

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 3-049

(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 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.

после 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.

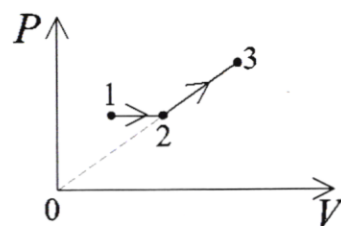
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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 .



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$m_1 v_1 +$$

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = -\frac{m_1 v_1}{2} + m_2 v_3^2$$

$$2m_1 v_1 - 2m_2 v_2 = 2m_2 v_3 - m_1 v_1$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 (v_1/2)^2}{2} + \frac{m_2 v_3^2}{2}$$

$$3m_1 v_1 = 2m_2 v_2 + 2m_2 v_3$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = \frac{m_1 v_1^2}{4} + m_2 v_3^2$$

$$\begin{cases} m_1 v_1 = m_2 v_2 - \frac{m_1 v_1}{2} \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{m_1 (v_1/2)^2}{2} \end{cases}$$

$$m_1 v_1^2 - \frac{m_1 v_1^2}{4} = m_2 v_2^2 - m_2 v_3^2$$

$$3m_1 v_1^2 = 4m_2 v_3^2 - 4m_2 v_2^2$$

$$3m_1 v_1^2 = 4m_2 (v_3^2 - v_2^2)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 2m_1 v_1 = 2m_2 v_2 - m_1 v_1 \\ m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2 + \frac{m_1 v_1^2}{4} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} 3m_1 v_1^2 = 4m_2 (v_3^2 - v_2^2) \\ 3m_1 v_1 = 2m_2 (v_2 + v_3) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} v_1 = 2 \frac{(v_3 - v_2)(v_3 + v_2)}{v_2 + v_3} \\ v_1 = 2v_3 - v_2 \end{cases}$$

$$\frac{3m_1 v_1}{2m_2} = v_2 + v_3 \quad \forall v_1 = 2v_3$$

$$\begin{cases} v_1 = 2v_3 - v_2 \\ v_1 + v_2 = 2v_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3m_1 v_1 = 2m_2 v_2 \\ 3m_1 v_1^2 = 4m_2 v_2^2 \end{cases}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{2(v_2 + v_3)}{3v_1}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{3}{2} \frac{v_1}{v_2 + v_3}$$

$$v_1 \rightarrow v_2$$

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

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

$$3m_1 v_1 = 2m_2 v_2$$

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

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

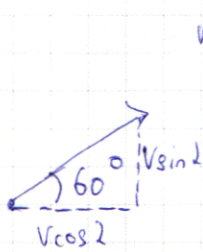
$$v_1 = v_2$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

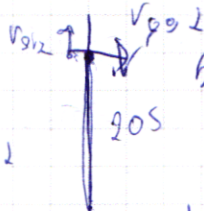
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$h = V_0 t + g t^2$$

$$h = V \sin \alpha \cdot t_0 + \frac{g t_0^2}{2}$$

$$L = V \cos \alpha \cdot t_0$$



$$h = V \cos \alpha t + \frac{g t^2}{2}$$

$$h = t \left(V \cos \alpha + \frac{g t}{2} \right)$$

$$t = \frac{L}{V \cos \alpha}$$

$$h = 2 V \sin \alpha \cdot \frac{L}{V \cos \alpha} + g \cdot \frac{L^2}{V^2 \cos^2 \alpha}$$

$$h = 2 t g \alpha \cdot L + g \cdot \left(\frac{L}{V \cos \alpha} \right)^2$$

$$L = \frac{h - g \left(\frac{L}{V \cos \alpha} \right)^2}{2 t g \alpha}$$

$$L = V \cos \alpha \cdot t_0$$

$$h = V \sin \alpha t_0$$

$$h = \frac{g t_0^2}{2} \quad h = \frac{10 \cdot g^2}{2} = 20g$$

$$V \cos \alpha \cdot t_0 =$$

$$t_0 = t_1$$

$$h = \frac{g t^2}{2} \quad h = 20g$$

$$L = V \cos \alpha \cdot t_0$$

$$L = V_0 \cos \alpha \cdot t_0$$

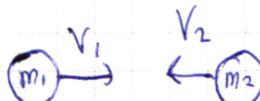
$$V = V \sin \alpha - g t$$

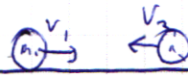
$$h = V t_0 - \frac{g t_0^2}{2}$$

$$\Leftrightarrow V' = V \sin \alpha - \frac{g L}{V \cos \alpha}$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = -m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

$$\frac{m_1 v_1}{2} + \frac{m_2 v_2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{8} + m_2 v_2$$





