

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 913

(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 шарика, 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.

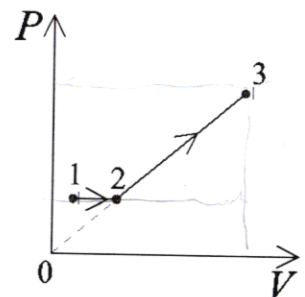
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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.

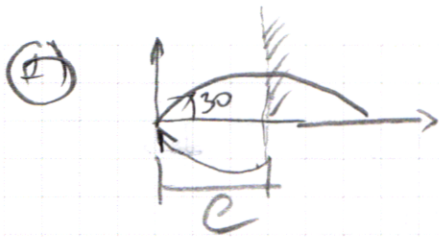
- 1) Найти температуру в сосудах после установления теплового равновесия.
- 2) Найти отношение конечного давления в смеси газов к начальному давлению в сосуде с температурой T_2 .

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



$$t_{max} = 1,5 \text{ c}$$

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

$$\alpha = 30^\circ$$

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

$$L = 2c$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g} = \frac{15 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{2 \cdot 10} = \frac{15 \cdot 15^3}{8 \cdot 10^2} = \frac{45}{16}$$

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

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

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

$$v_0 = \frac{t_{max} g}{2 \sin \alpha}$$

$$v_0 = \frac{1,5 \cdot 10}{2 \cdot \frac{1}{2}} = 15 \text{ м/с}$$

$$v_0 = \frac{15 \cdot 10 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot 2 \cdot 10} = \frac{45\sqrt{3}}{8}$$



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

$$H = \frac{t_{max}^2 g \cdot \sin^2 \alpha}{4 \sin^2 \alpha} = \frac{t_{max}^2 g}{4}$$

$$H = \frac{t_{max}^2 g}{8} = \frac{1,5^2 \cdot 10}{8}$$

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

$$R = \frac{t_{max}^2 g \sin \alpha \cos \alpha}{4 \sin^2 \alpha} = \frac{t_{max}^2 g \cos \alpha}{4 \sin \alpha}$$

$$= \frac{t_{max}^2 g \cos \alpha}{8 \sin \alpha}$$

$$= \frac{t_{max}^2 g \cos \alpha}{8 \sin \alpha}$$

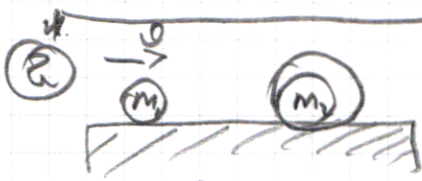
$$= \frac{1,5 \cdot 1,5 \cdot 10 \sqrt{3}}{2 \cdot 8 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1,5 \cdot 1,5 \cdot 10}{8} = \frac{15 \cdot 1,5}{8} = \frac{22,5}{8}$$

$$E_{pot} = \frac{m_2 v_0^2}{2}$$

$$4m_1 v^2 = m_2 v_0^2$$

$$8m_1 v^2 = m_2 v_0^2$$



$$p = m v$$

$$m_1 v = m_2 v_2$$

$$E = \frac{m v^2}{2}$$

$$E_g = \frac{m_1 v^2}{2} = \frac{m_1 v^2}{2 \cdot g}$$

$$E_{m1} = \frac{m_1 v^2}{2}$$

$$E_k = \frac{m_1 v^2}{g \cdot 2}$$

$$= \frac{8 m_1 v^2}{2 \cdot g} = 4 m_1 v^2$$

$$T_1 = \frac{PV}{\sqrt{R}} = \frac{P(V_2 - V_1)}{\sqrt{R}}$$

$$V_2 - V_1 = 3V_1 \quad | \quad P_2 = mV$$

$$V_2 = 4V_1 \quad | \quad P_1 + P_2 = 0$$

2) процесс

$$(P_3 - P_1)(V_3 - V_2) = \sqrt{RT_2}$$

$$V_3 - V_2 = 2V_2$$

$$V_3 = 3V_2$$

$$V_3 = 4V_1 = 16V_1$$

$$P_2 = 3P_1$$

$$PV = \sqrt{RT}$$

$$T_2 = \frac{PV}{\sqrt{R}} = \frac{3P_1 \cdot 16V_1}{\sqrt{R}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{3 \cdot 16}{1} = 48$$

