

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 14-010

(заполняется секретарём)

## Вариант 10-04

1. Мальчик бьет ногой по мячу, который лежал на горизонтальной поверхности земли на некотором расстоянии от вертикальной стены дома. Мяч полетел под углом  $\alpha=60^\circ$  к горизонту и после упругого столкновения со стеной упал через время  $t_0=2$  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 2 раза меньшей начальной.

- 1) Найти отношение масс  $\frac{m_2}{m_1}$ .

*после столкновения*

- 2) Найти отношение скорости шарика массой  $m_2$  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 4 раза больше его начальной скорости.

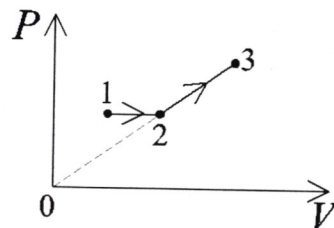
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

4. В двух теплоизолированных сосудах одинакового объема, соединенных короткой трубкой с закрытым краном, находятся  $\nu_1=1/2$  моль одноатомного идеального газа при температуре  $T_1=200 \text{ К}$  и  $\nu_2=1/3$  моль другого одноатомного газа при температуре  $T_2=300 \text{ К}$ . 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  $T_1$ .

5. Объем идеального газа увеличивается в  $n=2$  раза в изобарическом процессе, а затем еще раз увеличивается в  $n=2$  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  $V$ .





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

14-010

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)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{20}{48} = \frac{200}{192} = \frac{100}{96} = \frac{100}{3} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{T_1}{T_3} = \frac{p_1 v_0}{2 p_3 v_1}$$

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{p_1 v_0}{2 p_3 v_2}$$

$$p_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$p_3 V = \frac{\nu_0}{2} R T_3$$

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu_0$$

$$\frac{p_1 V}{R T_1} + \frac{p_2 V}{R T_2} = \frac{2 p_3 V}{R T_3}$$

$$p_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{V}$$

$$p_2 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_3}{2V}$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{\nu_1 T_1 \cdot 2}{T_3 (\nu_1 + \nu_2)}$$

$$\frac{p_1}{R T_1} + \frac{\nu_2 R T_2}{V R T_2} = \frac{2 p_3}{R T_3}$$

$$\frac{\nu_1 T_1}{p_1} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T_3}{2 p_3}$$

$$p_1 = \frac{\nu_1 R T_3}{2V}$$

$$p_3 = \frac{\nu_2 R T_3}{2V}$$

$$p_3 = \nu_2 R T_3$$

$$\nu_1 + \nu_2 = \frac{\nu_1 + 2 \nu_2}{2}$$

$$3 \nu_1 =$$

$$V = \frac{\nu_1 R T_1}{p_1} = \frac{\nu_1 R T_1}{p_1} = \frac{m_1 (\frac{3}{2} \nu_1)}{m_1 (\nu_1^2 - \frac{\nu_1^2}{4})} = \nu_1 \nu_2$$

~~$$m \nu_1 + m \nu_2 = m \nu_3$$~~

отсюда

$$p_1 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) = \frac{2 p_3}{T_3}$$

$$T_3 = \frac{2 p_3 V}{\nu_0 R}$$

~~$$p_3 = \nu_0 k T_3$$~~

~~$$p_3 = \nu_0 k T_3 = \frac{N}{V} k T_3$$~~

~~$$\nu_0 = \frac{2 N k}{\nu_0 R} \quad \nu_0 = \nu_0 N k$$~~

$$\Delta U = \frac{1}{2} \nu_1 R \Delta T_1$$

$$\Delta U = \frac{1}{2} \nu_2 R \Delta T_2$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\nu_1 \cdot 2}{3 \nu_1} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{2 \nu_2 R T_2}{(\nu_1 + \nu_2) R T_3}$$

