

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

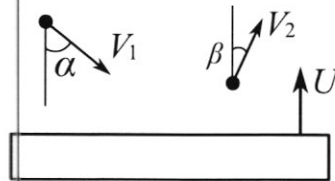
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 18$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.

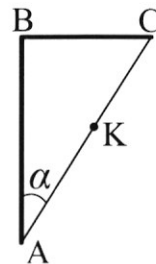


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ К, а криптона $T_2 = 400$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

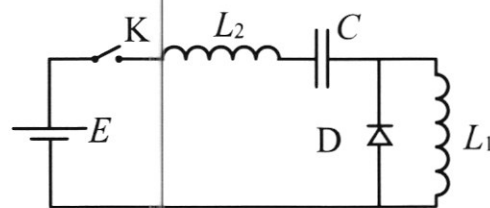
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



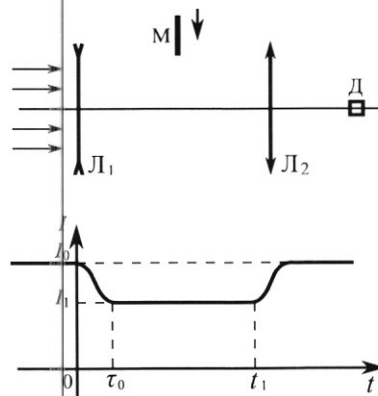
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии F_0 от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 7I_0/16$.



- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача ~ 1

Дано:

$$v_1 = 18 \text{ м/с}$$

$$\sin \alpha = \frac{2}{3}$$

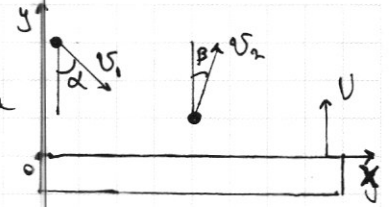
$$\sin \beta = \frac{4}{5}$$

Решение:

В ходе данного физического процесса проекция скорости шарика на горизонтальную ось не изменится, а на вертикальную - увеличится

ОХ:

$$v_{1x} = v_{2x} \rightarrow v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta \rightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{4} = 20 \text{ м/с}$$



- 1) v_2 - ?
2) v - ?

2) Так как пистон массивная, то можно сказать: $M \gg m$, следовательно при неупругом ударе шара о пистон ΔP - изменение импульса пистона пренебрежимо мало, тогда:

ЗСУ: $Mv - mv_1 = Mv' + mv_2$, где $v \approx v'$ (v' - скорость пистона относительно пистона шар движется в вертикальной плоскости со скоростью $v_{1y} + v_y$)

ОУ:

$$v_{1y} = v_1 \cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3} v_1; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \sqrt{\frac{5}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$v_y = v; \quad v_{2y} = v_2 \cos \beta = \frac{4}{5} v_2; \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$$

ЗСУ относительно пистона: $m(v_{1y} + v) = m v_{2y} \rightarrow v_{2y} = v_{1y} + v \rightarrow v = v_{2y} - v_{1y} = \frac{4}{5} \cdot 20 - \frac{\sqrt{5}}{3} \cdot 18 = 16 - 6\sqrt{5} = 2(8 - 3\sqrt{5}) \approx 2(8 - 3 \cdot 2,23) \approx 2(8 - 6,69) \approx 2 \cdot 1,31 \approx 2,62 \text{ м/с}$

Ответ: 1) $v_2 = 20 \text{ м/с}$ 2) $v \approx 2,62 \text{ м/с}$

Задача ~ 2

Дано:

$$v_1 = v_2 = v = \frac{3}{5} \text{ м/с}$$

$$T_1 = 320 \text{ К}$$

$$T_2 = 400 \text{ К}$$

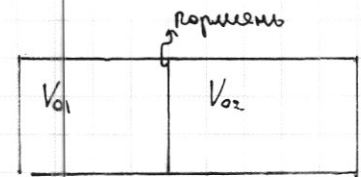
$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Решение:

1) В начале: $P_{01} = P_{02}$
 $v_1 = v_2$
 $R = \text{const}$
 $\rightarrow \frac{v_{01}}{T_1} = \frac{v_{02}}{T_2}$

Так как в начале система находилась в равновесии, то давление газа в обоих концах.

$$\frac{v_{01}}{v_{02}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5} = 0,8$$



1) $\frac{v_{01}}{v_{02}}$ - ? 2) $T_{\text{конеч}}$ - ?

3) $Q_{\text{отг}}$ - ?