$$U_2 = PV$$

$$A_1 = P_1 \cdot 3V_1$$

$$U_2 = PV = 3P_1 \cdot 3V_1$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{1}{3}$$

$$Q = \frac{0.2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2}{2 \cdot 3} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot 1.5}{2 \cdot 2 \cdot 2}$$

$$\frac{1.5 \cdot 1.5 \cdot \sqrt{3}}{8} = \frac{2.25\sqrt{3}}{8}$$

$$\frac{8}{9} \frac{m_1 \cdot \varphi_1^2}{2}$$

$$P = \frac{2E}{V} \quad P = m_0 E = \frac{m_0 V^2}{2}$$

$$P = \frac{m_0 V^2}{2}$$

$$P_2 = \frac{8}{3} \frac{m_1 \cdot \varphi_1^2}{\varphi_1} = \frac{8}{3} m_1 \varphi_1$$

$$P_{m_1} = P \quad m_1 \cdot \varphi_1 = m_2 \cdot \varphi_2$$

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

$$m_1 \cdot \varphi_1 = m_2 \cdot \varphi_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$$

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

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{3}{8}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{8} \quad ?$$

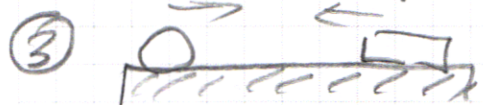
$$9m_1 = 8m_2$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

② $p_1 = m_1 v$

$m_1 v = m_2 v$!



$m_{ш} \ll m_{д}$

$$E_{ш} = \frac{m_{ш} v^2}{2}$$

$$E_{ш} = \frac{m_{ш} v^2}{2}$$

$$E_{ш} = 2 m_{ш} v^2$$

$$E_{ср} = E_{ш} + E_{ш} = 2 m_{ш} v^2 + \frac{m_{ш} v^2}{2}$$

$$E_{ср} = \frac{m_{д} v_{д}^2}{2}$$

$$m_{д} v_{д}^2 = 5 m_{ш} v^2$$

$$\frac{v_{д}^2}{v^2} = \frac{m_{д}}{5 m_{ш}} = 2$$



④ к.м.

$$pV = \frac{m}{M} R T$$

~~$v = 1, 3 \dots$~~

$$v = \frac{1}{3} \text{ мкс}$$

$$300 \text{ К} \quad v(T_1 + t_0) =$$

$$500 \text{ К} \quad = v(T_2 - t_0)$$

$$v_{00} = \frac{1}{3} + \frac{1}{5} = \frac{5+3}{15} = \frac{8}{15}$$

$$\frac{1}{3(300+t_0)}$$

$$T_K = \frac{pV}{\nu R}$$

$$c_{m,ot} = c_{m,ot}$$

$$m_{ot} = m_{ot}$$

$$m_2 \nu M_2$$

$$\nu M_2 \nu t = \nu M_1 \nu t$$

$$\nu(T_1 + \nu t_0) = \nu(T_2 - \nu t_0)$$

$$\nu_1 t_1 + \nu_2 t_0 =$$

$$\nu_1 t_0 + \nu_2 t_0 = \nu_2 T_2 - \nu_1 T_1$$

$$t_0 = \frac{\nu_2 T_2 - \nu_1 T_1}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{1}{3} 500$$

$$t_0 (\nu_1 + \nu_2) = \nu_2 T_2 - \nu_1 T_1$$

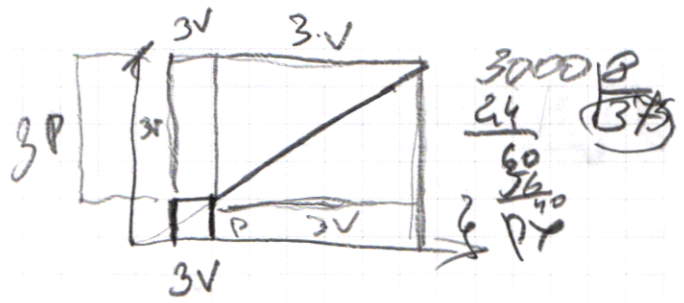
$$\frac{\sum \nu_i t_i}{2} = \frac{\sum \nu_i t_i}{2}$$