$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = -m_1 \frac{\vec{v}_1}{2} + m_2 \frac{\vec{v}_2}{2}$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \frac{m_1 \vec{v}_1}{2} = \frac{m_2 \vec{v}_2}{2}$$

$$2m_1 \vec{v}_1 + 2m_2 \vec{v}_2 + \vec{v}_1 = \vec{v}_2$$

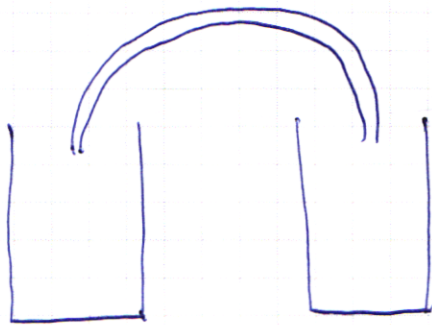
$$\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$$

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

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

$$3m_1 v_1 - 2m_2 v_2 = m_2 v_2$$

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



$$P \cdot 2V = \frac{5}{6} \cdot 1,31 \cdot$$

$$P_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$P' \cdot 2V = (\nu_1 + \nu_2) R \cdot T_1$$

$$\nu_1 \cdot M \cdot c \cdot (T_1 - T_1) =$$

$$= -\nu_2 \cdot M \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$$

$$\nu_1 \cdot M \cdot c \cdot (T_1 - T_1) = \nu_2 \cdot M \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$$

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

$$\nu_1 (T_1 - T_1) = \nu_2 (T_1 - T_2) \quad \frac{1}{2} T_1 - \frac{1}{2}$$

$$\frac{T_1}{2} - 100 = -\frac{T_1}{3} + 100$$

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

$$\frac{T_1}{2} - 100 = \frac{T_1}{3} - 100 \quad \frac{T_1}{2} + \frac{T_1}{3} = 200$$

$$\frac{3T + 2T}{6} = 200$$

$$5T = 1200$$

$$T = 240^\circ \text{K}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4. $V_1 = V_2$
 $\nu_1 = \frac{1}{2}$ моль
 $\nu_2 = \frac{1}{3}$ моль
 $T_1 = 200\text{ K}$
 $T_2 = 300\text{ K}$

 $T = ?$

$$E_1 = \frac{3}{2} \nu_1 k_B T_1$$

$$E_2 = \frac{3}{2} \nu_2 k_B T_2$$

$$E = E_1 + E_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) k_B T$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 k_B T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 k_B T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) k_B T = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 200}{\frac{5}{6} \cdot 240} = 1$$

$$\frac{3}{2} k_B (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = \frac{3}{2} k_B (\nu_1 + \nu_2) T$$

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

Объем $T = 240\text{ K}$ $\frac{P_1}{P} = 1$

$$\frac{T}{2} + \frac{T}{3} = 100 + 100$$

$$\frac{5T}{6} = 200$$

$$T = 240^\circ \text{ K}$$

3. $V_1; V_2$

$m_2 \gg m_1$

$V_3 = 4V_1$

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

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

$$m_1 V_1 - M V_2 = -4m_1 V_1 - M V_3$$

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{M V_2^2}{2} = \frac{16m_1 V_1^2}{2} + \frac{M V_3^2}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 5m_1 V_1 = M(V_2 - V_3) \\ m_1 V_1^2 + M V_2^2 = 16m_1 V_1^2 + M V_3^2 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 5m_1 V_1 = M(V_2 - V_3) \\ M(15m_1 V_1^2 = M(V_3^2 - V_2^2)) \end{cases} \Leftrightarrow$$

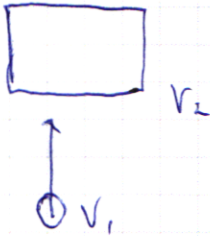
$$\Leftrightarrow \begin{cases} 5m_1 V_1 = M(V_2 - V_3) \\ M(15m_1 V_1^2 = M(V_3^2 - V_2^2)) \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 5m_1 V_1 = M(V_2 - V_3) \\ \frac{5m_1 V_1}{15m_1 V_1^2} = \frac{M(V_2 - V_3)}{M(V_3^2 - V_2^2)} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{3V_1} = \frac{V_2 - V_3}{(V_3 - V_2)(V_3 + V_2)}$$

$$\frac{1}{3V_1} = \frac{V_3 - V_2}{(V_3 - V_2)(V_3 + V_2)}$$

$$3V_1 = -V_3 - V_2$$



$$\cancel{v_1 + v_2} =$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{M v_2^2}{2} = \frac{16 m_1 v_1^2}{2} + \frac{M v_3^2}{2}$$

