

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 3-045

(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  $\frac{m_2}{m_1}$ .
- 2) Найти отношение скорости шарика массой  $m_2$  к скорости шарика массой  $m_1$  до столкновения.

молле

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.

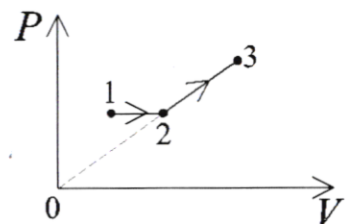
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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  $V$ .





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5.]

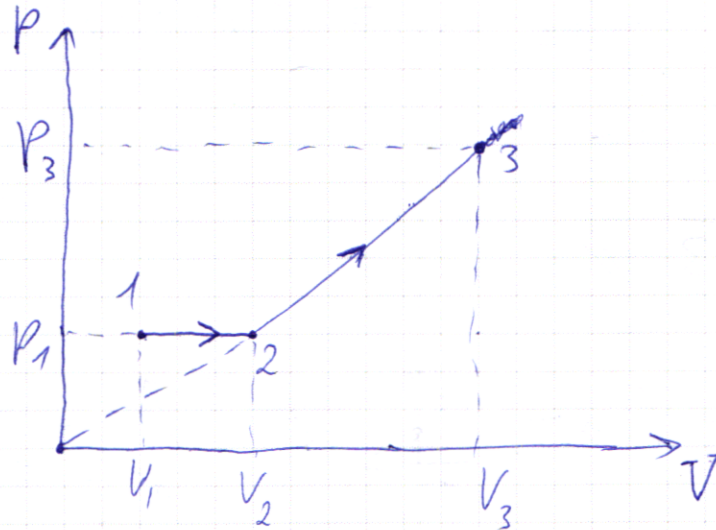
$$V_2 = 2V_1$$

$$V_3 = 2V_2$$

$$\frac{T_3}{T_2} = ?$$

$$\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = ?$$

$$A_{2-3}$$



$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 2$$

$$T_2 = 2T_1 //$$

$$P_3 V_3 = \nu R T_3$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{P_1 V_2} = 2 \cdot \frac{P_3}{P_1}$$

~~P2~~

$$P_2 = 2P_1$$

$$P_3 = 2P_2$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} \cdot \frac{P_2}{P_1} = 2 \cdot 2 = 4$$

$$\frac{T_3}{T_2} = 2 \cdot 2 = 4 //$$

$$A_{1-2} = P_1 \cdot (V_2 - V_1) = P_1 V_1$$

~~$A_{2-3}$~~

$$A_{2-3} = \frac{(P_1 + P_3)}{2} \cdot (V_3 - V_2) = \frac{3}{2} P_1 \cdot V_2 = 3 P_1 V_1$$

$$\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{1}{3}$$

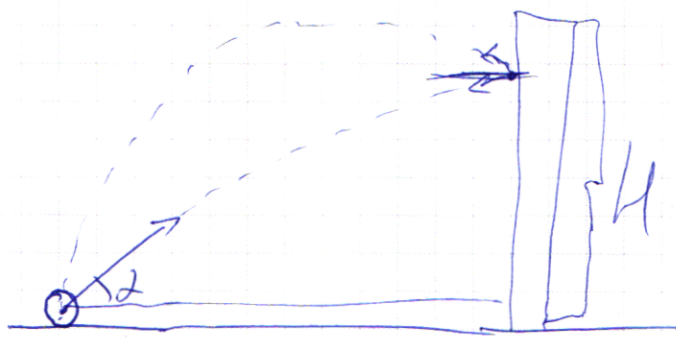
Отвѣт.  $\frac{T_3}{T_2} = 4$ ;  $\frac{A_{1-2}}{A_{2-3}} = \frac{1}{3}$

I

$$\alpha = 60^\circ$$

$$t_0 = 2(c)$$

$$L = ?; H = ?$$



$$L = \frac{V t_0}{2}$$

$$V = V_0 \cos \alpha \Rightarrow L = V_0 \cos \alpha \cdot \frac{t_0}{2}$$

$$t_0 = \frac{2 V_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow t_0 \cdot g = 2 V_0 \sin \alpha \Rightarrow V_0 = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha}$$

$$L = V_0 \cos \alpha \cdot \frac{t_0}{2} = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{t_0}{2} = \frac{10 \sqrt{3}}{3} \text{ (м)}$$

$$H = \frac{g \cdot \left(\frac{t_0}{2}\right)^2}{2} = 5 \text{ (м)} \quad \text{Отвѣт. } L = \frac{10 \sqrt{3}}{3} \text{ (м); } H = 5 \text{ (м)}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4.)  $V_1 = V_2 = V$

