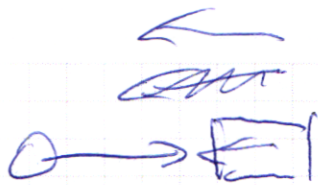
$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 \left(\frac{v_1}{3}\right)^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$m_1 v_1 = m_1 \frac{v_1}{3} + m_2 v_2 ; \quad \frac{2}{3} m_1 v_1 = m_2 v_2 ;$$

$$v_2 = \frac{m_1}{m_2} v_1 \frac{2}{3} ; \quad \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{9} + \frac{m_2 - m_1}{m_2^2} v_1^2 \frac{4}{9}$$

$$v_1^2 = \frac{v_1^2}{9} + \frac{m_2 - m_1}{m_2} v_1^2 \frac{4}{9}$$

$$\frac{8}{9} = \frac{m_1}{m_2} - \frac{4}{9} ; \quad \frac{m_1}{m_2} = 2$$



$$2U + u = 2U; \quad U = \frac{U}{2}$$

$$4 \quad U_1 = \frac{3}{2} U_1 R T_1; \quad U_2 = \frac{3}{2} U_2 R T_2$$

$$\begin{array}{r} 25 \\ \times 15 \\ \hline 125 \quad 375 \\ + 25 \\ \hline \end{array}$$

$$U = U_1 + U_2; \quad T = \frac{U}{\frac{3}{2} UR} = \frac{\frac{3}{2} (U_1 T_1 + U_2 T_2)}{U_1 + U_2} = \frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{5} = \frac{8}{15}}{\frac{3}{2} UR}$$

$$= \frac{100 + 100}{\frac{8}{15}} = 25 \cdot 15 = 375$$

$$5. \quad P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$P_1 V_1 \cdot 3 = \nu R T_1 \cdot 3; \quad T_2 = T_1 \cdot 3 = 375$$

$$\begin{array}{r} 25 \\ \times 15 \\ \hline 125 \\ + 25 \\ \hline \end{array}$$

$$P_2 V_2 - P_3 V_3 = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$P_2 V_2 - P_2 V_2 = \nu R \Delta T$$

$$\Delta T = 8 T_2 = 24 T_1$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{P_1 (V_1 - V_2)}{P_2 (V_3 - V_2)} = \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2}$$