

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 44-004

(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.

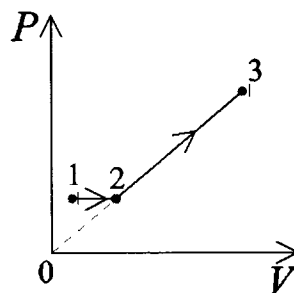
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

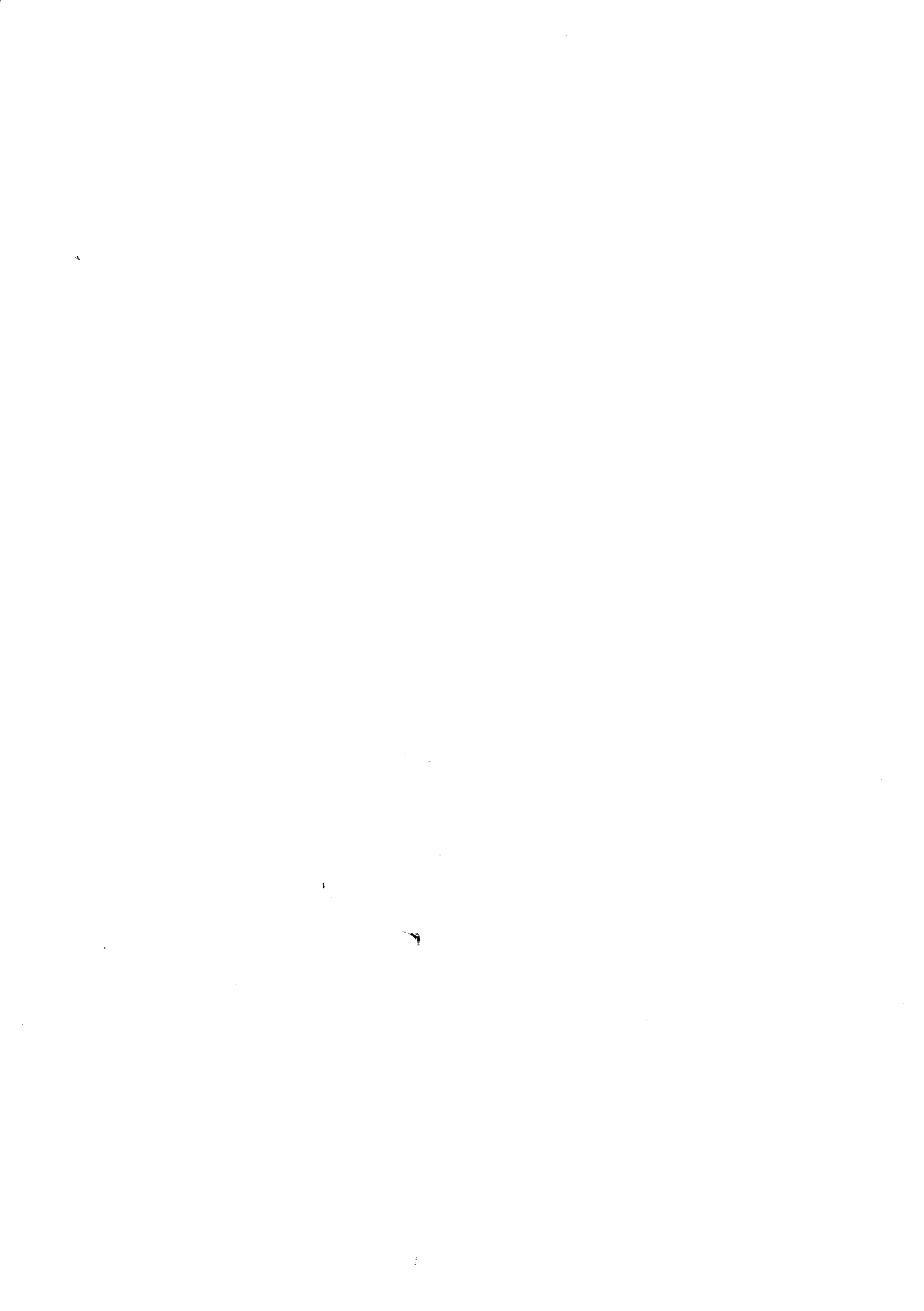
4. В двух теплоизолированных сосудах одинакового объема, соединенных короткой трубкой с закрытым краном, находятся  $\nu_1=1/3$  моль одноатомного идеального газа при температуре  $T_1=300 \text{ К}$  и  $\nu_2=1/5$  моль другого одноатомного идеального газа при температуре  $T_2=500 \text{ К}$ . Кран 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