$\nu_1 = \frac{1}{2}$  (моль)

$T_1 = 200$  (K)

$\nu_2 = \frac{1}{3}$  (моль)

$T_2 = 300$  (K)

$T = ?$   $\frac{P}{P_1} = ?$

$P_1 V = \nu_1 R T_1$

$P_2 V = \nu_2 R T_2$

$\Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = 1$

$P_1 = P_2$

$P = P_1' + P_2'$

$P \cdot 2V = (\nu_1 + \nu_2) R T$

$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 250$  (K)  $\frac{P}{P_1} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T}{\nu_1 T_1}$

$\frac{P}{P_1} = \frac{T}{T_1} \cdot \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1}$

$\frac{P}{P_1} = \frac{250}{200} \cdot \frac{5}{1} = \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{1} = \frac{25}{4}$

Ответ  $T = 250$  (K);  $\frac{P}{P_1} = \frac{25}{4}$

3.1

$$M \gg m$$

$$V_1' = 4V_1$$

$$\frac{V_1}{V_2} = ?$$

①



$$|P_1| = m v_1 + M v_2$$

②



$$|P_2| = m \cdot 4v_1 + M v_1 - M v_2$$

$$|P_1| = |P_2| \Rightarrow m v_1 + M v_2 = 4m v_1 + M v_1 - M v_2$$

$$2M v_2 = 3m v_1 + M v_1$$

$$2M v_2 = v_1 (3m + M)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{2M}{3m + M}$$

Так как  $m \ll M$

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

Ответ  $\frac{v_1}{v_2} = 2 //$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

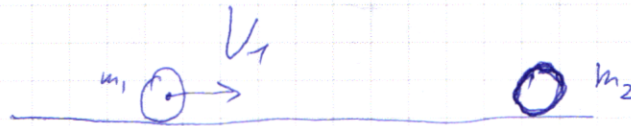
2.)

$$V_1' = \frac{V_1}{2}$$

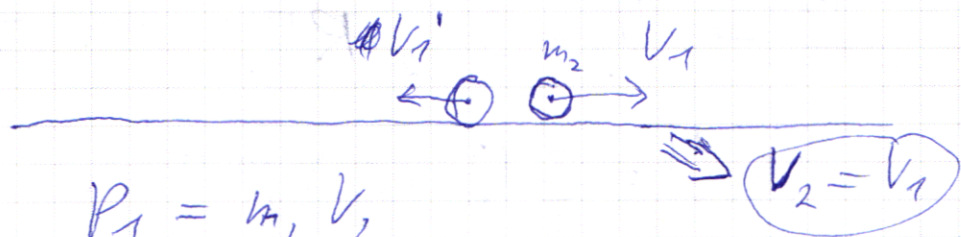
$$\frac{m_2}{m_1} = ?$$

$$\frac{V_2}{V_1} = ?$$

①



②



$$P_1 = m_1 V_1$$

$$P_2 = m_1 V_1' + m_2 V_1$$

$$\text{Так как } P_2 = P_1 \Rightarrow m_1 V_1 = m_1 V_1' + m_2 V_1$$

$$V_1' = \frac{V_1}{2} \Rightarrow m_1 V_1 = \frac{m_1 V_1}{2} + m_2 V_1$$

$$V_2 = V_1$$

$$m_2 V_1 = \frac{m_1 V_1}{2}$$

$$\frac{V_2}{V_1'} = \frac{V_2}{\frac{V_1}{2}} = 2 \cdot \frac{V_2}{V_1} = 2$$

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

$$\text{ОТВЕТ } \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2};$$

$$\frac{V_2}{V_1'} = 2 //$$

$$4.) V_1 = V_2 = V$$

$$\nu_1 = \frac{1}{2} \text{ (моль)}$$

$$T_1 = 200 \text{ (K)}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{3} \text{ (моль)}$$

$$T_2 = 300 \text{ (K)}$$

$$P_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 200}{\frac{1}{3} \cdot 300} = 1 \Rightarrow P_1 = P_2$$

$$T = ?; \frac{P}{P_1} = ?$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$$

$$U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\nu_2 T_2}{\nu_1 T_1} = 1$$

$$U = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \Rightarrow \frac{U}{U_1} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1} \cdot \frac{T}{T_1}$$

$$T = T_1 \cdot \frac{U}{U_1} \cdot \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$T = T_1 \cdot \frac{U_1 + U_2}{2 \cdot U_1} \cdot \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2} = T_1 \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{U_2}{2 \cdot U_1} \right) \cdot \frac{1}{\frac{5}{6}}$$

$$T = T_1 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{6}{5} = \frac{3}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot 200 = 420$$



