# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 4-007

(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° 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 $m_1$, скользивший 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 шарику, 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.

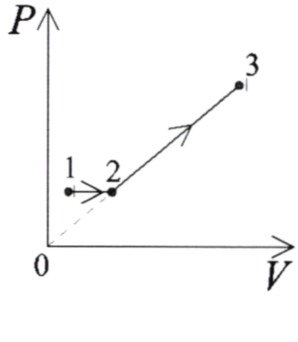
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

**4.** В двух теплоизолированных сосудах одинакового объема, соединенных короткой трубкой с закрытым краном, находятся $\upsilon_1$=1/3 моль одноатомного идеального газа при температуре $T_1$=300 К и $\upsilon_2$=1/5 моль другого одноатомного идеального газа при температуре $T_2$=500 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.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

4-007

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. Дано:

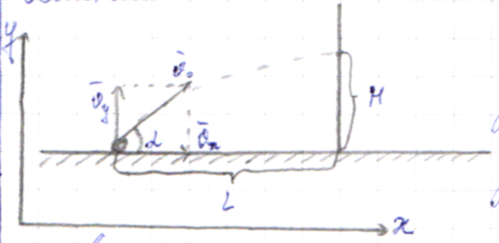
$\alpha = 30^\circ$

$t_0 = 1{,}5$

$L$ - ?

$H$ - ?

Решение:




Поскольку мяч отскочил от стены на расстояние, равное его начальному расстоянию, то можно считать, что он движется под углом к горизонту, где проекция его пути на ось Ox равна 2L, а на ось Oy – H

Время, за которое мяч пролетел первую половину пути, равно времени, за которое он пройдёт вторую половину пути, и равно $\frac{t_0}{2}$

$H = \frac{g\left(\frac{t_0}{2}\right)^2}{2} = \frac{10\left(\frac{1,5}{2}\right)^2}{2} = 2{,}8125$ (м) – в этом случае я рассмотрел ситуацию, в которой шарик отпускают с высоты H без начальной скорости.

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

$v_y = \frac{H + \frac{g t_0^2}{2}}{t_0} = \frac{2{,}8125 + \frac{10\cdot(1{,}5)^2}{2}}{1{,}5} = 9{,}35\left(\frac{м}{с}\right)$

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

$t_0 = 2\sqrt{\frac{2H}{g}}$ ,

$\frac{2L}{v_x} = 2\sqrt{\frac{2H}{g}}$

$L = \sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot v_x = \sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot \frac{v_y}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \sqrt{\frac{2\cdot 2{,}8125}{10}} \cdot 9{,}35 \cdot \sqrt{3} \approx 4{,}1 \cdot 9{,}35 = 38{,}335$ (м)

Ответ: 2,8125 м; 38,335 (м).

2. Дано:

$3u_1 = v_1$

$v_2 = 0$

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

$\frac{u_2}{v_1}$ - ?

Решение:

Распишем закон сохранения импульса и закон сохранения энергии:

$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2$ (1)

$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$ (2)

Разделим (2) на (1)

$\frac{m_1 (9u_1^2)}{m_1 3u_1} = \frac{m_1(9u_1^2 - u_1)^2}{m_1(3u_1 - u_1)} = \frac{m_2 u_2^2}{m_2 u_2}$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)



(Нумеровать только чистовики)

$$\frac{8u_1^2}{2u_1} = \frac{u_2^2}{u_2}$$

$4u_1 = u_2$

$$\frac{u_2}{v_1} = \frac{4u_1}{3u_1} = \frac{4}{3}$$

$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2$

$m_1 3u_1 = m_1 u_1 + m_2 4u_1$

$m_1 2u_1 = m_2 4u_1$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{2u_1}{4u_1} = \frac{1}{2}$$

Ответ: 1) $\frac{1}{2}$; 2) $\frac{4}{3}$.

3. Дано:

$m << M$

$2v_1 = u_1$

$\frac{v_ш}{v_{бр}}$ - ?

