

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 5-036

(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.

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.

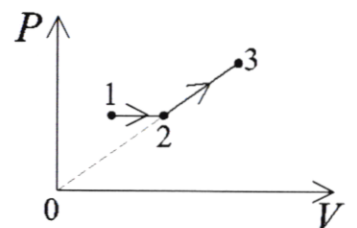
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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

Задача 1.

Запишем ур-я проекции скорости и координат в зависимости от времени:

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$x = v_0 \cos \alpha t$$

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2}, \text{ где } v_0 - \text{ начальная скорость мяча.}$$

Мяч падает на то же место, где был пущен. Углы удара и вылета мяча находятся в наибольшей точке своей траектории (скорость мяча имеет направление на противоположное) $\Rightarrow v_y(\frac{t_0}{2}) = 0 = v_0 \sin \alpha - \frac{g t_0}{2}$ (туда и обратно одинаковое время).

$$v_0 = \frac{g t_0}{2 \sin \alpha}.$$

$$\begin{aligned} \text{Высота в момент времени } \frac{t_0}{2} \text{ будет равна } H &= \frac{v_0 \sin \alpha t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{4} \\ &= \frac{g t_0}{2 \sin \alpha} \cdot \frac{\sin \alpha t_0}{2} - \frac{g t_0^2}{4} = \frac{g t_0^2}{4} - \frac{g t_0^2}{4} = \frac{g t_0^2}{8} = \frac{10 \cdot 2^2}{8} \text{ м} = \frac{10 \cdot 4}{8} = 5 \text{ м} \end{aligned}$$

Координата x в момент времени $\frac{t_0}{2}$ будет равна

$$\begin{aligned} L &= \frac{v_0 \cos \alpha t_0}{2} = \frac{g t_0 \cos \alpha t_0}{2 \sin \alpha \cdot 2} = \frac{g t_0^2}{4} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{10 \cdot 2^2}{4} \cdot \operatorname{ctg} 60^\circ \text{ м} \\ &= 10 \cdot \frac{1 \cdot 2}{2\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = \frac{10\sqrt{3}}{3} \approx 3,33 \cdot \sqrt{3} \approx 5,7 \text{ м} \end{aligned}$$

Ответ: $L \approx 5,7 \text{ м}$; $H = 5 \text{ м}$

Задача 2.

1. Запишем ЗСМ в векторной форме:

$m_1 \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$, где \vec{v}_1 и \vec{v}_2 скорости шаров после столкновения

ЗСЭ; н.к. удар шаров $\Rightarrow E$ сохраняется

$$m_1 v^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

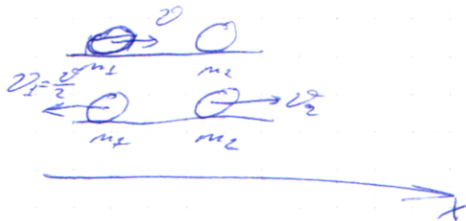
$$m_1 (v^2 - v_1^2) = m_2 v_2^2$$

$$m_1 (v - v_1)(v + v_1) = m_2 v_2^2$$

$$v_2 = v + v_1$$

Подставим в уравнение:

$$v_2 = v - \frac{v}{2} = \frac{v}{2}$$



Получим

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

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

$$\frac{m_2}{m_1} = 3; \quad \frac{v_2}{v} = \frac{v}{2v} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Аналогично: } \frac{m_2}{m_1} = 3;$$

$$\text{Аналогично: } \frac{m_2}{m_1} = 3, \quad \frac{v_2}{v} = \frac{1}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. Залышек ЗЦЦ и ЗЦТ (удар упругий \Rightarrow Крети = Класе ин)

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2', \text{ где } \vec{v}_1, \vec{v}_2 \text{ и } \vec{v}_1', \vec{v}_2' \text{ касаются до}$$