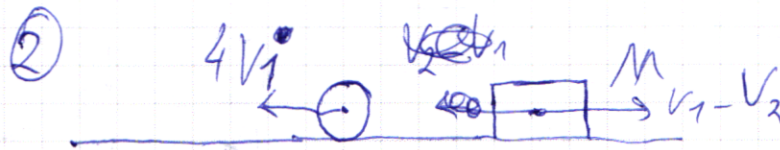
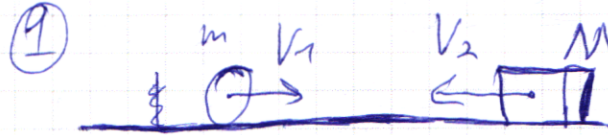
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3.)

$$M \gg m$$

$$v_1' = 4v_1$$

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



$$|P_1| = mv_1 + Mv_2$$

$$|P_2| = m v_1' + M v_2' = 4m v_1 + M (v_1 - v_2)$$

$$|P_1| = |P_2| \Rightarrow m v_1 + M v_2 = 4m v_1 + M v_1 - M v_2$$

$$3m v_1 - M v_1 = 0$$

$$2M v_2 = 3m v_1 + M v_1$$

$$v_2 \cdot 2M = v_1 (3m + M)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{M + 3m}{2M} = \frac{1}{2} //$$

$$5.) V_2 = 2V_1$$

$$V_3 = 2V_2$$

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


---


$$A_{1-2} = ?$$


---


$$A_{2-3} = ?$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$2 \cdot P_1 V_1 = \nu R T_2$$

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

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

$$P_3 V_3 = \nu R T_3$$

$$2P_3 V_2 = \nu R T_3$$

$$P_2 = \alpha V_2 \left| \frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_1} \cdot 2 = 4 \right.$$

$$P_3 = \alpha V_3$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_3}{V_1} = 2$$

$$P_3 = 2P_1$$

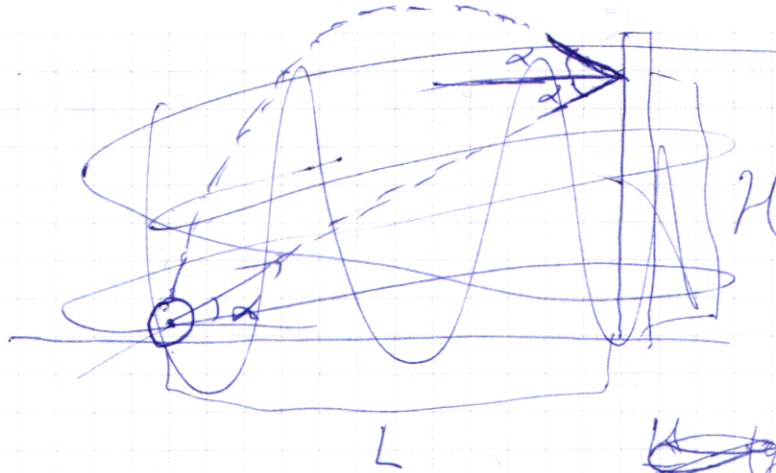
$$A_{1-2} = P_1(V_2 - V_1) = P_1 V_1$$

$$A_{2-3} = \left( \frac{P_2 + P_3}{2} \right) (V_3 - V_2) = \frac{3}{2} P_1 V_2 = 3 P_1 V_1$$

~~A~~  $\textcircled{B}$

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

1.  $\alpha = 60^\circ$   
 $t_0 = 2$  секунды  
 ~~$x_0 = x_0$~~   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$   
 $L = ?$   $H = ?$



~~$L = v_0 \cos \alpha \cdot t_0$~~   $\frac{L}{H} = \frac{v_0 \cos \alpha \cdot t_0}{v_0 \sin \alpha \cdot t_0}$   
 $L = H \tan \alpha$