$$\cancel{m v_1^2}$$

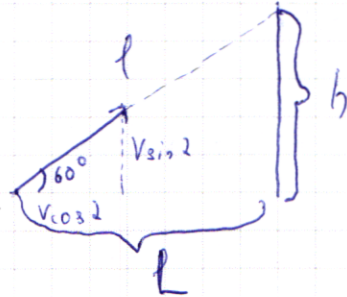
$$m_1 v_1 - M v_2 = -4 m_1 v_1 - M v_3$$

$$\begin{cases} 5 m_1 v_1 = M (v_2 - v_3) \\ M (v_2^2 - v_3^2) = 15 m_1 v_1^2 \end{cases}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $\alpha = 60^\circ$
 $t_0 = 2c$

 $h = ?$
 $L = ?$



так как мы упал на то же место $\Rightarrow t_1 = t_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow h = h_{max} \Rightarrow h = \frac{gt^2}{2} \quad h = \frac{10 \cdot 4}{2} = 20 \text{ м}$

$\begin{cases} h = l \sin \alpha \\ L = l \cos \alpha \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} l = \frac{h}{\sin \alpha} \\ L = \frac{h}{\sin \alpha} \cdot \cos \alpha = h \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 20 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{20}{\sqrt{3}} = \frac{20\sqrt{3}}{3} \end{cases}$

$R =$

Ответ $L = \frac{20\sqrt{3}}{3} \text{ м} \quad h = 20 \text{ м}$

4. $V_1 = V_2$
 $\nu_1 = \frac{1}{2} \text{ моль}$
 $\nu_2 = \frac{1}{3} \text{ моль}$
 $T_1 = 200 \text{ К}$
 $T_2 = 300 \text{ К}$

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

$\nu_1 M_c (T - T_1) = -\nu_2 M_c (T - T_2)$

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

$\frac{T}{2} - 100 = -100 + -\frac{T}{3} + 100$

$\frac{T}{2} + \frac{T}{3} = 200$

$5T = 1200$

$T = 240 \text{ К}$

Ответ $T = 240 \text{ К} \quad \frac{P}{P_1} = 1$

$\begin{cases} P_1 V = \nu_1 R T_1 \\ P_2 V = \nu_2 R T_2 \end{cases} \Leftrightarrow$
 $P \cdot 2V = (\nu_1 + \nu_2) \cdot R \cdot T$

$\Leftrightarrow \left\{ \frac{P_1 V}{2PV} = \frac{\nu_1 R T_1}{(\nu_1 + \nu_2) R T} \Leftrightarrow \frac{P_1}{P} = \frac{2 \nu_1 R T_1}{(\nu_1 + \nu_2) R T} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 200}{\frac{5}{6} \cdot 240} = \frac{200}{200} = 1 \right.$

$$2. m_1; m_2$$

$$2V_2 = V_1$$

Зачем

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 V_1 = m_2 V_3 - \frac{m_1 V_1}{2} \\ \frac{m_1 V_1^2}{2} = \frac{m_2 V_3^2}{2} + \frac{m_1 V_1^2}{2} \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2m_1 V_1 = 2m_2 V_3 - m_1 V_1 \\ m_1 V_1^2 = m_2 V_3^2 + \frac{m_1 V_1^2}{4} \end{array} \right\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3m_1 V_1 = 2m_2 V_3 \\ 4m_1 V_1^2 = 4m_2 V_3^2 + m_1 V_1^2 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 3m_1 V_1 = 2m_2 V_3 \\ 3m_1 V_1^2 = 4m_2 V_3^2 \end{array} \right.$$

$$\frac{3m_1 V_1^2}{3m_1 V_1} = \frac{4m_2 V_3^2}{2m_2 V_3}$$

$$3m_1 V_1 = 2m_2 \cdot 2V_3$$

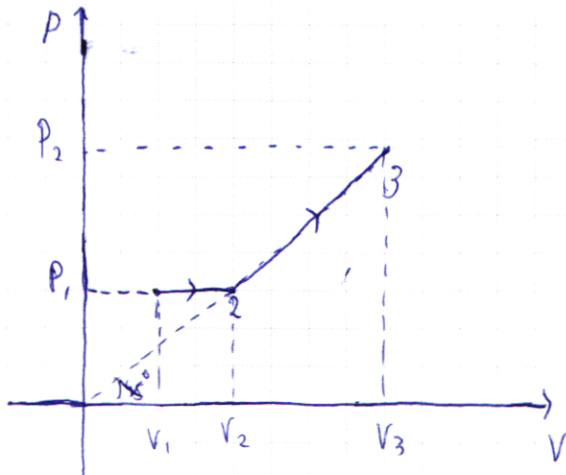
$$3m_1 \cdot 2V_3 = 2m_2 V_3$$

$$3m_1 = m_2$$

$$\underline{V_1 = 2V_3}$$

Отвечая $\frac{m_2}{m_1} = 3 \quad \frac{V_3}{V_1} = \frac{1}{2}$

5.