№1

$$\alpha = 30^\circ$$

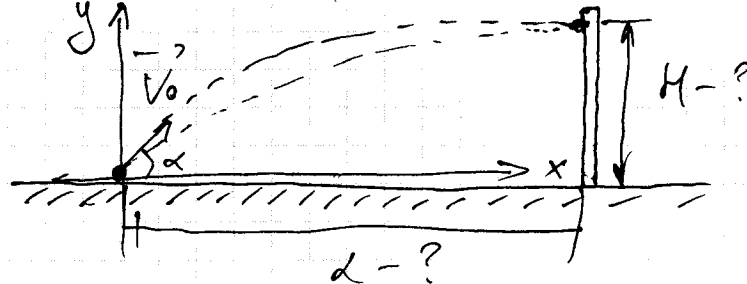
$$t_0 = 1,5 \text{ с}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$L$  - ?

$H$  - ?

Решение:



$$x: 2L = V_0 \cos \alpha \cdot t_0$$

$$y: H = V_0 \sin \alpha \cdot \frac{t_0}{2} - \frac{g \left(\frac{t_0}{2}\right)^2}{2}$$

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

Следовательно:

$$2L = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \cos \alpha \cdot t_0$$

$$2L = \frac{g t_0^2 \operatorname{ctg} \alpha}{2}$$

$$L = \frac{g t_0^2 \operatorname{ctg} \alpha}{4}$$

$H$  - м и  $H$ :

$$H = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{8}$$

$$H = \frac{g t_0}{4} - \frac{g t_0^2}{8}$$

$$H = \frac{g t_0^2}{8}$$

Вычисляем:

$$L = \frac{10 \cdot 2,25 \cdot \sqrt{3}}{4} = \frac{22,5 \cdot 1,73}{4} = \frac{38,925}{4} \approx 9,73 \text{ м}$$

$$H = \frac{10 \cdot 2,25}{8} \approx 2,81 \text{ м}$$

Ответ: 9,73 м; 2,81 м

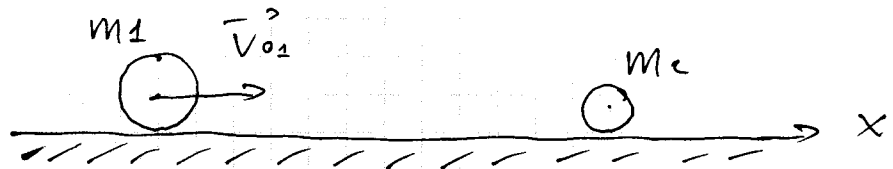
√2

$m_1, m_2, v_{01} = v_0$  Решение:

$v_{02} = 0, v_1 = \frac{v_0}{3}$  ① тело  $m_2$  в покое,  $m_1$  движется:

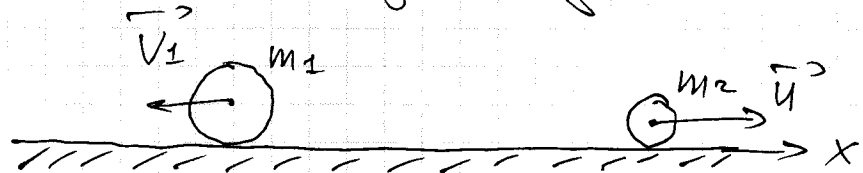
$$\frac{m_2}{m_1} - ?$$

$$\frac{u}{v_{01}} - ?$$



$v_{01} = v_0$  - нач. скорость шарика  $m_1$ .