Решение:

$m$ - масса шарика, $M$ - масса бруска.

Пусть брусок будет неподвижной системой отсчёта, тогда

$v_ш' = v_ш + v_{бр}$

$v_1 - v_ш$

Запишем закон сохранения импульса:

$m(v_ш + \cancel{v_{бр}}\ v_{бр}) = m(u_ш - v_{бр})$

$u_ш = u_1 = 2v_ш$

$2v_{бр} = v_ш$

$$\frac{v_ш}{v_{бр}} = \frac{1}{2}.$$

Ответ: $\frac{1}{2}$.

4. Дано:

$\nu_1 = \frac{1}{3}$ моль

$T_1 = 300K$

$\nu_2 = \frac{1}{3}$ моль

$T_2 = 500K$

$T_0$ - ?

Решение:

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

$p_2 V = \nu_2 R T_2$ $\quad p_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{V}$

$p_0 = p_1 + p_2$ - по закону Дальтона

$p_0 2V = (\nu_1 + \nu_2) R T_0$

$$T_0 = \frac{p_0 2V}{(\nu_1 + \nu_2)R}$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

4-007

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{p_0}{p_2}$ - ?

$$T_0 = \frac{\cancel{8}(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)\cdot 2\cancel{V}}{(\nu_1+\nu_2)R} = \frac{2\nu_1 T_1 + 2\nu_2 T_2}{\nu_1+\nu_2} = \cancel{\frac{2\cdot\frac{1}{3}\cdot 300 + 2\cdot\frac{1}{5}\cdot 300}{}} = \frac{2\cdot\frac{1}{3}\cdot 300 + 2\cdot\frac{1}{5}\cdot 300}{\frac{1}{3}+\frac{1}{5}} =$$

$$= \frac{400}{\frac{8}{15}} = \frac{400\cdot 15}{8} = 750\ K$$

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{(\nu_1+\nu_2)RT_0}{2V}\cdot\frac{V}{\nu_2 R T_2} = \frac{(\nu_1+\nu_2)T_0}{2\nu_2 T_2} = \frac{\frac{8}{15}\cdot 750}{2\cdot\frac{1}{3}\cdot 300} = \frac{400}{200} = 2$$

Ответ: 1) 750 K; 2) 2.

5. Дано:

$3V_1 = V_2$

$9V_1 = 3V_2 = V_3$

На 2-3:

$p \sim V$

$\frac{T_к}{T_н}$ - ?

$\frac{A_{12}}{A_{23}}$ - ?

Решение:

$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ - уравнение Клапейрона

$p = const$

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

$T_2 = T_1 \cdot \frac{V_2}{V_1} = 3T_1$

$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3}$

$T_3 = T_2 \cdot \frac{p_3 V_3}{p_2 V_2}$

Поскольку на 2-3 $p \sim V$, то $p_3 = kV_3$, $p_2 = k\cancel{p_2}V_2$

$T_3 = T_2 \cdot \frac{\cancel{k}V_3^2}{\cancel{k}V_2^2} = T_2\cdot\frac{81V_1}{9V_1} = 9T_2 = 27T_1$

$T_1 - T_н$

$T_3 - T_к$

$\frac{T_к}{T_н} = 27$

$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{S_{12}}{S_{23}}$

$S_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 2p_1V_1$

$S_{23} = \frac{(p_3-p_2)}{2}(V_3 - V_2) = 3(p_3-p_2)\cdot V_1 = 3(p_3-p_1)V_1$

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

$p_1 = p_2$

$p_3 = kV_3$

$p_2 = kV_2$

$\frac{p_3}{p_2} = \frac{p_3}{p_1} = \frac{V_3}{V_2} = 3$

$p_3 = 3p_1$

$S_{23} = 3(3p_1 - p_1)V_1 = 6p_1V_1$

$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{2p_1V_1}{6p_1V_1} = \frac{1}{3}$

Ответ: 1) 27; 2) $\frac{1}{3}$.