из формулы $p = \text{const}$

$$pV = \nu R T$$

$$\nu = \text{const} \quad T_1 = \frac{pV}{\nu R}$$

$\frac{5}{2} \text{ cit} \quad U = \frac{3}{2} \text{ нкТ}$



~~Аматерист~~
~~Аматерист~~

~~$V_2(t_2 - t_1) = V_1(t_1 + t_2)$~~

~~$Q_2 t_2 - Q_1 t_1 = V_1 t_1 + V_2 t_2$~~

~~$V_2 t_2 - V_1 t_1 = V_1 t_1 + V_2 t_2$~~

~~$\frac{3 \text{ нкТ}}{2} \cdot \frac{3P \cdot V}{3V} = \frac{P_2}{3P + P_2}$~~

$P_2 = 3V$ $(3P + P_2)3V$

200	5	15
15	2	1
500		
2		
100		

Если по мощности

$\frac{A_1}{A_2} = \frac{3P_2 V}{3V(P_2 + 3P)} = \frac{P_2}{3P + P_2}$

$\frac{3 \text{ нкТ}}{2}$

$Q = \frac{3}{2} V_1 kT_1 + \frac{3}{2} V_2 kT_2 = 3k$

$Q_2 = 3k = \frac{3}{2} V_2 kT_2$

$T_2 = \frac{3k}{\frac{3}{2} V_2} = \frac{2}{\frac{1}{3} + \frac{1}{5}}$

$\frac{P_1}{P_2}$

$P_1 = V_1 I_1$

$P_2 = \frac{V_2 I_2}{\sqrt{2}}$

$\frac{P_1}{P_2}$

$\frac{V_1 I_1}{2V_2 \frac{I_2}{\sqrt{2}}}$

~~$P_1 = V_1 I_1 = V_1 \frac{Q_1}{V_1} = Q_1$~~

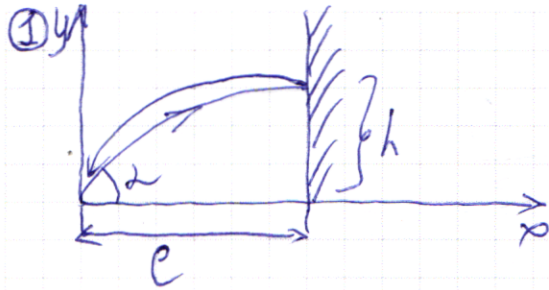
$\frac{200}{10} = 20$

$\frac{20}{\sqrt{2}} = 14.14$

$\frac{12.5}{2.5} = 5$

$\frac{10}{2\sqrt{2}} = 3.54$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$t_{\text{пол}} = 1,5 \text{ с}$ - это полное время, когда мяч находится в полете

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \frac{tg}{2 \sin \alpha}$$

Т.к. мяч вернулся в начальную точку, значит в момент удара он прошел ровно половину всего пути $\Rightarrow L = 2l$ и он в этот момент был в точке, противоположной $\Rightarrow H = h$

$$l = \frac{L}{2}$$

$$v_0 = \frac{tg}{2 \sin \alpha} = 15 \text{ м/с}$$

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

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

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

$$l = \frac{t^2 g^2 \sin \alpha \cos \alpha}{2 \cdot g \cdot 4 \cdot \sin^2 \alpha} = \frac{t^2 g \cos \alpha}{8 \sin \alpha} = \frac{t^2 g}{8} \cot \alpha$$