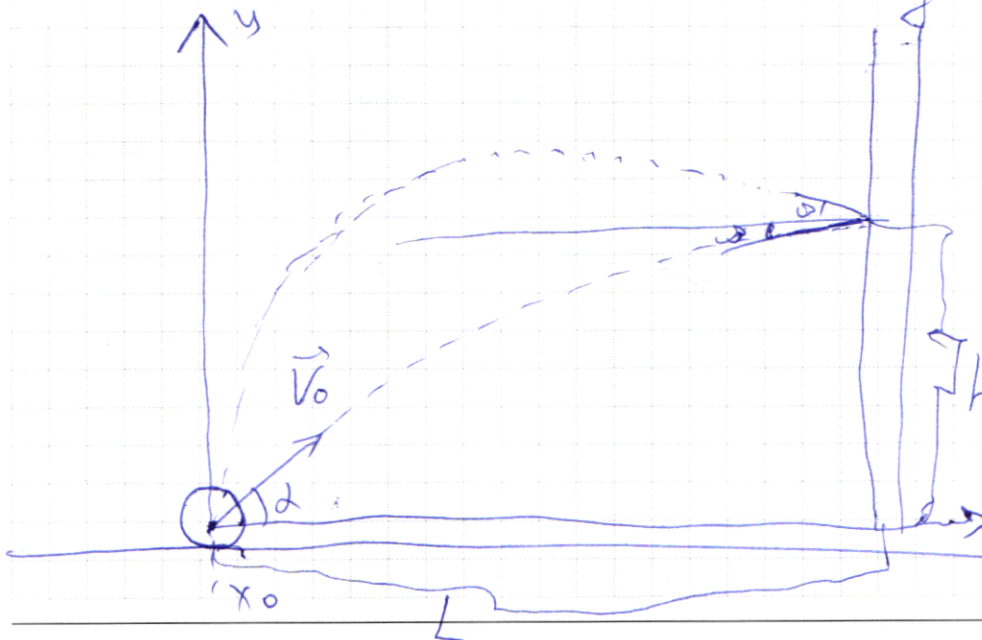
$v_1 = v_2$

~~$m_1 v_1 \cos \alpha = -m_2 v_2 \cos \alpha$~~

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

$L = v_0 \cos \alpha \cdot t_1 = \frac{v_0 \cos \alpha}{2} = \frac{v_0 t_1}{2}$   
 $H = v_0 \sin \alpha \cdot t_1 = \frac{v_0 t_1 \cdot \sqrt{3}}{2} = \frac{v_0 t_1^2}{2} \cdot \sqrt{3}$   
 $v_0 \sin \alpha \cdot t_1 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$

$L = H \cdot \cot \alpha = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$  //  $L = \frac{v_0 t_0}{4}$   
 $H = \frac{v_0 t_0}{4} \cdot \sqrt{3}$



$t_0 = t_1 + t_2$

$(m_1 v_1 = m_2 v_2)$

$|v_1| = |v_2|$

$v_1 = -v_2$

$L = v_0 \cos \alpha \cdot t_2$

$t_1 = t_2 = 1 \text{ с}$

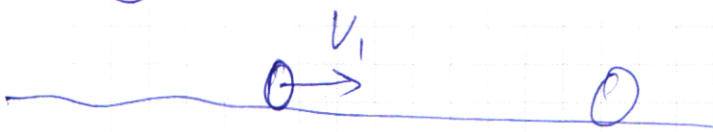
$$L = \frac{V_0 t_0}{4}; H = \frac{V_0 t_0}{4} \sqrt{3}$$

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g}; L = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$H = V_0^2 \cdot \frac{3}{4 \cdot 10} = \frac{3}{40} V_0^2 = \frac{16 L^2}{t_0^2} \cdot \frac{3}{40} = \frac{12}{10} \cdot \frac{L^2}{t_0^2} = \frac{6}{5} \frac{L^2}{t_0^2}$$

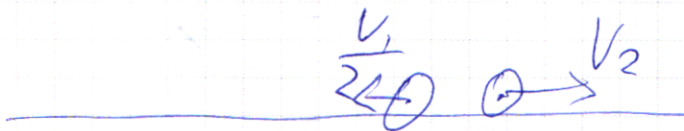
$$L = \frac{V_0^2 \sqrt{3}}{40} = V_0^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{40} = \frac{16 L^2}{3 t_0^2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{40} = \frac{6}{15} \sqrt{3} \frac{L^2}{t_0^2}$$