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

4 – 007

3. Дано:
$3V_1 = V_2$
$3V_2 = V_3$
$\frac{T_2}{T_1} - ?$
$\frac{A_{12}}{A_{23}} - ?$

Решение:

2-3 – изотерма, т.к. $p = k \cdot V = \frac{V}{T}$, т.к. у прямой $k = const$, то $T = const$. $T_2 = T_3$

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

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

$p = \frac{T}{V}$

$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{3V_1}{V_1} = 3$

$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{S_{12}}{S_{23}}$

$S_{12} = p_1(V_2 - V_1) = p_1 \cdot 2V_1$

$S_{23} = \frac{p_3 - p_1}{2} \cdot (V_3 - V_2) = \frac{p_3 - p_1}{2} \cdot (9V_1 - 3V_1) = (p_3 - p_2) \cdot 3V_1$

$p_1 = p_2$

$p_2 V_2 = p_3 V_3$ $\qquad$ $p_2 3V_1 = p_3 9V_1$

$p_3 = \frac{V_2}{V_3} \cdot p_2 = \frac{1}{2} p_1$

$T_2 = 3T_1$

$T \sim V^2$

$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3}$

$T_3 = T_2 \frac{p_3 V_3}{p_2 V_2} = 3T_1 \cdot \frac{p_3}{p_2} \cdot 3 = 9T_1 \cdot \frac{p_3}{p_2} = 9T_1 \frac{V_3}{V_2} = 27T_1$

$\frac{T_3}{T_1} = \frac{27T_1}{T_1} = 27$

$p_3 = \frac{T_3}{V_3} - \frac{T_2}{V_2} = \frac{T_3 - T_2}{9V_1} =$

$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{S_{12}}{S_{23}}$

$S_{12} = p_1(V_2 - V_1) = 2p_1V_1$

$S_{23} = \frac{(p_3 - p_2)}{2}(V_3 - V_2) = 3(p_3 - p_2)V_1 = 6p_1V_1$

$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{2p_1V_1}{6p_1V_1} = \frac{1}{3}$

$p_3 = kV_3$

$p_2 = kV_2$

$\frac{p_3}{p_2} = \frac{V_3}{V_2} = 3$

$p_3 - p_2 = 2p_2 = 2p_1$

4. Дано:
$\nu_1 = \frac{1}{3}$ моль
$\nu_2 = \frac{1}{5}$ моль
$T_1 = 300$ К
$T_2 = 500$ К

$p_1 V = \nu_1 R T_1$
$p_2 V = \nu_2 R T_2$
$p_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{V}$
$p_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{V}$
$p_0 2V = (\nu_1 + \nu_2) R T_0$
$T_0 = \frac{p_0 2V}{(\nu_1 + \nu_2) R} =$
$= \frac{\frac{R}{V}(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) 2V}{(\nu_1 + \nu_2) R} =$
$= \frac{2\nu_1 T_1 + 2\nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} =$
$= \frac{2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 300 + 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot 500}{\frac{1}{3} + \frac{1}{5}}$
$= \frac{400 \cdot 15}{8} = 50 \cdot 15 =$
$= 750$ К

$\frac{p_0}{p_2} = \frac{\frac{R}{V}(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{\frac{R}{V}(\nu_2 T_2)} =$
$= \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_2 T_2} = \frac{200}{100}$
$= 2$

$p_0 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_0}{2V}$
$p_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{V}$

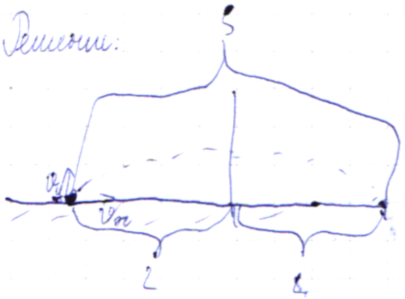
$\frac{p_0}{p_2} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T_0}{2\nu_2 T_2} = \frac{\frac{8}{15} \cdot 750}{100} = \frac{400}{100} = 4$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__
(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. Дано:
$\alpha = 30^\circ$
$t_0 = 1{,}5$ с
$L$ - ?
$H$ - ?