② Тела после взаимодействия:



$v_1 = \frac{v_0}{3}$  - конечная скорость  $m_1$

$u$  - конечная скорость  $m_2$

Запишем закон сохранения импульса для системы тел по ось  $x$ :

$$x: m_1 v_{01} = m_2 u - m_1 v_1$$

$$m_1 (v_{01} + v_1) = m_2 u$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_{01} + v_1}{u} = \frac{v_0 + \frac{v_0}{3}}{u} = \frac{4 v_0}{3 u}$$

$H$  и  $u$  из условия задачи.

П.к. тело  $m_2$  после взаимодействия приобрело скорость в 3 раза меньшую

начальной, то  $u = \frac{1}{3} v_0$  (св-ва инертности) и упругий удар.

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда

$$\frac{U}{V_{01}} = \frac{2V_0}{3V_0} = \frac{1}{3}$$

Ответ:  $\frac{1}{3}$ ;  $\frac{1}{3}$

✓✓

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

$$v_1 = \frac{1}{3} \text{ моль}$$

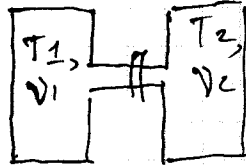
$$v_2 = \frac{1}{5} \text{ моль}$$

$$V_1 = V_2 = V$$

$T$  - ?

$\frac{p}{p_2}$  - ?

Решение:



Закон Дальтона:

$$p = p_1 + p_2 \quad \text{- полное давление смеси}$$

3-м ур-ние Менделеева - Клапейрона

где  $p_1$  и  $p_2$

$$p_1 V = \frac{m}{M} R T_1$$

или то же в другом виде

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

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

$$p_1 = \frac{\nu_1 N_A}{V^2} R T_1$$

ан-но;

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

Отсюда:

$$p = \frac{v_1 N_A}{V^2} k T_1 + \frac{v_2 N_A}{V^2} k T_2$$

$$p = k \frac{N_A}{V^2} (v_1 T_1 + v_2 T_2) \quad | \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = v_1 T_1 + v_2 T_2 = 100 + 100 = 200 K$$

Потенциал н-ш  $\frac{p_1}{p_2}$ :

$$\frac{p}{p_2} = \frac{n k T_1 + n k T_2}{n k T_2} = \frac{\frac{v_1 N_A}{V^2} k T_1 + \frac{v_2 N_A}{V^2} k T_2}{\frac{v_2 N_A}{V^2} k T_2} =$$

$$= \frac{v_1 T_1 + v_2 T_2}{v_2 T_2} = \frac{200}{100} = 2$$

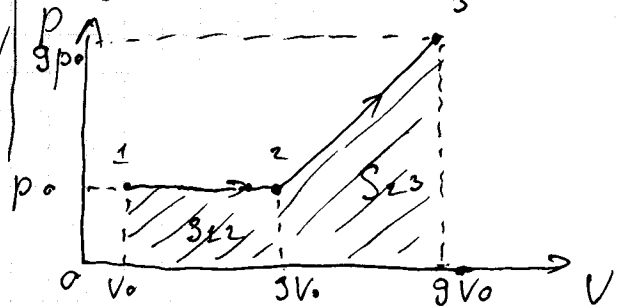
Ответ: 200 K ; 2.

$V = nV_0 = 3$  - изобарический процесс  
 $V_1 = nV_0 = 3$  прямо пропорц.  $p$  от  $V$

$$\frac{T}{T_0} - ? \quad \frac{A_{12}}{A_{23}} - ?$$

N5

Решение:



Ур-ние Менделеева-Клапейрона:

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} R T_0 - \text{начальное состояние (1)}$$

$$9 p_0 \cdot 9 V_0 = \frac{m}{M} R T - \text{конечное состояние (3)}$$

Отсюда:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{9 \cdot 9 p_0 \cdot 9 V_0}{p_0 V_0} = 81 \text{ раз}$$

$$\text{Потенциал н-ш} \quad \frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{p_0 \cdot p_0 \cdot 4 V_0}{p_0 \cdot p_0 \cdot 4 V_0} \cdot \frac{S_{12}}{S_{23}} = \frac{p_0 \cdot 2 V_0}{p_0 + 9 p_0 \cdot 6 V_0} = \frac{1}{15}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ:  $81; \frac{1}{15}$

