



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

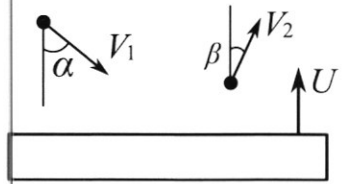
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 8$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{3}{4}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{2}$ ) с вертикалью.

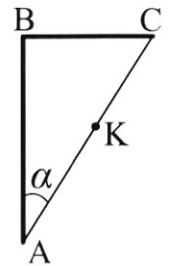


1) Найти скорость  $V_2$ .  
 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.  
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве  $\nu = 3/7$  моль. Начальная температура азота  $T_1 = 300$  К, а кислорода  $T_2 = 500$  К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме  $C_V = 5R/2$ .  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).

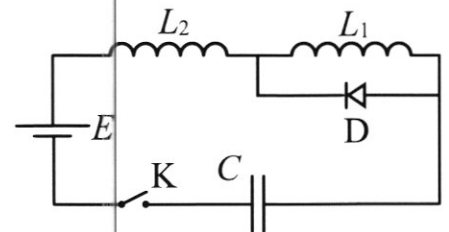
1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.  
 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.  
 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



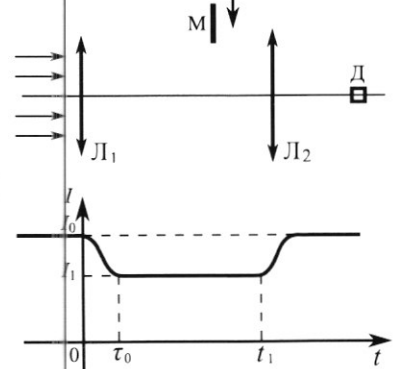
1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?  
 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 2\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/7$ . 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  $L_1 = 2L$ ,  $L_2 = L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_1$ .



1) Найти период  $T$  этих колебаний.  
 2) Найти максимальный ток  $I_{M1}$ , текущий через катушку  $L_1$ .  
 3) Найти максимальный ток  $I_{M2}$ , текущий через катушку  $L_2$ .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз  $L_1$  и  $L_2$  (см. рис.) с фокусным расстоянием  $F_0$  у каждой. Расстояние между линзами  $3F_0$ . 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 Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии  $2F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 3I_0/4$ .



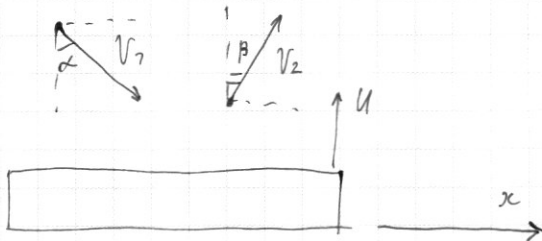
1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.  
 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1.

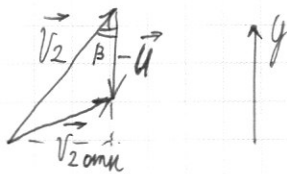


1) По горизонтали силы на шарик не действуют  $\Rightarrow$  верен ЗСН по оси  $x$ .  
 $m V_1 \sin \alpha = m V_2 \sin \beta$  ( $m$  - масса шарика)  
 $V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot \frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = 12 \left( \frac{м}{с} \right)$

2) После удара о плиту шарик должен от неё удаляться.

Массивная плита при ударе ~~не~~ почти не меняет скорость, её скорость после удара можно считать равной  $u$ .

$V_{2 \text{ отн}}$  - скорость шарика отн-ко плите после удара



Треугольн  $V_{2 \text{ отн}}$  на вертикал. ось  $y$  должна быть неотриц.

$$\vec{V}_{2 \text{ отн}} = \vec{V}_2 - \vec{u}$$

$$V_{2 \text{ отн}y} = V_2 \cos \beta - u \geq 0 ; u \leq V_2 \cos \beta =$$

$$= 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3} \left( \frac{м}{с} \right)$$

Ответ: 1)  $12 \frac{м}{с}$  ; 2) ~~не больше~~  $u \leq 6\sqrt{3} \frac{м}{с}$ .

№ 2.