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R}$$

$$A_{12} = \rho V_1 (h-1)$$

$$pV = \nu RT$$

$$T_1 =$$

$$A_{23} = \frac{p_{12} + n p_n}{2} \cdot V_{1n} (h-1)$$

$$m v_1 + m v_2 = 4 A v_1 + m v_3$$

$$\frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2} = 2 m v_1^2 + \frac{m v_3^2}{2}$$

$$\begin{aligned} p_1 V &= \nu_1 R T_1 \\ p_2 V &= \nu_2 R T_2 \\ p_3 V &= \nu_3 R T_3 \end{aligned}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = \frac{3 \cdot 200}{2 \cdot 300} = 1$$

$$\frac{p_1}{R} \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) = \frac{2 p_3}{R T_3} \rightarrow \frac{p_1}{p_3} = \frac{2}{\frac{T_3}{T_1} + \frac{T_3}{T_2}} =$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{\nu_1 T_1 \cdot 2}{T_3 (\nu_1 + \nu_2)}$$

$$= \frac{2 \nu_1 T_2}{T_3 (\nu_1 + \nu_2)}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$A_1 = A_2 =$$

$$V_1 = V_2 \Rightarrow \frac{i}{2} \nu_1 R (T_3 - T_1) = \frac{i}{2} \nu_2 R (T_3 - T_2)$$

$$\begin{aligned} \frac{p_1 + p_3}{2} \cdot V &= \frac{i}{2} \nu_1 R (T_3 - T_1) = \\ &= \frac{p_1 + p_3}{2} V + \frac{i}{2} \nu_2 R (T_3 - T_2) \end{aligned}$$

$$\nu_1 (T_3 - T_1) = \nu_2 (T_3 - T_2)$$

$$\nu_1 T_3 + \nu_2 T_3$$

$$T_3 = \frac{\nu_1 T_1 - \nu_2 T_2}{\nu_1 - \nu_2} =$$

= OK

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~$$\frac{P_3}{T_3 P_1} = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2 \cdot 2} = \frac{V_1 + V_2}{V_1 T_1 \cdot 2} =$$~~

~~$$\frac{P_1 V_1}{V} = \frac{P_2 T_3}{2V}$$~~
~~$$\frac{P_1 T_2}{V} = \frac{P_2 T_3}{2V}$$~~
~~$$T_3 = \frac{2P_1 V}{P_2} = \frac{2P_1 T_1 + 2P_1 T_2}{T_3} = P_2$$~~

~~$$V = \frac{1}{2} V_1 T$$~~

~~$$\frac{P_1 V}{T_1} = \frac{P_2 2V}{T_3} = \frac{V_1 R T_3 \cdot 2V}{2V T_3}$$~~

~~$$V_1 = \frac{1}{2} k T_1 / V_2 = \frac{1}{2} k T_2$$~~

~~$$Q_1 + Q_2 = Q_{out} = Q_{in}$$~~

~~$$\frac{1}{2} k (V_1 (T_3 - T_1) + V_2 (T_3 - T_2)) + 2 \frac{P_3 + P_1}{2} V = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) k T_3$$~~



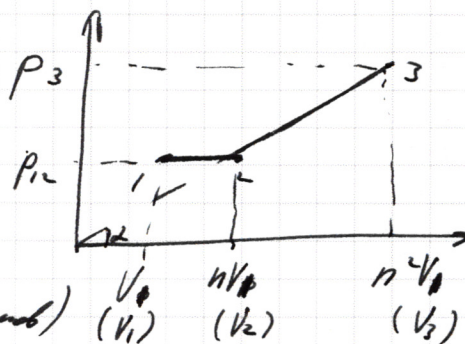
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_2 = n V_1 ; V_3 = n V_2 = n^2 V_1$$

$$\frac{T_3}{T_1} = ? ; \frac{A_{12}}{A_{23}} = ?$$



$$\frac{p_{12}}{p_3} = \frac{n V_1 \rho_{12}}{n^2 V_1 \rho_3} = \frac{1}{n} \quad (\text{из наблюдения})$$

