

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 5-019

(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.

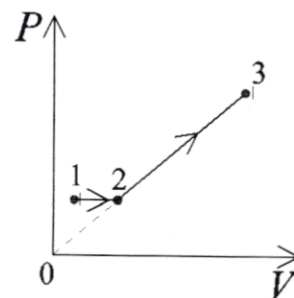
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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  $V$ .

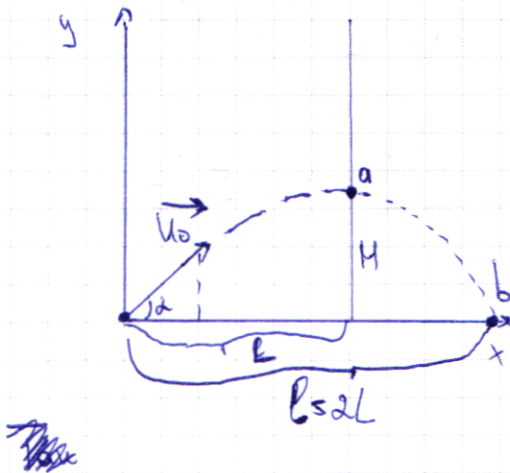
- 1) Во сколько раз увеличивается конечная температура газа по сравнению с начальной?
- 2) Найти отношение работы, которую совершает газ в изобарическом процессе, к работе, которую он совершает в процессе прямо пропорциональной зависимости давления газа  $P$  от его объема  $V$ .





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1



Так как удар мячика об стену был упругим, то в точке  $a$  он не потерял скорости после удара.

Значит ~~также~~ если упрать стену, то он полетит дальше через точку  $a$  <sup>но</sup> такой же траекторией как и после удара о стену

полетел он к мячешку, т.е. время его полёта от мяча к точке  $b = t_0$

Пусть  $L$  - расстояние от мячешка до стены, тогда от стены до точки  $b$  будет такое же расстояние. Из этого:  $H$  - максимальная высота полёта мячешка

А время его полёта от мячешка до стены и от стены до точки  $b$  будет равно  $\frac{t_0}{2}$ .  
 $2L = v_0 \cos \alpha t_0$ .

$$0y: 0 = v_0 \sin \alpha t_0 - \frac{g t_0^2}{2} \cdot \frac{2}{t_0} \Rightarrow 0 = 2 v_0 \sin \alpha - g t_0 \Rightarrow t_0 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$L = 2L = v_0 \cos \alpha t_0 \quad | \quad t_0 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow$$

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

$$L = \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \quad (\text{Подставим } v_0 \text{ из уравнения для } t_0) \quad ; \quad v_0 = \frac{2L}{\cos \alpha t_0}$$

$$L = \left( \frac{2L}{\cos \alpha t_0} \right)^2 \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{g} ;$$

$$\frac{1}{L} = \left( \frac{2}{\cos \alpha t_0} \right)^2 \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{g} = \left( \frac{2}{1,5 \cos 30^\circ} \right)^2 \frac{\sin 30^\circ \cos 30^\circ}{10} = \left( \frac{2 \cdot 2 \cdot 2}{3 \cdot \sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{40} ;$$

$$L = \frac{40}{\sqrt{3}} \left( \frac{3\sqrt{3}}{8} \right)^2$$

$$= \frac{40 \cdot 9 \cdot 3}{64 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5 \cdot 9 \cdot 3}{8 \cdot \sqrt{3}}$$

$$= \frac{135}{8\sqrt{3}} = \frac{135\sqrt{3}}{24} \approx 5,625\sqrt{3} \text{ (м)}$$

2) 0y:  $M = \frac{40 \sin \alpha t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{8}$ ; из уравнения для L:  $L = \frac{40^2 \sin^2 \alpha t_0}{g}$ ;

$$40 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin^2 \alpha t_0}} \Rightarrow \frac{135\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 4}{24 \cdot \sqrt{3}} = \sqrt{\frac{1350}{6}} \Rightarrow 15 \left( \frac{m}{c} \right)$$