2) По условию сосуд термостатирован \rightarrow потери тепла в системе нет. $Q_{\Sigma} = \text{const}$ $Q_{01} + Q_{02} = Q_1 + Q_2$

По окончании процесса температура уравновесилась, а $Q_{\text{отг}} = Q_{\text{нагр}}$, температура $T_{\text{конеч}}$, давление газа будет равно

$$P_1 = P_2 = \nu R T_{\text{конеч}}; \quad \text{т.к. газ идеален, то: } Q_{01} = \frac{3}{2} \nu R T_1, \quad Q_1 = \frac{5}{2} \nu R T_k$$

$$Q_{02} = \frac{3}{2} \nu R T_2, \quad Q_2 = \frac{5}{2} \nu R T_k$$

отсюда следует: $T_1 + T_2 \leq 2T_{конек} \rightarrow T_{конек} \leq \frac{T_1 + T_2}{2} \leq \frac{320 + 400}{2} \leq 360K$

3) В процессе теплообмена газ изменил свои объемы \rightarrow совершил работу. для изохор. газа: $Q \leq \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T + A \leq \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T$, $\Delta T \leq T_2 - T_{конек} \leq 400 - 360 \leq 40K$; $\nu \leq 3$

$Q_{отг} \leq \frac{3+2}{2} \nu R \Delta T \leq \frac{5}{2} \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 40 \leq \frac{5}{2} \cdot 40 \cdot 8,31 \leq 498,6 \text{ Дж}$

Ответ: 1) $\frac{V_{01}}{V_{02}} \leq 0,8$ 2) $T_{конек} \leq 360K$ 3) $Q_{отг} \leq 498,6 \text{ Дж}$

Задача

Дано:
 $f_0 - D - !$
 $t_0 - !$
 $I_1 \leq \frac{7}{16} I_0$
 $f_1 \leq 2f_0$
 $f_2 \leq f_0$
 $D \ll f_0$

Решение:

1) Параллельные лучи падают на f_1 рассеив. линзу (λ_1) и собираются в ее миним. фокусе:

$-\frac{1}{2f_0} = \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{f_1} \rightarrow f_1 \leq 2f_0$

1) $f_2 - ?$ для второй линзы (λ_2): $d_2 \leq f_1 + 2f_0 \leq 4f_0$

2) $\nu - ?$ $\frac{1}{f_0} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} \rightarrow \frac{1}{f_0} = \frac{1}{4f_0} + \frac{1}{f_2} \rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{3}{4f_0} \rightarrow f_2 \leq \frac{4}{3} f_0$

2) Мишень M движется со скоростью v а в опр. момент времени ~~перекрывает~~ перекрывает лучи \rightarrow ток в детекторе будет падать.

$S_{мишени} < S_{\lambda_2}$ ~~поэтому~~ мишень не сможет перекрывать все лучи.

I в M измен.

$N_{сч.} \sim S$

$\Delta I \leq I_0 - I_1 \leq I_0 - \frac{7}{16} I_0 \leq \frac{9}{16} I_0 \rightarrow \Delta S = S_m \leq \left(\frac{9}{16}\right)^2 S_{\lambda_2} \leq S_{\lambda_2} \left(\frac{D}{2}\right)^2$
 С потока лучей в плоскости мишени равна $\frac{9}{16} S_{\lambda_2}$

$S_m = \pi \left(\frac{D'}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{9}{16}\right)^2 \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \rightarrow D' \leq \left(\frac{3}{4}\right)^2 D \leq \frac{9}{16} D$

за время t_0 мишень прошла расстояние, равное своему диаметру D' . в момент t_0 ток мишени \rightarrow

$v t_0 \leq D' \leq \frac{9}{16} D \rightarrow v \leq \frac{9D}{16t_0}$

3) В период от t_0 до t_1 ток не меняется \rightarrow мишень была внутри потока света. \rightarrow В период с t_0 до t_1 мишень прошла расстояние $\frac{3}{4} D$

$v t_1 \leq \frac{3}{4} D$

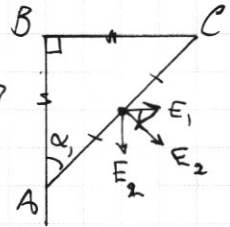
$\frac{9D}{16t_0} t_1 \leq \frac{3}{4} D \rightarrow t_1 \leq \frac{4}{3} t_0$

Ответ: 1) $f_2 \leq \frac{4}{3} f_0$ 2) $v \leq \frac{9D}{16t_0}$ 3) $t_1 \leq \frac{4}{3} t_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача
Дано:
 $BC \perp AB$
 $AK = KC$
 $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$
 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$
 $\alpha_2 = \frac{\pi}{9}$
 $\theta_1 = \theta$
 $\sigma_2 = \frac{2}{7}\sigma$