N3

$\vec{V}_{0w}$  I грани брусков

$m \ll M$

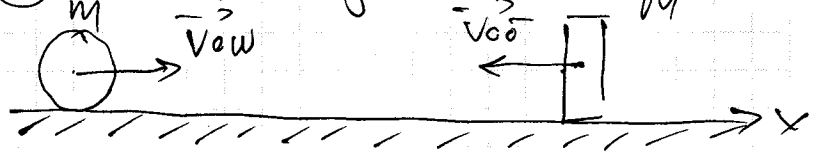
упругий удар

$$V_{1w} = 2V_{0w}$$

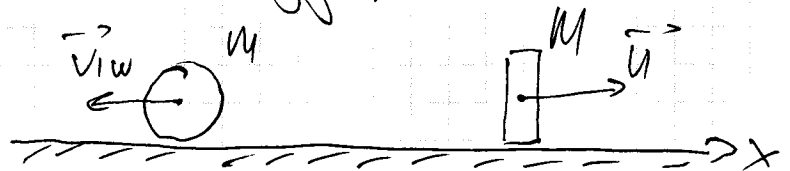
$$\frac{V_{0w}}{V_{0b}} = ?$$

Решение:

① начало движения



② после удара



П.к удар упругий  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow V_{1w} = U \quad (V_{1w} \uparrow \downarrow U)$$

Закон Сохранения энергии

$$m V_{0w} - M V_{0b} = -m V_{1w} + M U$$

$$\text{П.к } V_{1w} = U \quad \text{и } V_{1w} = 2V_{0w},$$

то:

$$m V_{0w} - M V_{0b} = -m 2V_{0w} + M 2V_{0w}$$

$$3V_{0w}m - M 2V_{0w} = M V_{0b}$$

$$V_{0w}(3m - 2M) = M V_{0b}$$

$$\frac{V_{0w}}{V_{0b}} = \frac{M}{3m - 2M} \quad \left| \Rightarrow \quad m \ll M \right.$$

$$\Rightarrow \frac{V_{0w}}{V_{0b}} = \frac{1}{2}$$

Ответ:  $\frac{1}{2}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

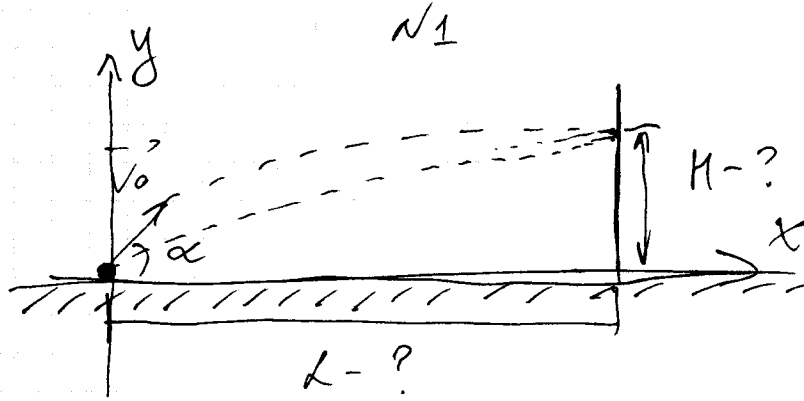
Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$g = 10 \text{ м/с}^2$   
 $\alpha = 30^\circ$   
 $t_0 = 1,5 \text{ с}$

$L = ?$   
 $H = ?$



$$\begin{array}{r} 2,8 \\ \times 2,8 \\ \hline 22,4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 22,5 \\ -16 \\ \hline 6,5 \\ -6,4 \\ \hline 1 \end{array}$$

$2L = V_0 \cos \alpha t_0$   
 $H = V_0 \sin \alpha t_0 - \frac{g(t_0)^2}{2}$

$H = \frac{10 \cdot 2,25}{8} = \frac{22,5}{8}$

~~$t_0$  время полета~~

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

$H = V_0 \sin \alpha t_0 - \frac{g t_0^2}{2}$   
 $V_0 = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha}$