$$M = \frac{15 \cdot 1,5}{4} - \frac{10 \cdot 2,25}{8}$$

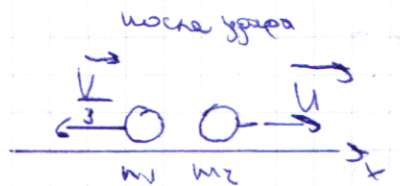
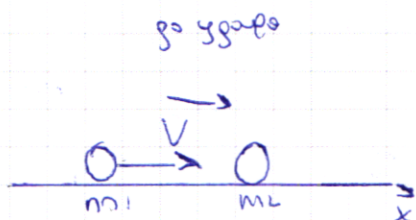
$$= \frac{3 \cdot 15}{8} - \frac{10 \cdot 2,25}{8}$$

$$= \frac{45 - 22,5}{8} = \frac{22,5}{8} \text{ (м)}$$

Ответ: 1)  $L \approx 5,625\sqrt{3}$  м  
 2)  $M = \frac{22,5}{8}$  м.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2



$V$  - скоростью шара с массой  $m_1$

$U$  - скоростью шара с ~~массой~~ <sup>массой</sup>  $m_2$

1) Закон сохр. импульса для системы двух шаров на  $Ox$ :

$$(1) m_1 V = m_2 U - \frac{m_1 V}{3}$$

Закон сохранения энергии для системы двух шаров:

$$\frac{m_1 V^2}{2} = \frac{m_2 U^2}{2} - \frac{m_1 V^2}{18}$$

$$9 m_1 V^2 = 9 m_2 U^2 - m_1 V^2$$

$$U = \frac{V}{3} \sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}} \quad \text{— подставим в ЗСИ.}$$

$$m_1 V = \frac{m_2 V}{3} \sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}} - \frac{m_1 V}{3} \quad | \cdot \frac{1}{m_1 V}$$

$$1 = \frac{m_2}{3 m_1} \sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}} - \frac{1}{3}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{1}{3} \sqrt{8 \frac{m_2}{m_1}} ;$$

$$16 = 8 \frac{m_2}{m_1}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = 2$$

2) из пункта 1.

$$u = \frac{v}{3} \sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{u}{v} = \frac{\sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}}}{3} \Leftrightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2} \text{ (из п. 1)}$$

$$\frac{u}{v} = \frac{3}{\sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}}}$$

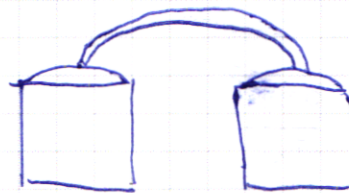
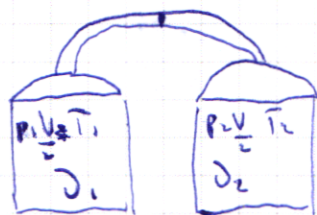
$$\frac{u}{v} = \frac{\sqrt{4}}{3} = \frac{2}{3} = 0,6$$

Ответ: 1)  $\frac{m_1}{m_2} = 2$ .

2)  $\frac{u}{v} = 0,6$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{V}{2}$  - объем одного сосуда.



$p, V, T$   
 $\rho$   
параметры смеси газов после ут. теплового равновесия

$$1) \frac{p_1 V}{2} = \nu_1 R T_1$$

$$\frac{p_2 V}{2} = \nu_2 R T_2$$

$$pV = \nu R T$$

$\nu_1 R T_1 + \nu_2 R T_2 = \nu R T$  ; Так как у смеси газов не было, то  $\nu_1 + \nu_2 = \nu$

$$R \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{200 \cdot 15}{8} = 375 (K)$$

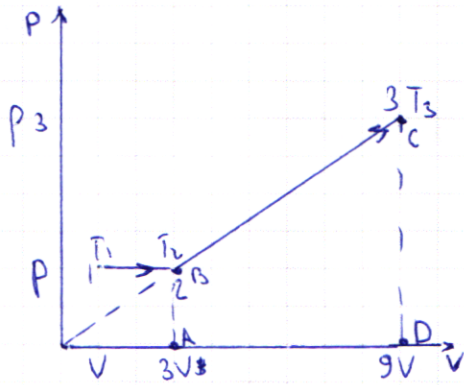
$$2) pV = \nu R T \quad (1)$$

$$p_2 V = 2 \nu_2 R T_2 \quad (2) \quad \text{решим (1) и (2)}$$

$$\frac{p}{p_2} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T}{2 \nu_2 T_2} = \frac{8 \cdot 375}{200}$$

$$= \frac{8 \cdot 3000}{15 \cdot 8} = 1$$

Ответ: 1)  $T = 375 (K)$ ; 2)  $\frac{p}{p_2} = 1$ .