и после столкновения: 1- шарик

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 \quad 2- Брусон$$

$$m_1 (v_1 - v_1') = m_2 (v_2' - v_2)$$

$$m_1 (v_1^2 - v_1'^2) = m_2 (v_2'^2 - v_2^2)$$

$$v_1 + v_1' = v_2' + v_2 \quad ; \quad v_1' = -4v_1; \quad -3v_1 = v_2' + v_2$$

$$v_2' = v_1' + v_1 + v_2 \quad v_2' = -3v_1 - v_2$$

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

$$m_1 v_1 (m_1 - m_2) - 2v_2 m_2 = (m_1 + m_2) v_1'$$

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

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = -4m_1 v_1 - 3m_2 v_1 - m_2 v_2$$

$$v_1 (5m_1 + 3m_2) = -2v_2 m_2 \quad \frac{v_1}{v_2} = -\frac{2m_2}{5m_1 + 3m_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = -\frac{5m_1 + 3m_2}{2m_2} = -\left(\frac{5}{2} \frac{m_1}{m_2} + \frac{3}{2}\right)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = -\frac{2m_2}{5m_1 + 3m_2} = -\frac{2}{\left(5\frac{m_1}{m_2} + 3\right)} \quad \text{П.и. } m_1 \ll m_2, \text{ но } \frac{m_1}{m_2} \rightarrow 0 \quad \text{м.б. } \frac{v_1}{v_2} = -\frac{2}{3}$$

Еще вздем отношение подругой инфорсеи, м.б. $\frac{v_1'}{v_2'} = \frac{2}{3}$

Омлен: $\frac{2}{3}$

$$\frac{v_1'}{v_2'} = -\frac{2m_2}{5m_1 + 3m_2} = -\frac{2}{\left(5\frac{m_1}{m_2} + 3\right)} = -\frac{2}{3} \quad \frac{|v_1'|}{|v_2'|} = \frac{2}{3}$$

Омлен: $\frac{2}{3}$

4. Примеры:

ЗСД:

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

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T$$

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

γ_1 -я составляющая:

$$2pV = (\nu_1 + \nu_2) RT$$

$$p_1 V = \nu_1 RT_1$$

$$\frac{2p}{p_1} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1} \frac{T}{T_1}$$

$$\frac{p}{p_1} = \frac{\nu_1 + \nu_2}{2\nu_1} \frac{T}{T_1} = \frac{(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{2\nu_1 T_1} = \frac{200}{1 \cdot 200 \text{ K}} = 1$$

Ответ: 240 K; 1.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5. Газ в процессе 1 давление, температура, объём равны
 p_0, T_0, V_0 - при переходе в состояние 2

Для 1-2: $p_0 V_0 = \nu R T_0$

$$\nu p_0 V_0 = \nu R T_2$$

$$n = \frac{T_2}{T_0} \Rightarrow T_2 = n T_0$$

Для 2-3:

$$p(V) = \alpha V ; p(n^2 V_0) = \alpha n^2 V_0$$

$$p(n^2 V_0) = n^2 \alpha V_0$$

$$n^2 \alpha V_0 \cdot n^2 V_0 = \nu R T_3$$

$$n \alpha V_0 \cdot n V_0 = \nu R T_2$$

$$\frac{T_3}{T_2} = n^2 \Rightarrow T_3 = n^2 T_2 = n^3 T_0 \Rightarrow \frac{T_3}{T_0} = n^3 = 8 \rightarrow \text{в 8 раз увеличилась}$$

конечная температура

При изобарическом процессе работа равна

$$A_p = \int_{V_0}^{n V_0} p_0 dV = p_0 V_0 (n-1) \propto n V_0^2 (n-1)$$

Для 2-3: $A_{23} = \int_{n V_0}^{n^2 V_0} p(V) dV = \alpha \int_{n V_0}^{n^2 V_0} V dV = \alpha \left. \frac{V^2}{2} \right|_{n V_0}^{n^2 V_0} =$

$$= \frac{\alpha}{2} V_0^2 [n^4 - n^2]$$

$$\frac{A_p}{A_{23}} = \frac{2 \alpha n V_0^2 (n-1)}{\alpha V_0^2 (n^4 - n^2)} = \frac{2n(n-1)}{n^4 - n^2} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1}{16 - 4} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $v_0 \sin \alpha - g t_0 = 0$

$$v_0 = \frac{g t_0}{\sin \alpha}$$

$$L = v_0^2$$

$$\sqrt{3} \approx 1,7$$

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 1,7 \\ \hline 28 \\ + 119 \\ \hline 68 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3,33 \cdot 2 \\ \times 3,33 \\ \hline 666 \\ + 333 \\ \hline 1000 \end{array}$$

5.