$g t_0 = 2 V_0 \sin \alpha$

$V_0 = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} = \frac{15}{2 \cdot \frac{1}{2}} = 15 \text{ м/с}$

$2L = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \cos \alpha t_0$

$2L = \frac{g t_0^2 \cot \alpha}{2}$

$L = \frac{V_0 \cos \alpha t_0}{2} = \frac{15 \cdot 1,73 \cdot 1,5}{2}$

$L = \frac{g t_0^2 \cot \alpha}{2}$

$= \frac{15 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,5}{2} = \frac{11,25 \sqrt{3}}{2} \approx 9,75$

$\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \cot \alpha$

$= \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2}{1} = \sqrt{3}$

$H = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \frac{t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{2}$

$22,5 \cdot 1,7$

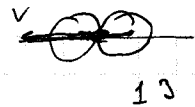
$\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{1} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\times 11,25$   
 $\frac{11,25 \sqrt{3}}{2} \approx 9,75$

$\cdot 22,5$

$\times 15$   
 $\times 1,5$   
 $\hline 22,5$

$$\begin{array}{r} 1 \ 13 \\ 22,5 \\ \underline{1473} \\ 1875 \\ \underline{1515} \\ 225 \\ \underline{38925} \\ \underline{86} \\ 28 \\ \underline{221} \\ 5 \\ \underline{4} \\ 1 \\ ,925 \end{array}$$



$$\frac{38,925}{4}$$

$$\frac{38,92}{4}$$

$$m_2 3v$$

$$3v_0$$

$$v_0 \frac{2}{3}$$

$$\frac{1}{3} v_0$$

$$\frac{2}{3} v_0 = \frac{2}{3}$$

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

$$\frac{4m_2 v_0}{3} = 2m_1 v_0$$

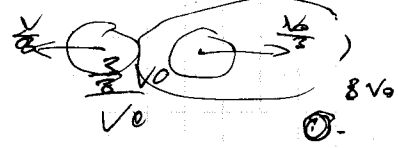
$$\frac{2}{3} v_0$$

$$\frac{2}{3} v_0$$

$$3 \cdot 3 \frac{v_0}{3}$$

$$\frac{3}{2} \frac{m_2 v_0}{m_1} = \frac{4}{3} v_0$$

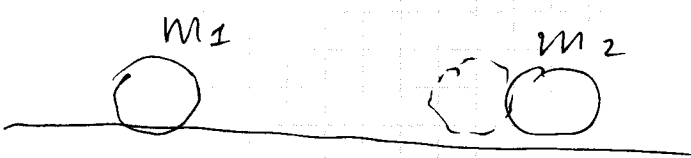
$$\frac{4}{3} v_0 = v_0$$



$$\frac{2}{3} v_0 = \frac{v_0}{3}$$

$$3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{3} \rightarrow \frac{1}{4}$$



1) наг. соет

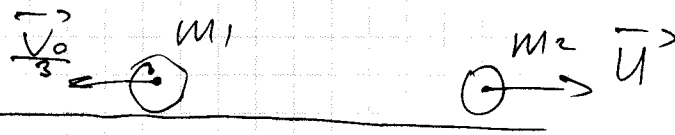


$$v_{02} = 0$$

$$v_{01} = v_0$$



2)