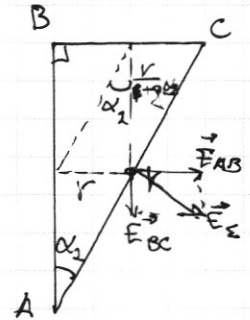
Решение:
1) В начале пластинка BC была заряжена с плотностью заряда σ , и создает напряжённость поля в точке K E_1 ; пластинка AB получает заряд и плотность заряда $\sigma_2 \rightarrow$ создает поле с напр. E_2 , тогда: $E_1 \perp E_2$; $|E_1| = |E_2|$



1) $\frac{E_3}{E_1}$ - ?
2) E_3 - ?

$$E_3 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2} E_1 = \sqrt{2} \cdot E_1; \frac{E_3}{E_1} = \sqrt{2}$$

2) Напряжённость поля, созданного пластиной с плотностью заряда σ равна:
 $E = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0}$ на расстоянии r ; $E \sim \frac{1}{r^2}$



Пластина BC имеет $\sigma_1 = \sigma$; $E_{AB} \perp E_{BC}$
Пластина AB имеет $\sigma_2 = \frac{2}{7}\sigma$
 $r_{AB} = r$
 $r_{BC} = r \cdot \cot \alpha_2$

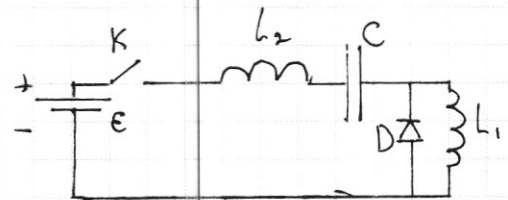
$$E_{\Sigma} = E_{AB} + E_{BC} = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2}$$

$$E_{AB} = \frac{2 \cdot \sigma}{7 \cdot 2\pi\epsilon_0}; E_{BC} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\cot^2 \alpha_2} = \frac{\sigma \cdot \tan^2 \alpha_2}{2\pi\epsilon_0}$$

$$E_{\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{4}{49} + \tan^2 \frac{\pi}{9}\right) \left(\frac{\sigma^2}{2\pi\epsilon_0}\right)} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{4}{49} + \tan^2 \frac{\pi}{9}}$$

Ответ: 1) $\frac{E_3}{E_1} = \sqrt{2}$ (напряжённость увеличилась в $\sqrt{2}$ раз)

$$2) E_{\Sigma} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{4}{49} + \tan^2 \frac{\pi}{9}}$$



Задача
Дано:
 $E = 1$ C -!
 $L = 1$!
 $L_1 = 5L$
 $L_2 = 4L$

Решение:
1) $T = 2\pi\sqrt{L_2 C}$

Воспользуемся 2 случая:

1. ток течёт против диода:

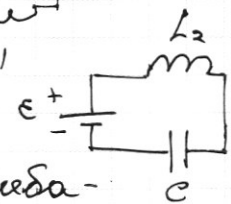
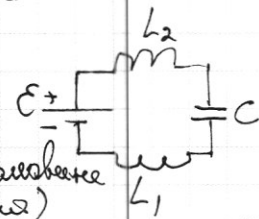
$$L_{\Sigma 1} = 9L = L_1 + L_2$$

$$T_1 = 6\pi\sqrt{LC} \text{ (соответствует поведению колебаний)}$$

2. ток течёт ~~против~~ по напр. диода:

$$L_{\Sigma 2} = 4L$$

$$T_2 = 4\pi\sqrt{LC} \text{ (соответствует поведению колебаний)}$$

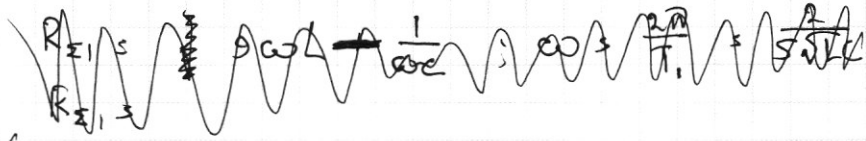


1) T - ?
2) $I_{01 \max}$ - ?
3) $I_{02 \max}$ - ?

Возра: $T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = (3+2)\pi\sqrt{LC} = 5\pi\sqrt{LC}$

2) $I_{0, \max} = I_0 + I_{1, \max}$, где I_0 - ток от ЭДС источника

$I_{1, \max}$ - максимальный ток при колебании системы без учета сопротивления.



