

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр 8-001

(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  $10 \text{ м/с}^2$ .

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 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.

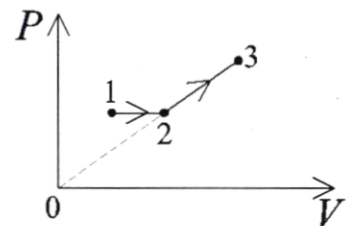
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

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

№ 5

Дано

$$\frac{V_2}{V_1} = 2$$

$$P_2 = P_1$$

$$\frac{V_3}{V_2} = 2$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{V_3}{V_2}$$

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

$$\frac{A_1}{A_2} = ?$$

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

I  $P = const \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \\ \frac{V_2}{V_1} = 2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_3}{V_2} = 2 \\ \frac{P_3}{P_2} = \frac{V_3}{V_2} \\ P_3 V_3 = \frac{m}{M} R T_3 \\ P_2 V_2 = \frac{m}{M} R T_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \cdot \frac{V_2}{V_3} \Rightarrow \frac{P_3}{P_2} = 2$$

$$\Rightarrow 2 = \frac{T_3}{T_2} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = 4$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{T_2}{T_1} = 2 \\ \frac{T_3}{T_2} = 4 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{T_3}{T_1} = 8$$

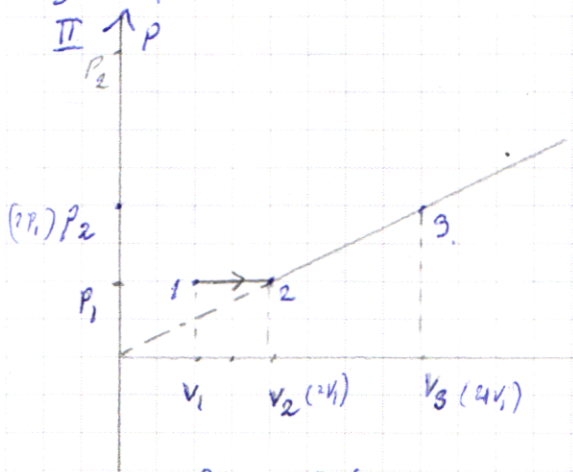
Работа в изобарическом процессе - 1  
 $A = P \cdot \Delta V = P_1 (2V_1 - V_1) = P_1 V_1$

Работой газа является площадь под графиком процесса в плоскости PV.  
 Во втором процессе фигура под графиком - трапеция с основаниями  $V_2$  и  $V_3$  и высотой  $2P_1$ , найдем площадь трапеции:

$$A_2 = \frac{0 + P_1 + 0 + 2P_1}{2} \cdot (4V_1 - 2V_1) = \frac{3P_1 \cdot 2V_1}{2} = 3P_1 V_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_2 = 3P_1 V_1 \\ A_1 = P_1 V_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{3}$$

Ответ:  $\frac{T_3}{T_1} = 8, \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{3}$ .



№ 4

Дано:

$$v_1 = \frac{1}{2} \text{ моль}$$

$$v_2 = \frac{1}{3} \text{ моль}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 300 \text{ К}$$

$$T = ?$$

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

$$l_1 = \frac{1}{3}$$

RT - константа мольерятура, объем.  $P_1$  - давление газа в начале,  $P_2$  - давление в конце.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 V_1 = v_1 R T_1 \\ P_2 V_2 = v_2 R T_2 \\ V_1 = V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2 T_2}{v_1 T_1} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{2 T_1}{3 T_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{1}{2} \text{ моль} \cdot 300 \text{ К}}{\frac{1}{3} \text{ моль} \cdot 300 \text{ К}} = 1 \Rightarrow P_1 = P_2$$

$$\Rightarrow P_1 = P_2, T_1 v_1 = T_2 v_2 = 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u = \epsilon_k \cdot n \cdot V = \frac{1}{2} RT \\ \epsilon_k = \frac{3}{2} P n \\ P = \frac{1}{3} RT \Rightarrow \frac{1}{3} RT_1 = \frac{1}{3} RT_2 \\ P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{1}{3} RT_1 = \frac{1}{3} RT_2 \Rightarrow T_1 = T_2 \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{1}{3} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2' = \frac{v_2 \cdot RT}{2V_2} \\ P_1' = \frac{v_1 \cdot RT}{2V_1} \\ P = P_2' + P_1' \end{array} \right\} \Rightarrow P = \frac{v_1 \cdot RT}{2V_1} + \frac{v_2 \cdot RT}{2V_2} = \frac{RT(v_1 + v_2)}{2V_1} = P \Rightarrow T = \frac{P \cdot 2V_1}{R(v_1 + v_2)}$$

$$\frac{P}{P_1} = \frac{RT(v_1 + v_2)}{2V_1} \cdot \frac{RTv_1}{P_1} = \frac{(v_1 + v_2)T}{2 \cdot T_1 \cdot v_1} = \frac{(v_1 + v_2) \cdot T}{2} = \frac{P}{P_1}$$