$$1) \frac{pV}{T_1} = \frac{p3V}{T_2}$$

$$T_2 = 3T_1$$

На участке 2-3  $p \propto V$ , значит  $p = kV$ , где  $k$  - коэффициент пропорциональности

$$p_3 = k \cdot 9V \quad \text{— точка 3}$$

$$p = k \cdot 3V \quad \text{— точка 2}$$

$$p_3 = 3p$$

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

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

$$2) \Delta_{1 \rightarrow 2} = p \Delta V = p(V_2 - V_1) = 2pV$$

$A_{2 \rightarrow 3}$  - площадь трапеции ABCD; AB и CD основания; AD - высота

$$A_{2 \rightarrow 3} = \frac{(p+p_3)}{2} \cdot (V_3 - V_2) =$$

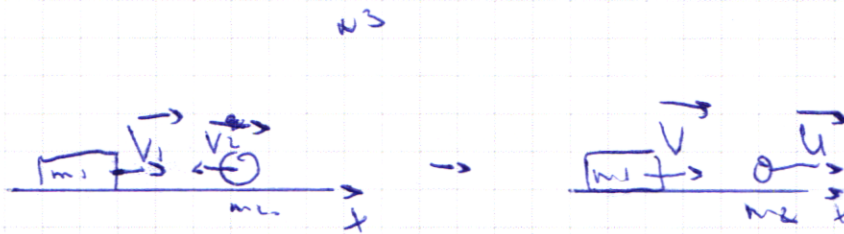
$$= 2p \cdot 6V = 12pV$$

$$\frac{\Delta_{1 \rightarrow 2}}{A_{2 \rightarrow 3}} = \frac{2pV}{12pV} = \frac{1}{6}$$

Ответ: 1)  $\frac{T_3}{T_1} = 27$ ;  $\frac{\Delta_{1 \rightarrow 2}}{A_{2 \rightarrow 3}} = \frac{1}{6}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Т.к.  $m_1 > m_2$  во время разг.  $\vec{v}$  будет больше по модулю и направлению

Закон сохранения импульса при столкновении шаров - брызг. на  $Ox$ .

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_1 v + m_2 u; \quad u = 2v_2$$

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_1 v + m_2 2v_2$$

$$m_1 v_1 - 3m_2 v_2 = m_1 v$$

$$v = \frac{m_1 v_1 - 3m_2 v_2}{m_1} \quad (1)$$

Закон сор. энергии при том же столкн.

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 u^2}{2}$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v^2 + 4m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_1^2 = m_1 v^2 + 3m_2 v_2^2, \text{ подставим } v \text{ из (1)}$$

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

$$m_1 v_1^2 = \frac{(m_1 v_1)^2}{m_1} + 9 \frac{(m_2 v_2)^2}{m_1} - 6 m_1 m_2 v_1 v_2 + 3m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_1^2 = m_1 v_1^2 + 9 \frac{(m_2 v_2)^2}{m_1} - 6 m_1 m_2 v_1 v_2 + 3m_2 v_2^2, \text{ т.к. } m_2 \ll m_1 \text{ во время}$$

$$\text{разг. то } \frac{m_2}{m_1} \rightarrow 0$$

$$m_1 v_1^2 = m_1 v_2^2 - 6m_1 v_1 v_2 + 3m_1 v_2^2$$

$$6m_1 v_1 v_2 = 3m_1 v_2^2$$

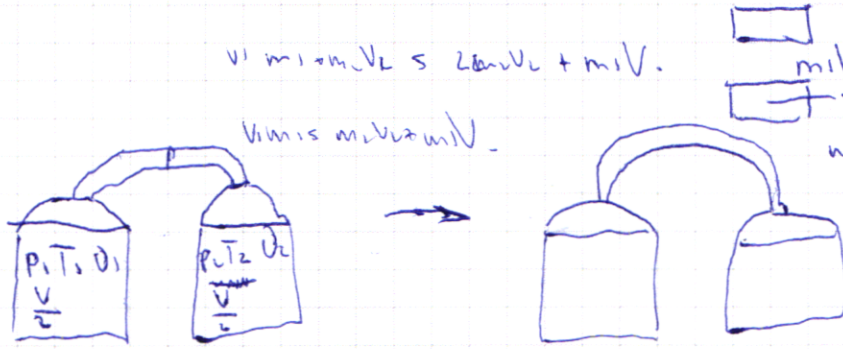
$$2v_1 = v_2$$

$$\frac{v_2}{v_1} = 2$$

Отв: 2

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{V}{2}$  - объём одного сосуда;  $V_{см}$  - хим. эквив. смеси.