$$\frac{3}{1} = \frac{4 v_0}{5 u}$$

$$9 = 4 v_0$$

$$\frac{4 v_0}{9 u} = 1$$

$$u = \frac{4 v_0}{9}$$

П.к бш центральный упругий удар, закон сохранения импульса

$$m_1 v_0 = m_2 u - m_1 \frac{v_0}{3}$$

$$m_1 (v_0 + \frac{v_0}{3}) = m_2 u$$

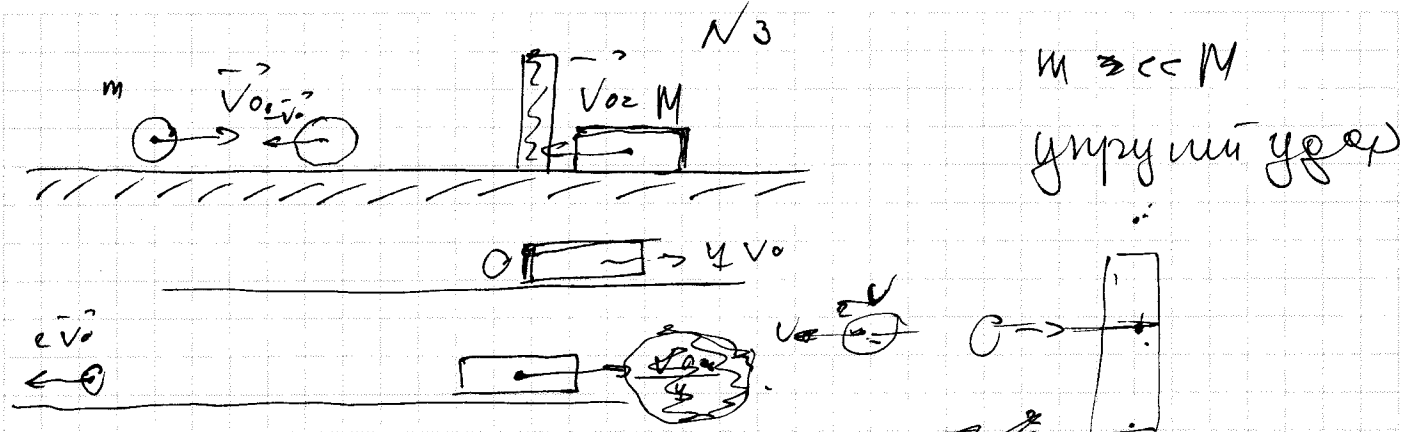
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{4 \frac{1}{3} v_0}{u} = 1 \quad \frac{4}{3} \cdot \frac{3}{2} = 2$$

$$\frac{2}{3} v_0 \quad u = \frac{1}{3} v_0$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_2}{a_1}$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$m \ll M$   
упругий удар

~~$M v_{02} = M v_{02}$~~

$m v_{02} + m v_0 = -M v_{02} + M v_3$

$M (v_0 - v_{02}) = M (v_3 - v_{02})$   
 $-M v_0 = M (v_3 - v_{02})$   
 $-M v_0 = M v_3 - M v_{02}$

$\frac{M}{m} \epsilon = \frac{v_0}{v_3 - v_{02}}$

$\frac{M}{m} = \frac{v_0}{v_{02} - v_3}$

$v_3 < v_{02}$

$\frac{N}{V} = \frac{v_1 N_1}{V} + \frac{v_2 N_2}{V} k_2$   
 $v = \frac{N}{NA} k$

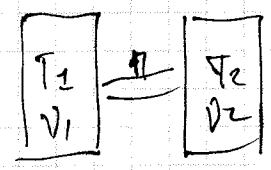
$p_1 = n k T$   
 $p_2 = n k T_2$   
 $\frac{v_1 N_1}{V} + \frac{v_2 N_2}{V} k_2 = \frac{v_1 T_1 + v_2 T_2}{v_2 T_2}$

14.