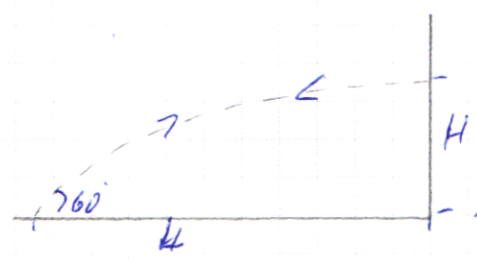
$$\left\{ \begin{array}{l} T = P \cdot 2V_1 / R(v_1 + v_2) \\ P = \frac{(v_1 + v_2) \cdot T \cdot P_1}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow T = \frac{(v_1 + v_2) \cdot T \cdot P_1 \cdot 2}{R(v_1 + v_2)} \Rightarrow \frac{P_1}{R} = 1 \Rightarrow |P_1| = R = \boxed{5 \text{ Па} = P_1}$$

$$P_1 = \frac{v_1 \cdot R \cdot T_1}{2V_1} = \frac{R}{2 \cdot 2V_1} \Rightarrow \boxed{V_1 = \frac{R}{P_1 \cdot 2}} \quad \boxed{V_1 = \frac{1}{2} \text{ м}^3}$$

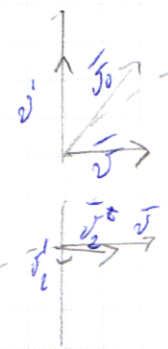
$$\frac{P}{P_1} = \frac{5}{12} \text{ малл} \cdot T$$

$$\text{Объем: } \frac{P}{P_1} = \frac{\sqrt{5}}{12} \text{ малл}^3$$

- N:1  
 Дано:  
 $d = 60$   
 $t_0 = 20$   
 $L = ?$   
 $H = ?$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$



Возможно 2 варианта; когда мяч летит дальше и на полетим от  $t_1 = \frac{v_0 \sqrt{3}}{2}$  и меньше.  
 - когда меньше:  $v_x' = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$   
 когда дальше  $v_x' = v_0 + \frac{g t^2}{2}$   
 $v = \text{const}$



$$v_2' = v_1 \cdot 2 - \frac{10 \cdot 4}{2} = v_1 \cdot 2 - 20$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V_1} = \frac{\nu_2 RT_2}{V_2} \Rightarrow \nu_1 RT_1 = \nu_2 RT_2 \quad P = \frac{1}{3} n_0 \overline{v^2} = \frac{\alpha}{2} \overline{\epsilon_k} n \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = P_2, V_1 = V_2 \\ P = P_2 + P_1' \end{array} \right\}$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad T = \frac{2P \cdot V_1}{R(\nu_1 + \nu_2)} \Rightarrow T = m \quad \frac{1}{3} m_0 n_1 \overline{v_1^2} = \frac{1}{2} m_0 n_2 \overline{v_2^2}$$

$$U = \frac{1}{2} RT \quad \overline{\epsilon_k} n = \overline{\epsilon_k} n_1$$

$$V_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{P_1} \quad T = \frac{2P}{R(\nu_1 + \nu_2)} \cdot V_1$$

$$P_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{V_1}$$

N=4  
 $\nu_1 = \frac{1}{2}$  моль  
 $\nu_2 = \frac{1}{3}$  моль  
 $T_1 = 200K$   
 $T_2 = 300K$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu_1 R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu_2 R T_2 \\ V_1 = V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\nu_1 R T_1}{P_1} = \frac{\nu_2 R T_2}{P_2}$$

$$\frac{P_1}{\nu_1 T_1} = \frac{P_2}{\nu_2 T_2}$$

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

$$\frac{P_2}{\frac{1}{3} \text{ моль} \cdot 300K} = \frac{P_1}{\frac{1}{2} \text{ моль} \cdot 200K} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = P_2$$