Пусть  $p_0$  - давление,  $V_{01}$  и  $V_{02}$  - объёмы азота и кислорода в нач. момент времени,  $p$  - давление,  $V_1$  и  $V_2$  - объёмы,  $T$  - температура азота и кислорода, когда температура газов станут одинаковыми.

$$1) p_0 V_{01} = \nu R T_1, p_0 V_{02} = \nu R T_2 \Rightarrow \frac{V_{01}}{V_{02}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{300}{500} = \frac{3}{5}$$

2) П.к. поршень движется без ускорения, то силы давления на поршень, азота и кислорода и газов в любой момент времени равны и



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

противоположны по направлению. Тогда сумма работ газов равна 0.

Из первого закона термодинамики следует, что сумма внутренних энергий газов не изменилась.

$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R T \cdot 2; \quad T_1 + T_2 = 2T; \quad T = \frac{T_1 + T_2}{2} =$$

$$= \frac{300 + 500}{2} = 400 \text{ (K)}$$

3) Пусть азот получит кол-во теплоты  $Q$ .

~~$Q = A_{N_2} + \Delta U_{N_2}$  ( $A_{N_2}$  и  $\Delta U_{N_2}$  - работа и изм. энергии азота во всё время процесса)~~

Рассмотрим газы в произвольный момент движения поршня.

~~Пусть  $p_i$  - их давл.,  $V_{N_2}$  - объём азота~~

Пусть  $p_i$  - их давл.,  $V_{N_2}$  и  $V_{O_2}$  - объёмы,  $T_{N_2}$  и  $T_{O_2}$  - температуры в этот момент.

Аналогично пункту 2 можно показать, что  $T_{N_2} + T_{O_2} = T_1 + T_2 = \text{const}$

~~$V_{N_2} = V_{N_2} + V_{O_2} = \text{const}$  (это объём сосуда)~~

~~$p_i V_{N_2} = \nu R T_{N_2}, \quad p_i V_{O_2} = \nu R T_{O_2}; \quad p_i (V_{N_2} + V_{O_2}) = \nu R (T_{N_2} + T_{O_2});$~~

~~отсюда следует, что давление газов постоянно и равно  $p_0$ .~~

~~$p V_1 = \nu R T_1, \quad p V_2 = \nu R T \Rightarrow V_1 = V_2 = \frac{V_{O_2} + V_{O_2}}{2} = \frac{V_{O_1} + \frac{T_2}{T_1} V_{O_1}}{2} =$~~

$$= \frac{V_{O_1} \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right)}{2}$$

~~$A_{N_2} = p_0 (V_1 - V_{O_1}) = \frac{\nu R T_1}{V_{O_1}} \cdot \left( \frac{V_{O_1} \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right)}{2} - V_{O_1} \right) = \nu R$~~

~~$= \nu R T_1 \left( \frac{1 + \frac{T_2}{T_1}}{2} - 1 \right) = \nu R T_1 \cdot \frac{\frac{T_2}{T_1} - 1}{2} = \frac{\nu R (T_2 - T_1)}{2}$~~

~~$\Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{5}{2} \nu R \cdot \frac{T_2 - T_1}{2}$~~

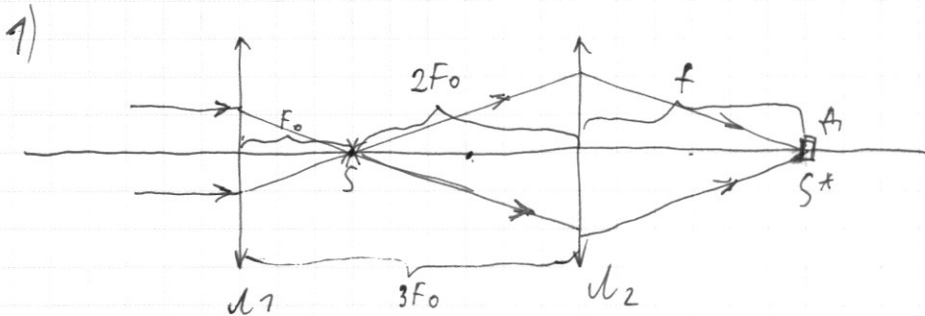
$$C_p = C_v + R = \frac{5R}{2} + R = \frac{7R}{2}$$

$$Q = C_p \nu (T - T_1) = \frac{7}{2} \nu R \cdot \frac{T_2 - T_1}{2} = \frac{7}{4} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{7}{4} \cdot \frac{3}{7} \cdot 8,37 \cdot$$

$$\cdot (500 - 300) = \frac{3}{4} \cdot 8,37 \cdot 200 = 1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ: 1)  $\frac{3}{5}$ ; 2) 400 K; 3) 1246,5 Дж.