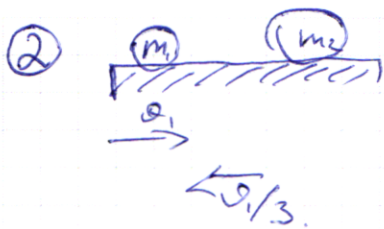
$$L = 3 \text{ с} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{м}$$

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{t^2 g^2 \sin^2 \alpha}{4 \sin^2 \alpha \cdot 2g} = \frac{t^2 \cdot g}{8} = \frac{1,5 \cdot 1,5 \cdot 10}{8} = \frac{22,5}{8}$$

$$L = 3 \text{ с} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{с}^2} = \text{м}$$

$$H = \frac{22,5}{8} \text{ м}, \quad l = H \cdot \cot \alpha = H \cdot \sqrt{3} = \frac{22,5 \sqrt{3}}{8} \text{ м}$$

Ответ: $\frac{22,5 \sqrt{3}}{8} \text{ м}; \frac{22,5}{8} \text{ м}$.



$$P = m_1 v$$

$$E_{\text{кин}} = \frac{m_1 v^2}{2}$$

Т.к. отсутствует трение
поверхность гладкая
 $F_{\text{тр}} = 0$ (трения)

$$E_{m_1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}$$

$$E_{\text{кин}} = \frac{m_1 \left(\frac{v_1}{3}\right)^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{9 \cdot 2}$$

$$\Delta E = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{9 \cdot 2} = \frac{8 m_1 v_1^2}{9 \cdot 2}$$

эта энергия должна отойти большому шару
 $m_2 > m_1$, т.к. шарик m_1 уменьш на пр-в-
ление

$$E_{m_2} = \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$\Delta E = E_{m_2} = \frac{8 m_1 v_1^2}{9 \cdot 2} = \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$8 m_1 v_1^2 = 9 m_2 v_2^2$$

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{8 m_1}{9 m_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{8 m_1}{9 m_2}}$$

$$P_{m_1} = P_{m_2} \Rightarrow m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$v_2 = v_0 \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{8 m_1}{9 m_2}}$$

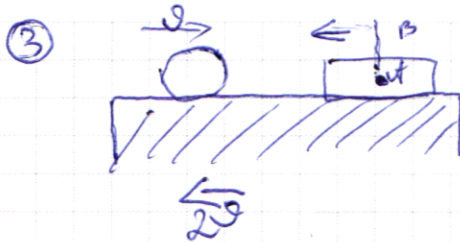
$$\frac{m_1}{m_2^2} = \frac{8 m_1}{9 m_2}$$

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

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{8 \cdot 8}{9 \cdot 9}} = \frac{8}{9}$$

Ответ: $\frac{9}{8}$; $\frac{8}{9}$;

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$m_1 \gg m_2$
 $v \perp AB$
 $E_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}$

П.к. вправо
это поверхно-
сть гладкая
Значит $F_{тр} = 0$

Стрелка

$E_2 = \frac{m_2 v_2^2}{2}$

$E_{кинет} = \frac{m_2 (2v_2)^2}{2} = 2m_2 v_2^2$ Энергия которую отдаст
фрагмент шарика

$E_1 = E_2 + E_{кинет} = 2m_2 v_2^2 + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{5m_2 v_2^2}{2}$

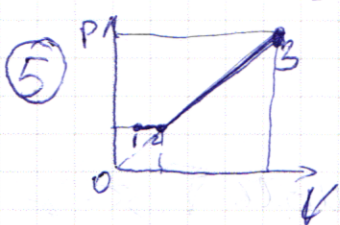
$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{5m_2 v_2^2}{2} \Rightarrow m_1 v_1^2 = 5m_2 v_2^2$