$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ 2P_1 V_1 = \nu R T_2 \\ 4P_2 V_1 = \nu R T_3 \end{array} \right\} \Leftrightarrow$$

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \text{ (так как } P \text{ прямо пропорциональна } V)$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ 2P_1 V_1 = \nu R T_2 \\ 8P_1 V_1 = \nu R T_3 \\ P_2 = P_1 \cdot 2 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{8P_1 V_1}{P_1 V_1} = \frac{\nu R T_3}{\nu R T_1} \\ \frac{8}{1} = \frac{T_3}{T_1} \end{array} \right\} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_3 = 8T_1$$

$$A_1 = P_1 (V_2 - V_1)$$

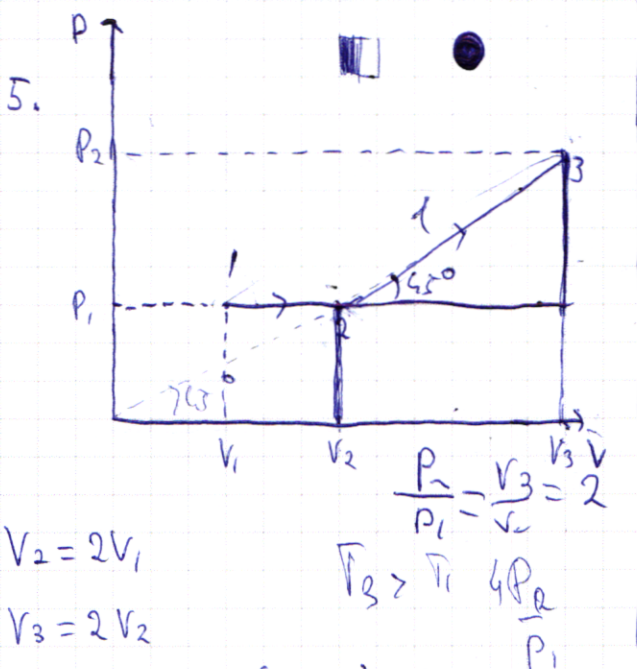
$$A_2 = (P_1 + P_2)(V_3 - V_2)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{2P_1 V_1}{(P_1 + P_2)V_2 \cdot 2} = \frac{P_1}{P_1 + P_2} = \frac{P_1}{3P_1} = \frac{1}{3}$$

Отвечая $T_3 = 8T_1$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

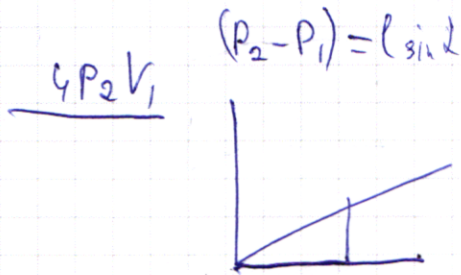


$$\begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_1 V_2 = \nu R T_2 \\ P_2 V_3 = \nu R T_3 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ 2 P_1 V_1 = \nu R T_2 \\ 4 P_2 V_1 = \nu R T_3 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{2 P_1 V_1}{P_1 V_1} = \frac{\nu R T_2}{\nu R T_1} \\ \frac{4 P_2 V_1}{2 P_1 V_1} = \frac{T_3}{T_2} \end{cases} \Leftrightarrow T_2 = 2 T_1$$

$$A_1 = P_2 V = P_1 (V_2 - V_1) = P_1 V_1$$

$$A_2 = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_2)$$



$$\frac{2 P_1 V_1}{(P_1 + P_2)(V_3 - V_2)} = \frac{2 P_1 V_1}{(P_1 + P_2)(2 V_1)} = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$$