$P; T; V_{см}$   
Параметры смеси  
уже после  
установления  
температуры равновесия

1)  $\frac{P_1 V}{2} = \nu_1 R T_1$   
 $\frac{P_1 V}{2 T_1} = \frac{P V}{T}$   
 $\nu_1 R T_1 = (V_1 + V_2) R T$

$T = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{100}{\frac{1}{3} + \frac{1}{5}} = \frac{1500}{8} = 187,5 \text{ (K)}$

$375 \cdot 8 = 3000$   
 $\rightarrow 2000 + 500 + 500$   
 $= 3000$

$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m v^2 + 4 m v_2^2$   
 $v^2 = m v_1^2 + 3 m v_2^2$

$\frac{P_1}{2 T_1} = \frac{1}{2 T_2} = \frac{1}{T}$   
 $\frac{P_1}{1500} = \frac{1}{1500} = \frac{1}{1875}$   
 $15 \cdot 200 = 150$

$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m v^2 + 4 m v_2^2$   
 $m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = (m v_1 - 3 m v_2)^2 + 4 m v_2^2$   
 $m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = (m v_1)^2 + 9 (m v_2)^2 - 6 m v_1 v_2 + 4 m v_2^2$

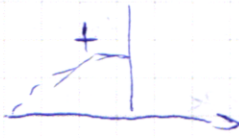


черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

р.1



$$\frac{s}{s}$$

$$L = k \cos \alpha s$$

$$0 = k \cos \alpha s - \frac{m g s}{2}$$

$$l = \frac{2 k \cos \alpha s}{g}$$

$$\frac{k \cos \alpha s}{g} = \frac{1}{2} l$$

$$e = \frac{k \cos \alpha s}{2g}$$

$$e = \frac{e^2 \sin \alpha \cos \alpha}{\cos^2 \alpha g}$$

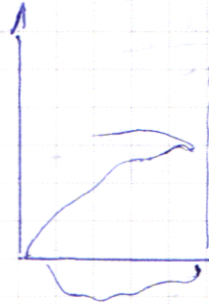
$$s = \frac{e^2 \tan \alpha}{g \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{e} = \frac{\tan \alpha}{g \cos^2 \alpha}$$

$$e = \frac{g l^2}{4 \tan \alpha} = \frac{g l^2}{4 \tan \alpha}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = 2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{8}{16} \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} = \frac{\sqrt{8}}{4}$$



$$L = k \cos \alpha s$$

$$L = \frac{m g \cos \alpha s^2}{2}$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_2^2}{2} + m_2 u^2$$

$$m_1 v = \frac{m_1 v}{3} + m_2 u$$

$$\frac{2 m_1 v}{3} = m_2 u$$

$$k \cos \alpha l = \frac{1}{3} + \frac{m_2 u^2}{m_1 v^2}$$

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

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

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

$$\frac{22,5 \sqrt{3}}{4} = \frac{k \cos \alpha s}{10}$$

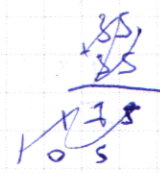
$$\frac{22,5 \sqrt{3}}{4} = \frac{k \cos \alpha s}{20}$$

$$k \cos \alpha = \frac{22,5 \cdot 20}{4} = 5 \cdot 22,5$$

$$k \cos \alpha = \sqrt{5 \cdot 22,5}$$

$$= \sqrt{112,5}$$

$$= \frac{22,5 \sqrt{3}}{4}$$



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

$$4 m_1 = m_2 \sqrt{8 \frac{m_1}{m_2}}$$

$$4 m_1 = \sqrt{8 m_1 m_2}$$