$v_1 = 1, 3 m/s$

$p_1 + p_2$

$p = p_1 + p_2 = n k (T_1 + T_2)$



$p = p_1 + p_2$

$p_1 V = \frac{M}{m} R T_1$

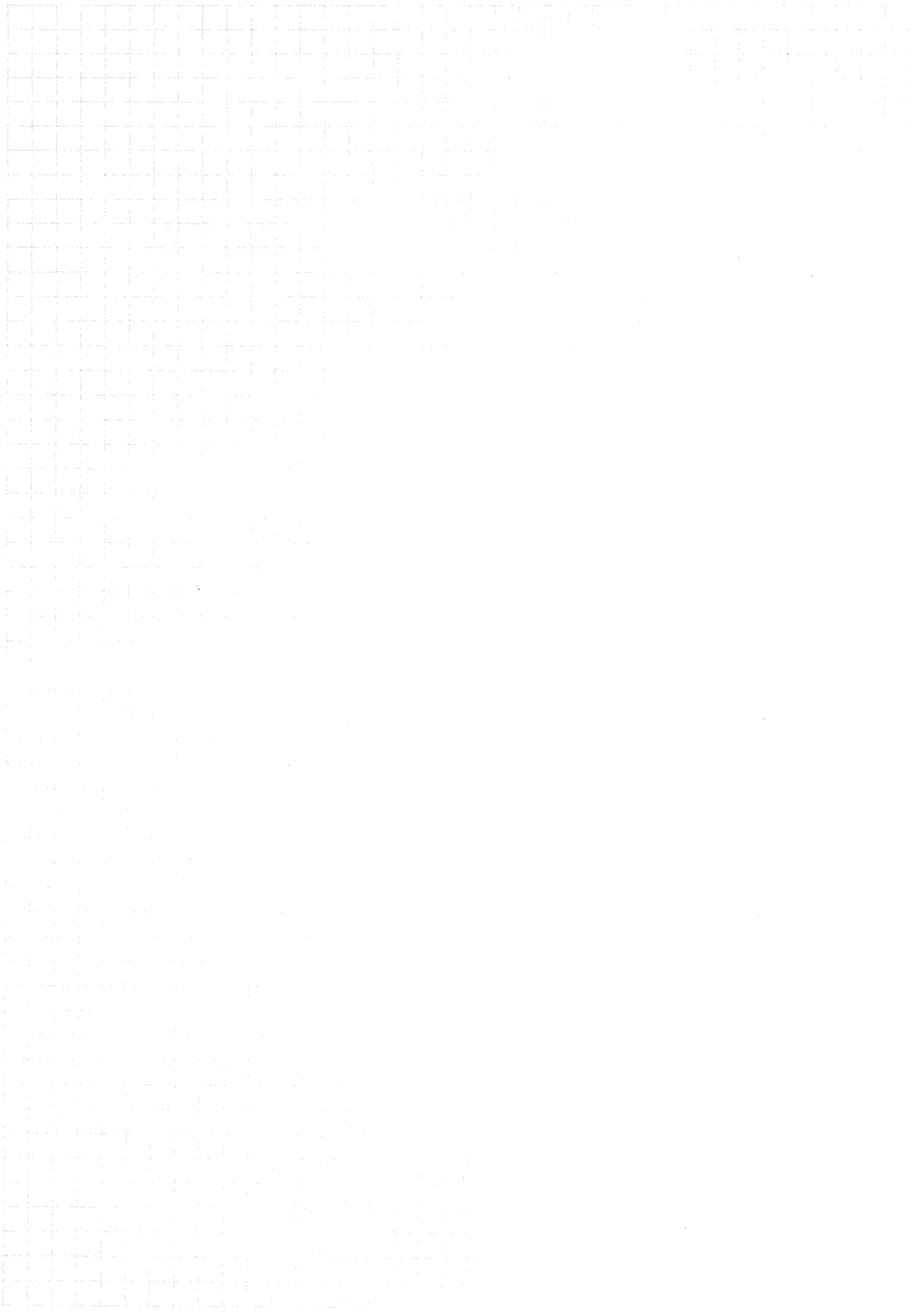
$p_2 V = \frac{M}{m} R T_2$

$= p_1 V = v_1 R T_1$

$p_2 V = v_2 R T_2$

$v_1 = \frac{N}{NA} =$

$p V = \left( \frac{M}{m} R T \right)$   
 $p = k \left( \frac{v_1 N_1 + v_2 N_2}{v_2 T_2} \right)$   
 $\frac{v_1 N_1}{V} + \frac{v_2 N_2}{V} k_2$