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = TR(\nu_1 + \nu_2)$$

$$T = \frac{P \cdot 2V_1}{R(\nu_1 + \nu_2)} = \frac{2P_1 V_1}{R}$$

$$\left. \begin{array}{l} u = \overline{\epsilon_k} \cdot n \cdot V = \frac{1}{2} RT \\ \overline{\epsilon_k} = \frac{3}{2} \frac{P}{n} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{2} RT = \frac{3}{2} \frac{P \cdot V}{n}$$

$$\frac{1}{2} RT = \frac{3}{2} P V$$

$$P = \frac{\alpha}{2} \overline{\epsilon_k} \cdot n$$

$$\frac{\nu_1 R T_1}{V_1} = \frac{\nu_2 R T_2}{V_2}$$

$$iRT = 3PV$$

$$P = iRTV$$

$$V = \frac{iRT}{3P}$$

$$P = \frac{iRT}{3V}$$

$$\frac{i_1 R T_1}{3V} = \frac{i_2 R T_2}{3V}$$

$$P = \frac{1}{3} \frac{P_1 + P_2}{P_1} = \frac{P_2 V RT(\nu_1 + \nu_2) + R T_1 \nu_1}{2 \nu_1 V_1} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T}{T_1 \nu_1 \cdot 2} = (\nu_1 + \nu_2)$$

$$i_1 T_1 = \frac{1}{2} T_2$$

$$\frac{i_1^3}{i_2^3} = \frac{T_2^3}{T_1^3} \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{3}{2}$$

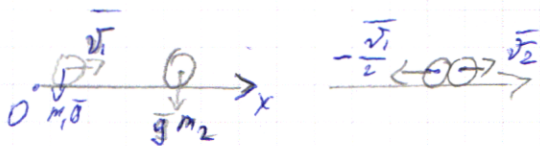
N:2

$$v_3 = 0$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{2}$$

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

$$\frac{v_2}{m_1} = ?$$



$$m_1 v_1 + 0 \cdot m_2 = m_1 \frac{v_1}{2} + m_2 v_2 \quad v_2 = \frac{m_1 v_1}{2 m_2} \quad v_2 = \frac{m_1 \cdot 1.5 v_1}{m_2}$$

$$m_1 v_1 + 0 = -m_1 \frac{v_1}{2} + m_2 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{1.5 m_1 v_1}{m_2}$$

$$m_1 (1.5 v_1) = m_2 v_2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{1.5 v_1}{v_2}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{m_1 v_1}{2 m_2 \cdot 1.5 v_1}$$

$$v_1 m_1 - 0 = -\frac{v_1}{2} m_1 + v_2 m_2$$

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

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

$$= 1 \frac{v_1}{v_2}$$

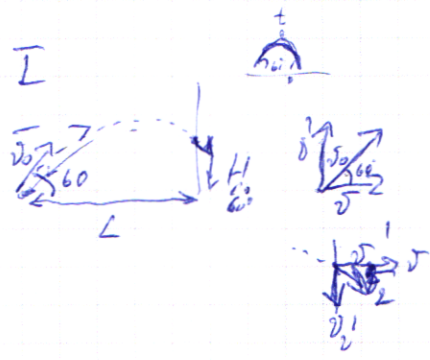
$$m_2 \frac{v_1}{2} = \frac{v_1 + v_2}{m_1} m_2 + v_1$$

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

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

$$\frac{1.5 v_1}{v_2} = \frac{2 - v_1}{v_2} \Rightarrow 1.5 v_1 = 2 - v_1 \Rightarrow 2.5 v_1 = 2 \Rightarrow v_1 = \frac{2}{2.5}$$

N:1



$$t_n = \frac{v_0 - v_3}{20}$$

$$v = v_0 \cos \alpha$$

$$v_x' = v' \cdot t \pm \frac{g t^2}{2} \quad \left( \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}, \text{ время } t \right)$$

$$v_x' = 2 v_1 \cdot 2 - \frac{10 \cdot 4}{2} = v_x' = 2 v_1 - 20$$

$$v_x' =$$

$$P_1 = \frac{2 P}{2}$$

N:4

$$\frac{P}{P_1} = \frac{(v_1 + v_2) T}{2} \Rightarrow P = \frac{(v_1 + v_2) T}{2} \cdot P_1$$