Решение:



$S = 2L$

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

$v_y = \frac{H + \frac{g t_0^2}{2}}{t_0}$

$v_x = \frac{L}{t_0}$

$v_y = \frac{H + \frac{g t_0^2}{2}}{t_0} = \frac{2{,}8125 + \frac{10 \cdot 2{,}25}{2}}{1{,}5} =$

$= 9{,}35$

$v_x = \frac{v_y}{tg 30^\circ} = \frac{9{,}3483 \cdot 3}{\sqrt{3}}$

$t_0 = \frac{L}{v_x}$

$t_0 = 2\sqrt{\frac{2H}{g}}$

$\frac{L}{v_x} = 2\sqrt{\frac{2H}{g}}$

$v_x = v_y \cdot \sqrt{3} = \frac{H + \frac{g t_0^2}{2}}{t_0} \cdot \sqrt{3}$

$L = 2\sqrt{\frac{2H}{g}} \left(\frac{H + \frac{g t_0^2}{2}}{t_0}\right) \cdot \sqrt{3} \approx 2{,}6 \cdot v_y = 22{,}31$ (м)

$H = 2{,}8125$ (м)

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

$H = \frac{g \left(\frac{t_0}{2}\right)^2}{2} = \frac{10 \cdot (1{,}5)^2}{2} =$

$= 5 \cdot 0{,}5625 =$
$= 2{,}8125$

$0{,}75 \cdot 0{,}75 = 0{,}5625$
$0{,}5625 \cdot 5 = 2{,}8125$
$11{,}25$
$14{,}0625 : 1{,}5 = 9{,}3483$

$16{,}875$
$4{,}1 \cdot 4{,}1 = 16{,}81$
$1{,}7 \cdot 1{,}7$
$4{,}2 \cdot 4{,}2 = 17{,}64$
$9{,}35 \cdot 4{,}1 = 38{,}335$
$0{,}5625 \cdot 3 = 1{,}6875$; $6{,}75$
$2{,}5 \cdot 2{,}5 = 6{,}25$
$2{,}6 \cdot 2{,}6 = 6{,}76$
$9{,}35 \cdot 2{,}6 = 24{,}310$
$9{,}35 \cdot 2{,}6$

2. Дано:
$3U_1 = v_1$
$v_2 = 0$
$\frac{m_2}{m_1}$ - ?
$\frac{v_2}{v_1}$ - ?

Решение:

$m_1 v_1 = m_1 U_1 + m_2 U_2$

$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}$

$m_1 (2U_1) = m_2 U_2$
$m_1 8 U_1^2 = m_2 U_2^2$

$4U_1 = U_2$

$m_1 3U_1 = m_1 U_1 + m_2 4U_1$

$m_1 2U_1 = m_2 4U_1$

$\frac{m_2}{m_1} = \frac{4U_1}{2U_1} = 2$

$\frac{v_2}{v_1} = \frac{4U_1}{3U_1} = \frac{4}{3}$

3. Дано:
$m \ll M$
$2v_1 = U_1$
$\frac{v_1}{v_2}$ - ?  $\frac{v_ш}{v_{бр}}$ - ?

$v_ш$ отн. $v_{бр} = v_1 + v_2$
$v_ш$  $v_{бр-к}$

НСО: брусок
ПСО: шарик

$v_{бр} = v_{бр-к}$

$\cancel{m}(v_{бр} + v_ш) = \cancel{m}(U_1 - v_{бр})$

$2v_{бр} = 2v_ш - v_ш$

$\frac{v_ш}{v_{бр}} = 2$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Ч-007

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

4-007

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)