Менделеев - Клапейрон:  $T_3 = \frac{p_3 V_3}{\rho R} = \frac{n p_{12} \cdot n^2 V_1}{\rho R} \quad (1)$

$$T_1 = \frac{p_{12} V_1}{\rho R} \quad (2)$$

$$\begin{cases} (1) \\ (2) \end{cases} \rightarrow \frac{T_3}{T_1} = \frac{n^3 p_{12} V_1 \cdot \rho R}{\rho R \cdot p_{12} \cdot V_1} = n^3 = 8$$

$$A_{12} = p_{12} (V_2 - V_1) = p_{12} V_1 (n - 1) \quad A - \text{площадь под графиком} \Rightarrow \quad (3)$$

$$A_{23} = \frac{p_2 + p_3}{2} (V_3 - V_2) = \frac{p_{12} + p_3}{2} (n^2 V_1 - n V_1) = \frac{p_{12} (n+1) \cdot V_1 \cdot n (n-1)}{2} \quad (4)$$

$$\begin{cases} (3) \\ (4) \end{cases} \rightarrow \frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{p_{12} V_1 (n-1) \cdot 2}{p_{12} V_1 n (n-1) (n+1)} = \frac{2}{n^2 + n} = \frac{1}{3} \approx 0,3$$

Ответ  $\frac{T_3}{T_1} = 8 ; \frac{A_{12}}{A_{23}} \approx 0,3$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

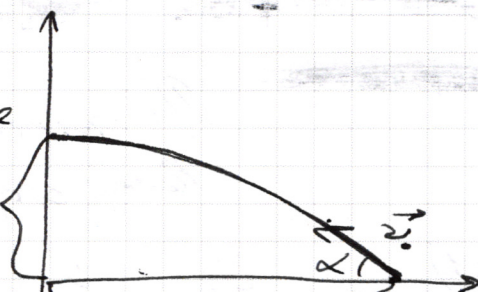
Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

Дано:  
 $t_0 = 2L$   
 $L = 60$   
L-?  
K-?

$K = K_{\max}$ , т.к. под вершине  
на по не место (траектория  
мяча - параболы  $\Rightarrow$  «теннис»  
«флант» и симметрично)  $K$   
Половые  $L \uparrow = L \downarrow = L$

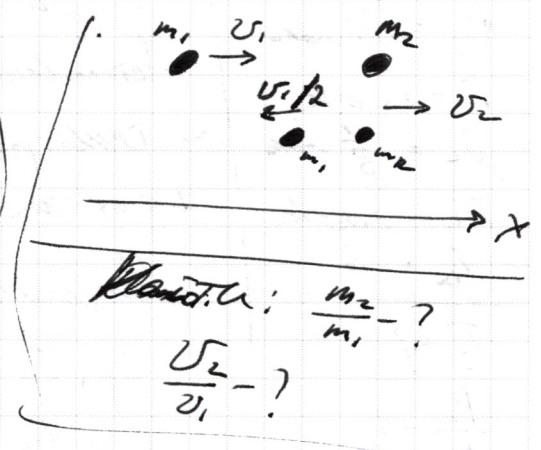


$$2L = v_0 \cos \alpha \cdot t_0 \rightarrow \frac{2L}{K} = \text{угл} \cdot 4 \rightarrow L = \frac{2K}{\text{угл}} = \frac{g t_0}{\text{угл}} = \frac{20}{\sqrt{3}} \approx 11,1 \text{ м}$$

$$K = \frac{v_0 \sin \alpha \cdot t_0}{2} = \frac{g t_0^2}{2} \rightarrow K = 10 \text{ м}$$