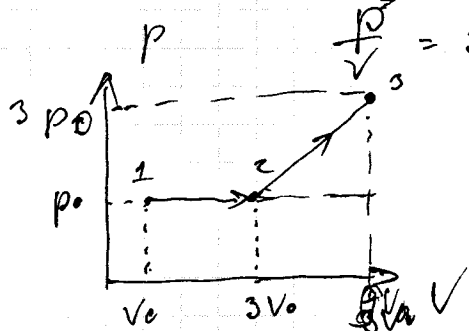
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_2 = 3V_0 = 3V_0$$

$$\beta = 3$$



$$S_{1,2} = p_0 \cdot 2V_0$$

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

$$p_0^2$$

$$4p_0^2$$

$$A_{1,2} = F \cdot S = p \cdot S$$

$$S = A = S$$

$$S = p_0 \cdot 2V_0$$

$$S_{гр} = \frac{p_0 + 3p_0}{2} \cdot 3V_0$$

$$2p_0 \cdot 3V_0$$

$$p_0 (p_0 \cdot 2V_0)^2$$

$$p = p_0 + p$$

$$\frac{p_0 \cdot 2V_0}{p_0 + 3p_0} \cdot \frac{p_0 \cdot 2V_0}{2p_0 \cdot 3V_0} = \frac{1}{15}$$

№5

$p_0^2$

~~решение~~ = конст + изобарные. 3.

$$3p_0 \cdot 3V_0 = \frac{m}{M} RT_3$$

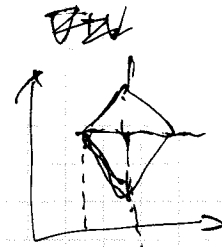
$$p_0 \cdot 2V_0 = \frac{m}{M} RT_2$$

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} RT_1$$

$$3p_0 V_0 = \frac{m}{M} RT_2$$

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} RT_1$$

$$F = p \cdot S$$



$3p_0$



$$A = F \cdot S = \frac{p \cdot S^2}{2}$$

$$\frac{3p_0 \cdot p_0 \cdot 4V_0^2}{p_0 \cdot 86 p_0^2 V_0^2} = \frac{12}{86} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{2p_0 V_0}{6p_0 V_0} = \frac{1}{3}$$

$$p_0^2$$

$$A \cdot \frac{\rho_0 a \Phi^2}{\rho_0 S^2} =$$

В момент времени броска

$$m_w < m_b$$

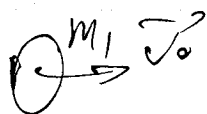
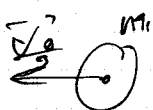
упругий удар

$$v_{1w} = 2v_{0w}$$

$$\frac{v_{0w}}{v_{0b}} = ?$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2} =$$

$$= \frac{v_1}{v_2} \Delta t$$



$$m_1 v_0 = -m_2 v_0 + m_2 \frac{v}{3}$$

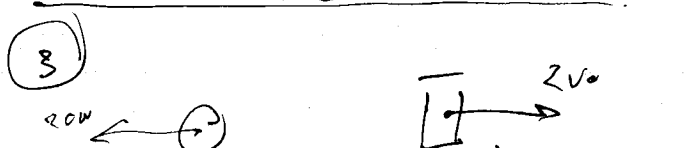
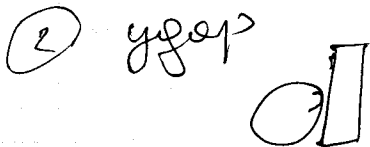
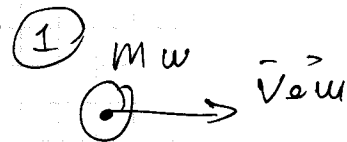
$$m_1 \frac{4}{3} v_0 = m_2 \frac{v}{3}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{4}{3} \cdot \frac{3}{1}$$

$$\frac{\frac{v_0}{3}}{v_0} = \frac{1}{3}$$

№3



$$m v_0 - m 2v_0 = -m v' + m 2v_0$$

$$-m v_0$$

$$m v_0 = m v' - m 2v_0$$

$$v' = \frac{v_0 (m + 2M)}{M}$$

$$-m v_0$$

$$m v_0 - m v' =$$

$$= -m_w 2v_0 + m 2v_0$$

$$-m 2v'$$

$$m_w v_0 + m_w$$

$$3 m_w v_0 + m 2v_0 = m v'$$

$$3 m_w v_0 = m v' - m 2v_0$$

$$v_0 (3 m_w + 2m) = m v'$$

$$\frac{v_0}{v'} = \frac{m}{3m_w + 2m} = \frac{1}{2}$$