①



$$V_1' = \frac{V_1}{2}$$

②



$$V_2 = V_1$$

$$P_1 = m_1 V_1$$

$$P_1 = P_2$$

$$P_2 = \frac{m_1 V_1}{2} + m_2 V_2$$

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

$$\frac{\frac{m_1 V_1}{2} + m_2 V_2}{m_1 V_1} = 1$$

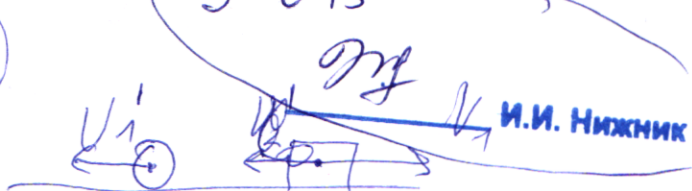
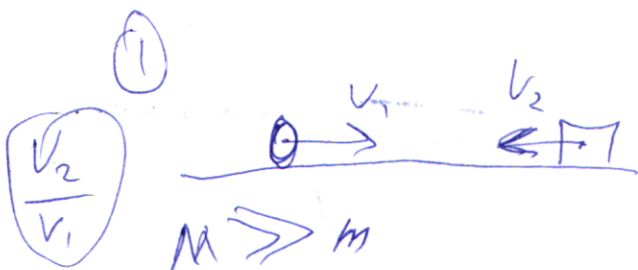
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{V_1}{2 V_2}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{m_2 V_2}{m_1 V_1} = 1$$

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

$$\frac{m_2 V_2}{m_1 V_1} = \frac{1}{2} \Big| \frac{V_2}{V_1} = \frac{m_1}{2 m_2}$$

$$\frac{V_2}{V_1}$$



$M \gg m$

$v_1' = 4v_1$

$P_1 = mv_1 + Mv_2$

$P_2 = m \cdot 4v_1 + M \cdot v_2' = m \cdot 4v_1 + M \cdot v_1$

$mv_1 + Mv_2 = 4mv_1 + Mv_1$

$Mv_2 = Mv_1 + 3mv_1 = v_1(M + 3m) \sim M$

$\frac{v_2}{v_1} = 1$

$\rho = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}}$

$T_1 = 2000 \text{ K}$

$\rho_2 = \frac{1}{3} \rho_{\text{air}}$

$T_2 = 300 \text{ K}$

$P_1 v_1 = \rho_1 R T_1, \quad v_1 \sim v_2$

$P_2 v_2 = \rho_2 R T_2$

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{3} = 1 \quad P_1 = P_2$

$\frac{P}{P_1} = \frac{\rho}{\rho_1}$

$P \cdot 2V = (\rho_1 + \rho_2) R T$

$P \cdot 2V = P_1 + P_2 = \frac{\rho_1 R T + \rho_2 R T}{2V}$

$P \cdot 2V = (\rho_1 + \rho_2) R T$

$\frac{P}{P_1} = \frac{(\rho_1 + \rho_2) R T}{\rho_1 R T}$

$\frac{P}{P_1} \cdot 2 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{T}{T_1}$

$\frac{P}{P_1} = \frac{5}{6} \cdot \frac{T}{T_1} = \frac{5 \cdot T}{6 \cdot T_1}$

$n = \frac{N}{V} = \frac{m}{M \cdot V}$

$N = n \cdot V \Rightarrow N_A \cdot \rho = n \cdot M$

$\rho = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = N_A \rho \quad \frac{n}{\rho} = \frac{N_A}{M}$

$$\nu_1 = \frac{1}{2} \text{ (Mol)} \\ T_1 = 200 \text{ (K)} \\ \nu_2 = \frac{1}{3} \text{ (Mol)} \\ T_2 = 300 \text{ (K)}$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1 \quad V_1 = V_2 = V$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2} = \frac{100}{100} = 1 \Rightarrow P_1 = P_2 = P$$

3-045  
И.И. Нижник

$$\overline{V} = \frac{P}{P_1}$$

$$u_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$$

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\nu_2 T_2}{\nu_1 T_1}$$

$$u_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$u = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$P \cdot 2V = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$u = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

$$\frac{P}{P_1} \cdot 2 = \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1} \cdot \frac{T}{T_1}$$

$$\frac{(\nu_1 + \nu_2) T}{\nu_1 T_1} = \frac{u_1 + u_2}{2u_1} = \frac{1}{2} + \frac{u_2}{u_1}$$

$$\frac{P}{P_1} = \frac{5}{\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot \frac{T}{T_1} = \frac{T}{T_1} = \left( \frac{1}{2} + \frac{\nu_2 T_2}{\nu_1 T_1} \right) \cdot \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$= \frac{5}{6} \cdot \frac{T}{T_1} = \frac{5}{6} \cdot \frac{9}{2} = \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{9}{5} = \frac{9}{10}$$

$$T = T_1 \cdot \frac{9}{10}$$

$\frac{3}{4}$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 250 \text{ (K)}$$