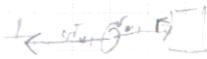
$$T = \frac{(v_1 + v_2) \cdot T \cdot 8 P_1}{2 R (v_1 + v_2)} \Rightarrow \frac{N_1}{R} = 1 \Rightarrow N_1 = R$$



$$p = m \cdot v$$

$$p_1 + p_2 = p_3 + p_4$$

$$v_{u1} = v_{u2}$$



$$p =$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_3 + m_2 \cdot v_4$$

$$m_1 (3v_1) = m_2 (v_2 - v_3)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2 (v_2 - v_3)}{3m_1 \cdot v_2}$$

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

$$3\overline{v_1} = m_2 (\overline{v_2} - \overline{v_3})$$

$$v_1 - m_2 v_2 = 4v_1 + m_2 v_3$$

$$5v_1 = m_2 (v_2 + v_3)$$

$$v_1 \cdot m_1 + v_3 \cdot m_2 = -v_2 \cdot m_1 + v_4 \cdot m_2$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_2} = \frac{(v_4 + v_3) m_2}{2m_1} + \frac{v_1}{v_2}$$

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

$$m_1 \left(\frac{v_1}{2}\right) = m_2 v_2 \quad \frac{m_1}{m_2} = 1,5 \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot 1,5 \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} \cdot 2$$

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

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

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

$$m_1 (1,5v_1) = m_2 v_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = 1,5 \frac{v_1}{v_2}$$

$$v_1 \cdot m_1 + v_2 \cdot m_2 = v_3 \cdot m_1 + v_4 \cdot m_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1 (v_3 - v_1) + v_4 \cdot m_2}{m_2}$$

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{m_1 (v_2 + v_4) + m_2 (-v_2 v_2 + v_4)}{v_1}$$

$$v_1 m_1 - v_2 m_2 = -v_3 m_1 + v_4 m_2 \quad m_1 (v_1 + v_3) = m_2 (v_2 + v_4)$$

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{(v_4 + v_2) m_2}{v_1} - m_1 \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1 + v_3}{v_2 + v_4}$$

$$\frac{v_4}{v_1} = m_1 (1 + v_3) - v_2 m_2$$

$$m_1 (v_3 + v_2) = m_2 (v_4 + v_1) \Rightarrow \frac{v_2 + v_4}{v_2 + v_1} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow v_3 + v_4 = \frac{m_2 (v_2 + v_1)}{m_1}$$

$$\frac{v_1}{v_2} \cdot R = \frac{1,5 v_1}{v_2}$$

$$\begin{cases} m_0 \cdot n = m \Rightarrow \frac{m_0}{m} = \frac{n}{N_A} \\ \mu = m_0 \cdot N_A \\ A = \mu + \Delta p = p \cdot V \\ m = \mu \cdot \nu \\ m = m_0 \cdot \nu \cdot N_A \cdot n \\ \mu = m_0 \cdot N_A \end{cases}$$

N. 4

$$v_1 = \frac{1}{2} \text{ м/с} \\ v_2 = \frac{1}{2} \text{ м/с}$$

$$T = ?$$

$$\frac{p}{P_1}$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{\nu_1 R T_1}{P_1}$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2 \Rightarrow V_2 = \frac{\nu_2 R T_2}{P_2}$$

$$T R (\nu_1 + \nu_2) = P_1 V_1 + P_2 V_2$$

$$T = \frac{\nu_1 + \nu_2}{\nu_1 + \nu_2} \cdot \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{R}$$

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} \cdot \frac{P_1 + P_2}{R} \Rightarrow T = \frac{P_1 \nu_1 T_1 + P_2 \nu_2 T_2}{R (\nu_1 + \nu_2)}$$

$$\frac{\nu_1 T_1}{P_1} = \frac{\nu_2 T_2}{P_2} \Rightarrow \frac{\nu_1}{P_1} T_1 = \frac{\nu_2}{P_2} T_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{\nu_2 T_2}{\nu_1 T_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{200}{1/3 \cdot 300} = 1 \Rightarrow P_1 = P_2$$

$$\mu = \overline{\epsilon_k} \cdot n \cdot \nu = \frac{1}{2} R T = \frac{V \cdot 3 \cdot 2 \cdot R^2}{2 R} \\ \text{или } p = \frac{2}{3} \overline{\epsilon_k} \cdot n \Rightarrow \overline{\epsilon_k} = \frac{3 \cdot p \cdot V}{2 n}$$





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

8-001

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

8-001

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)