$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{m_1}{5m_2}$

$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{m_1}{5m_2}}$

П.к. $m_1 \ll m_2$ можно

$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{m_1}{5}}$



$p_2 V_2 = \nu R T$

$p_1 (V_2 - V_1) = \nu R T_{p1}$ ①

$(p_3 - p_2)(V_3 - V_2) = \nu R T_{p2}$ ②

Изобарический процесс $p = const$
 $V_2 = 3V_1$ $p_1 = p_2$

Процесс пропорциональной зависи-
мости
 $V_3 = 3V_2 = 9V_1$ $p \sim V$

$p_3 = 3p_2$

$$p_1 \cdot 2V_1 = \nu R T_0$$

$$(3p_1 - p_1) (3V_2 - V_2) = \nu R T_{02}$$

$$2p_1 V_1 = \nu R T_{02}$$

$$2p_1 \cdot 2V_2 = \nu R T_{02}$$

$$2p_1 V_1 = \nu R T_0$$

$$2 \cdot p_1 \cdot 6V_2 = \nu R T_{02}$$

$$2p_1 V_1 = \nu R T_0$$

$$12p_1 V_2 = \nu R T_{02}$$

$$T_0 = \frac{2p_1 V_1}{\nu R}$$

$$T_{02} = \frac{12p_1 V_2}{\nu R}$$

$$T_{02} = \frac{2p_1 V_1}{\nu R} + \frac{12p_1 V_2}{\nu R} = \frac{14p_1 V_1}{\nu R}$$

натяжка $p_1 V_1 = \nu R T$

$$T_{11} = \frac{p_1 V_1}{\nu R} \quad \frac{T_{02}}{T_{11}} = \frac{14p_1 V_1}{\nu R} \cdot \frac{\nu R}{p_1 V_1} = 14 \text{ раз,}$$

увеличилась

$$A = pV$$

$$A_{12} = p_1 (V_2 - V_1) = 2p_1 V_1$$

$$p_1 = p_2$$

$$A_{23} = (p_3 - p_2) (V_3 - V_2) = 2p_2 \cdot 2V_2 = 2p_2 \cdot 2 \cdot 3V_1 =$$

$$= 12p_2 V_1 = 12p_1 V_1$$

$$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{2p_1 V_1}{12p_1 V_1} = \frac{1}{6}$$

④ $\nu_1 = \frac{1}{3}$ моль $T = 300$ К $\nu_2 = \frac{1}{5}$ моль $T = 500$ К

$Q_1 + Q_2 = Q_{02}$ $V_1 = V_2$ т.к. мо условие идеального газа выполняется в соедухах соиманевои объемен.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$Q_2 = A$ $pV = \nu RT$

$\nu_2 = pV$

$Q_1 = \nu_1 RT_1$ $Q_2 = \nu_2 RT_2$

$Q_{00} = \nu_{00} RT_x$

$T_x = \frac{Q_{00}}{\nu_{00} R}$

$Q_{00} = \nu_2 RT_2 + \nu_1 RT_1 = R(\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1)$

$T_x = \frac{(\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1) R}{\nu_{00} R} = \frac{\nu_2 T_2 + \nu_1 T_1}{\nu_{00}} = \frac{100 + 100}{8} = 25$

$\approx \frac{200 \cdot 15}{8} = 375 \text{ К.}$

$[T_x] = \frac{\text{моль} \cdot \text{К} + \text{моль} \cdot \text{К}}{\text{моль}} = \text{К.}$

$p_2 = \frac{\nu RT_2}{V_2}$

$p_{00} = \frac{\nu_{00} RT_{00}}{2V_2}$

т.к. объем будет равен объему всей кон-
струкции т.е. $2V_2$

$\frac{p_{00}}{p_2} = \frac{\nu_{00} RT_{00} \cdot 2V_2}{2V_2 \nu_2 RT_2} = \frac{\nu_{00} T_{00}}{\nu_2 T_2} = 1 = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{2\nu_2 T_2}$

$[\frac{p}{p}] = \frac{\text{моль} \cdot \text{К}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = 1$

конца края
открывают газы
в союзе мембраны,
но не реагируют,
т.е. их концентра-
ция = const. и
не образуют грузы
вещества кроме гелия.