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ 2 P_1 V_1 = \nu R T_2 \\ 4 P_2 V_1 = \nu R T_3 \\ A_1 = P_2 V \\ A_2 = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_2) \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{T_2}{T_1} = 2 \\ P_1 = \frac{\nu R T_1}{V_1} \\ P_2 = \frac{\nu R T_3}{4 V_1} \\ \frac{A_1}{A_2} = \frac{2 P_1 P_2}{P_1 + P_2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T_2 = 2 T_1 \\ \frac{A_1}{A_2} = \frac{P_1}{P_1 + P_2} \end{cases}$$

$$\frac{4 P_2}{P_1} = \frac{T_3}{T_1}$$

$$4 P_2 = \frac{T_3 P_1}{T_1}$$

$$P_2 = \frac{T_3 P_1}{4 T_1}$$

$$P_1 V = \nu R T_1$$

$$P_2 V = \nu R T_2$$

$$2 P V = \nu R T$$

$$P_1 V = \nu R T_1$$

$$P_2 V = \nu R T_2$$

$$2 P_1' V = \nu R T_1'$$

$$2 P_2' V = \nu R T_2'$$

$$\frac{2 P_1' V = \nu R T_1'}{2 P_2' V = \nu R T_2'}$$

$$2 P_2' V = \nu R T_2'$$

$$2 P_1'$$

~~*~~

$$E_1 = \frac{3}{2} \nu k_B T_1$$

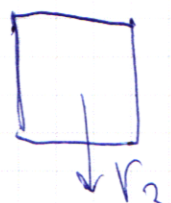
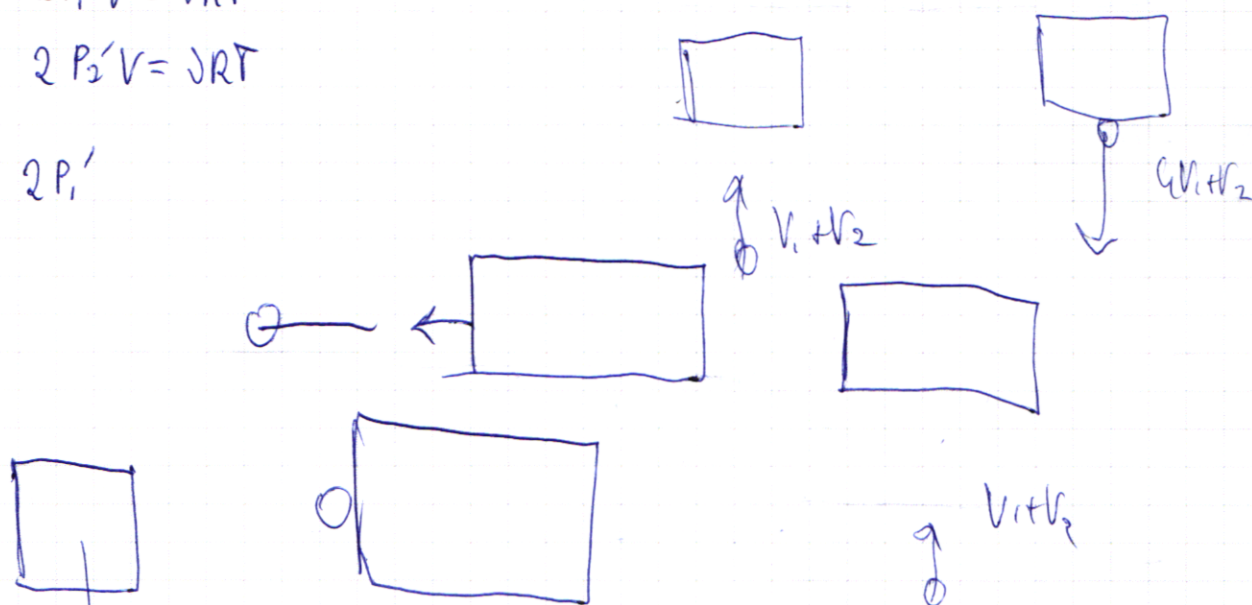
$$E_2 = \frac{3}{2} \nu_2 k_B T_2$$

$\nu =$

$$E_d = E_1 + E_2 = \frac{3}{2} k_B (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)$$

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

$\nu_1 T$



$$\begin{aligned} m_1 v_1 - m_2 v_2 &= -4 m_1 v_1 - m_2 v_2 \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} &= \frac{m_1 (4 v_1)^2}{2} \end{aligned}$$

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

$$\frac{m (v_1 + v_2)^2}{2} = \frac{m (4 v_1)^2}{2} + \frac{m v_2'^2}{2}$$

$$m v_1^2 + 2 m v_1 v_2 + v_2^2 m = 16 m v_1^2 + m v_2'^2$$

$$m (v_1 + v_2)^2 = \frac{16 m v_1^2}{2} + m v_2'^2$$

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = -4 m_1 v_1 - m_2 v_2'$$