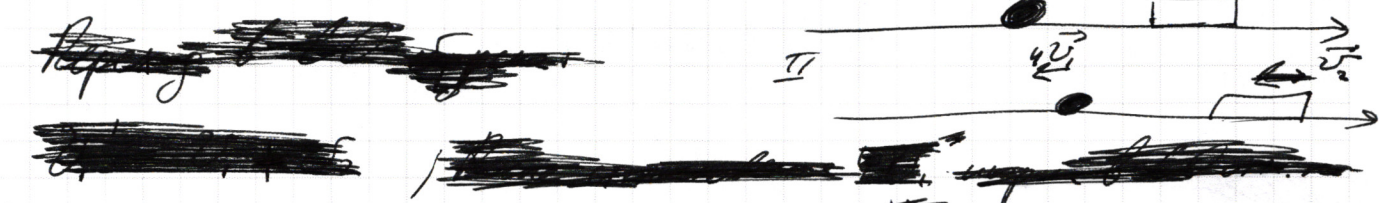
ЗСМ:  $m_1 v_1 = m_2 v_2 - m_1 \frac{v_1}{2}$   
 $(\Delta P_c = 0 \text{ (внеш. сил нет)} \Rightarrow P_1 = P_2$   
 $\vec{P}_{m_1 0} = \vec{P}_{m_1} + \vec{P}_{m_2}$

ЗСЭ:  $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_1 v_1^2}{8}$   
 $\rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{3v_1}{2v_2} = \frac{3v_1^2}{4v_2^2}$   
 $v_1 \cdot 2v_2^2 = v_1^2 v_2$   
 $2v_2 = v_1 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 0,5$   
 $\frac{m_2}{m_1} = \frac{3v_1}{2v_2} = 3$



Ответ:  $\frac{m_2}{m_1} = 3$ ;  $\frac{v_2}{v_1} = 0,5$

$M_{справа} >> M_{слева} \Rightarrow$   <sup>$\sqrt{3}$</sup>  ~~интервалом~~ ~~на~~ ~~пределах~~ ~~...~~ ~~(\Rightarrow~~ ~~на~~ ~~есть~~ ~~...~~ ~~и~~ ~~...~~ ~~и~~ ~~...~~)



До столкновения:  $v_1$  (1)

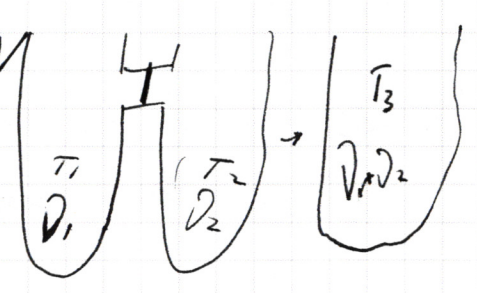
После столкновения  $4v_1 = v_1 + 2v_2$  (2)

$$\begin{cases} (1) \\ (2) \end{cases} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{\frac{3}{2}v_1} = \frac{2}{3}$$

Ответ:  $\frac{2}{3}$

Дано:  
 $v_1 = 0,5 \text{ м/с}$   
 $T_1 = 200 \text{ К}$   
 $v_2 = \frac{1}{3} \text{ м/с}$   
 $T_2 = 300 \text{ К}$   
 $i_{12} = 3$

<sup>$\sqrt{4}$</sup>   
 Сосуды герметичные  $\Rightarrow v_1 = v_2 = v$   
 Состояние равновесие  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  температура, концентрация  
 и давление равны.



Менделеев - Клапейрон:

$$\begin{cases} p_1 v_1 = \nu_1 R T_1 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = \frac{3 \cdot 200}{2 \cdot 300} = 1 \\ p_2 v_2 = \nu_2 R T_2 \\ p_3 v = \nu_0 R T_3 \end{cases} \quad \nu_1 + \nu_2 = \nu_0 \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} + \frac{p_2}{T_2} = \frac{2p_3}{T_3}$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{\nu_1 T_1 \cdot 2}{(\nu_1 + \nu_2) T_3} = \frac{2 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right)}{T_3} = \frac{2(T_1 + T_2)}{T_1 T_2 T_3} \quad p_1 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) = \frac{2p_3}{T_3}$$

Работа газов равна, т.е. начальное давление одинаково  
 $Q_1 + Q_2 = Q_{уд} = \nu R \rightarrow \Delta \nu_1 + \Delta \nu_2 + 2A = \nu R \rightarrow \frac{1}{2} R (\nu_1 (T_3 - T_1) + \nu_2 (T_3 - T_2)) + 2 \frac{p_3 + p_1}{2} V = \frac{1}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T_3$