$$p(V) = \alpha V$$

$$\frac{p_0}{V_0} = \frac{p}{V}$$

$$V = \alpha V_0$$

$$p_0 = \alpha V_0$$

$$p_3 = 4 \alpha V_0$$

$$p_3 - 4 \alpha V_0 = 2 R T_3$$

$$2 p_0 V_0 = p_0 V_0 = 2 R T_0$$

4. $p_0 V = \nu_2 R T_2$ $p_0 V_0$

$$p_0 V = \nu_2 R T_2 \quad (p_1 + p_2) = \frac{2 \nu_2 R T_2}{V}$$

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

$$2 p V = \nu_2 R T_2'$$

$$2 p V = \nu_2 R T_2'$$

$$p_1 = \frac{\nu_2 R T_2}{V} \quad 2 \frac{p}{p_0} = \frac{\nu_2 R T_2'}{T_2}$$

$$p_1 = \frac{\nu_2 R T_2'}{V}$$

$$p_0 V = \nu_2 R T_2$$

$$p_0 V = \nu_2 R T_2$$

$$p_2 V = \nu_2 R T$$

$$p_1 V = \nu_2 R T$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\nu_2}{\nu_2}$$

$$p_1 = \frac{\nu_2}{\nu_2} p_2$$

$$p_0 = p_1 + p_2 = p_2 \left(\frac{\nu_2}{\nu_2} + 1 \right)$$

$$2 p_0 V = \nu_2 R T_2'$$

$$p_0 \left(\frac{\nu_2}{\nu_2} + 1 \right) V = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$p_0 V = \nu_2 R T_2$$

$$\nu_2 R T_2 = p_2 V$$

$$\nu_1 R T_2 = p$$

$$m_2 v = -m_2 \frac{v}{2} + m_2 v_x$$

Этот закон

$$m_2 \bar{v} = m_2 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$$

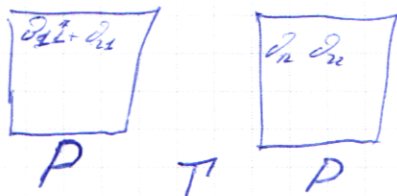
$$m_2 v_2^2 = m_2 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

$$m_2 (v^2 - v_1^2) = m_2 v_2^2$$

$$m_2 (\bar{v} - \bar{v}_1) = m_2 \bar{v}_2$$

$$\bar{v} + \bar{v}_1 = \bar{v}_2$$

$$\bar{v}_2 = \bar{v} - \frac{v}{2} = \frac{v}{2}$$



$$p_1 V = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$\nu_1$$

$H = \text{out } pV$

$$p_2 V = \nu_2 R T_2$$

$$p - \text{out} = A \nu_n$$

$$2 p_1 V = \nu_1 R T$$

$$K = pV$$

$$p_2 V = \text{const}$$

$$2 p_1' V = \nu_1 R T$$

$$pV =$$

$$pV = (\nu_{11} + \nu_{12}) R T$$

$$\nu_1 + \frac{\nu_2}{3} = \nu_1 + \frac{\nu_2}{3} = \frac{5}{3}$$

$$\frac{p_1'}{p_1} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

$$pV = (\nu_{21} + \nu_{22}) R T$$

$$p_1' = \frac{\nu_1}{\nu_2} p_1$$

$$pV =$$

$$\frac{5}{6} \cdot \frac{240}{200} =$$

$$\frac{2 p_1'}{p_1} = \frac{T}{T_1}$$

$$2 pV =$$

$$2 pV = (\nu_{21} + \nu_{22}) R T$$

$$\frac{2 p_1'}{p_1} = \frac{T}{T_1}$$

$$E = \frac{3}{2} k T = \frac{3 \nu \nu^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 E T}{M}}$$

$$p = p_1' \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} + 1 \right)$$

$$p_2 = \frac{\nu_1 R T_1}{V}$$

$$\sqrt{\frac{p_1'}{p_1}} = \sqrt{\frac{T}{T_1}}$$

$$p_2 = \frac{p_1' \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} + 1 \right) V}{\nu_1 R T_1} = \frac{V p_1' \left(\frac{\nu_1}{\nu_2} + 1 \right)}{R T_1}$$

$$\frac{\nu_1 \cdot 3}{N_A} k T_1 + \frac{\nu_2 \cdot 3}{N_A} k T_2 = \frac{\nu_1 + \nu_2}{N_A} \cdot \frac{3}{2} k T$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T = (\nu_1 + \nu_2) T$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

5-036

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Grid area for writing the answer.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)