$\sqrt{I_0^2 + I_1^2}$ ЭДС: $W_{\text{элм}}$

Ответ: 1) $T = 5\pi\sqrt{LC}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1 $M \rightarrow \infty \quad MV + mV_1 \leq MV + mV_2$

1) $V_2 = V_1 \cdot \frac{m_1 \cos \alpha + M}{m_1 \cos \beta + M}$
 $\Delta V = V - V' \approx 0, \cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{5}$
 $\cos \beta = \frac{4}{5}$
 $18 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{3}{5} / 5 / \frac{10}{9} / 18 \rightarrow 20 \text{ м/с}$

$V_{1y} = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{5} = 2\sqrt{5} \text{ м/с}$

$V_{2y} = \frac{4}{5} \cdot 20 = 16 \text{ м/с}$

$V = V_{2y} - V_{1y} = 16 - 2\sqrt{5} = 2(8 - \sqrt{5}) \text{ м/с} \approx 2 \cdot 2,23 = 4,46 \text{ м/с}$

~2

$P_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1$
 $P_2 = \frac{3}{2} \nu R T_2$

$\frac{5}{4} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$

$\frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{3}{2} \nu R T_2 = \frac{3}{2} \nu R T_c + \frac{3}{2} \nu R T_c$
 $T_1 + T_2 = 2T_c$

$P_{02} = P_{01}; P_1 = P_2$
 $P_{02} V_2 = P_{01} V_1 = \nu R T_c$
 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{5}$

559
245 529
x 23

244 = 484
x 22

3589
12446 49729
2446

223

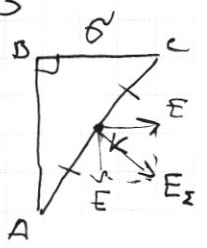
2) $\Delta V_1 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_1 = C_1 \Delta T_1$
 $\Delta V_2 = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_2 = C_2 \Delta T_2$
 $P = \frac{320 + 400}{2} = 360 \text{ K}$

$C_1 = C_2$
 $|\Delta T_1| = |\Delta T_2|$
 $|\frac{3}{2} \nu R \Delta T_1| = |\frac{3}{2} \nu R \Delta T_2|$

$Q_2 = \text{const}$
 $|\Delta Q_1| = |\Delta Q_2|$
 $|\frac{5}{2} \nu R \Delta T_1| = |\frac{5}{2} \nu R \Delta T_2|$

3) $Q = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot 40 = 831 \cdot 40 = 60.840$
 $5480 + 18 + Q_6 = 498,6 \text{ Дж}$

~3



1) $\frac{E}{S} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
 $\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ \Rightarrow \tan \alpha = 1$
 $E_z = \sqrt{2} E$

2) $\sigma_{BC} = \sigma; \sigma_{AB} = \frac{1}{2} \sigma$
 $\frac{E_z}{S} = \sqrt{\frac{4}{49} \left(\frac{\sigma^2}{16\pi^2 \epsilon_0^2 r^4} \right) + \frac{4\pi}{9} \frac{\sigma^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}}$

$$= \sqrt{\frac{4}{49} + \frac{1}{9} \frac{\eta}{5}} \frac{\omega}{4\pi\epsilon_0 r^2} ?$$

24 $r = 0$

$$R_{\Sigma} = R + \frac{1}{\omega C} + \omega L + \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C} + \omega L + \frac{1}{\omega C}$$

$$I = \frac{E}{R_{\Sigma}} = \frac{E}{\frac{1}{\omega C} + \omega L + \frac{1}{\omega C}}$$

$$T = \frac{1}{\omega C} + \frac{1}{\omega C} = \frac{2}{\omega C} = 5 \pi \omega L C$$

2) $I_{\text{dl max}} = I_E + I_{\text{кажд max}} = I_E + I_{\text{кажд max}}$

$$E = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0}$$

$$W_{\text{эл max}} = \frac{\omega L I_0^2}{2} + \frac{C E^2}{2} = \frac{C U_m^2}{2} = \frac{\omega L I_{\text{ам}}^2}{2}$$

25 $D \ll \epsilon_0 F_0$

1) $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{F} \rightarrow f = \frac{4}{3} F_0$

2) D' - грани. элемент

$$D' = \frac{2}{3} D$$

$$\delta t_0 = D' \rightarrow \delta = \frac{D'}{t_0} = \frac{3}{4} \frac{D}{t_0}$$

3)

$$t_1 = \frac{4}{3} t_0$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

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
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

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)