✓ 5.

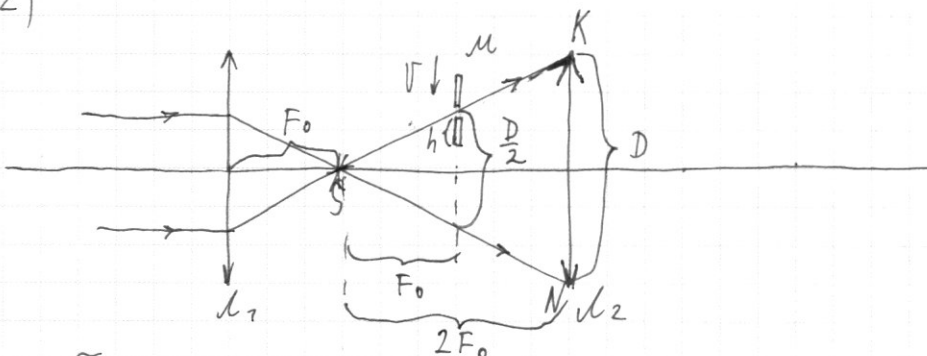


Пучок света проходит через фокус  $L_1$ . Можно считать, что в фокусе линзы  $L_1$  находится <sup>точечный</sup> ист. света  $S$ . Его изображение  $S^*$  находится на фотодетекторе.

Пусть расст. между  $L_2$  и ~~фокусом~~  $A$  равно  $f$ , тогда

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f}; \quad \text{или} \quad f = 2F_0$$

2)



$T_0$  — это время, за которое мишень пересекла прямую  $SK$ .

Когда на всю мишень падает свет, то на линзу  $L_2$  падает только  $\frac{3}{4}$  лучей по сравнению с ~~мгн~~ моментом  $t=0$  (расстояние от  $L_1$  до  $S$  равно расстоянию от  $M$  до  $SV$ , поэтому интенсивность света света в сетки плоскости мишени одинакова).

Пусть  $h$  — диаметр мишени.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Отношение площади мишени  $M$  и сечения пучка перпендикулярно мишени относятся как  $\frac{1}{4}$ .

$$\frac{h^2}{\left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{1}{4}; \quad h^2 = \frac{D^2}{16}; \quad h = \frac{D}{4}$$

$$V = \frac{h}{c_0} = \frac{D}{4c_0}$$

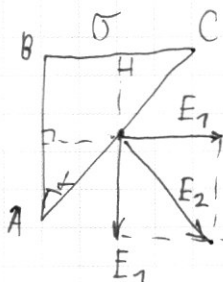
3)  $\Delta A$  ~~через~~ время  $t_1$  за время  $t_1$  мишень достигла прямой  $SN$ .

$$t_1 = \frac{\frac{D}{2}}{V} = \frac{D}{2} \cdot \frac{4c_0}{D} = 2c_0$$

Ответ: 1)  $2F_0$ ; 2)  $V = \frac{D}{4c_0}$ ; 3)  $t_1 = 2c_0$ .

✓ 3.

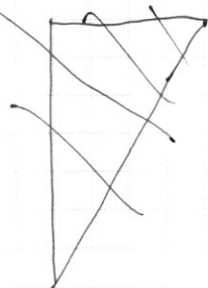
1)



$$AB = BC$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}$$

2)







черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

$$p_i V_{N_2} = \nu R T_{N_2}$$

$$p_i V_{N_2} = \nu R T_{N_2}$$

$$p_i V_{O_2} = \nu R T_{O_2} = p_i (V_0 - V_{N_2}) = \nu R T_{O_2}$$

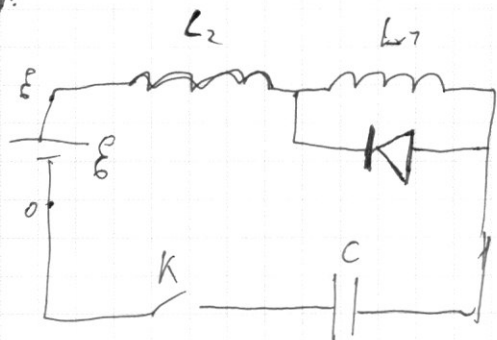
$$T_{N_2} + T_{O_2} = T_1 + T_2; \quad T_{O_2} = T_1 + T_2 - T_{N_2}$$

$$p_i (V_0 - V_{N_2}) = \nu R (T_1 + T_2 - T_{N_2})$$

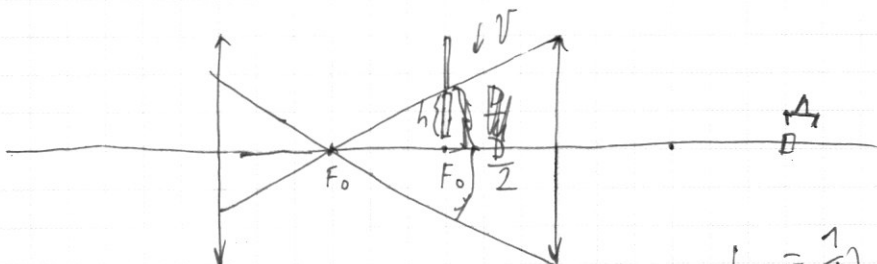
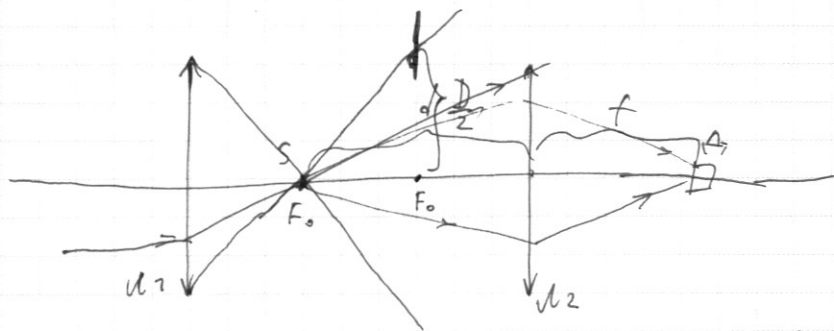
$$3 \cdot 837 \cdot \frac{1}{2} =$$

$$\begin{array}{r} \times 837 \\ 3 \\ \hline 2493 \\ 2 \overline{) 2493} \\ \underline{4} \\ 4 \\ \hline 98 \\ 78 \\ \hline 20 \\ 70 \\ \hline 0 \end{array}$$

у 4.



у 5.



$$t_1 - t_0 = \frac{\frac{D}{2} - h}{v} = \frac{D}{4v} = t_0$$

$$t_1 = 2t_0$$

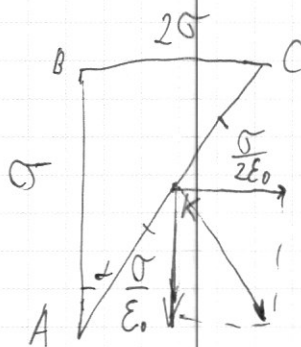
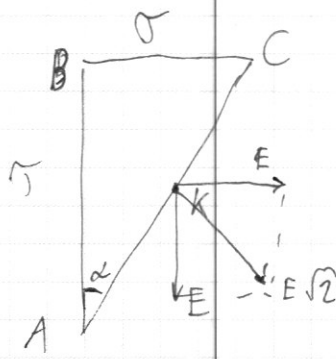
$$\frac{h}{\frac{D}{2}} = \frac{1}{4} \Rightarrow h = \frac{D}{8}$$

$$h = \frac{1}{4} \cdot \frac{D}{2} = \frac{D}{8}$$

$$v = \frac{D}{8t_0}$$

$$t_1 = \frac{\frac{D}{2} - \frac{D}{8}}{\frac{D}{8t_0}} = \frac{\frac{3D}{8}}{\frac{D}{8t_0}} = 3t_0$$

$$t_1 - t_0 = \frac{3D}{4v} = \frac{3}{4} \cdot 4t_0 = 3t_0$$



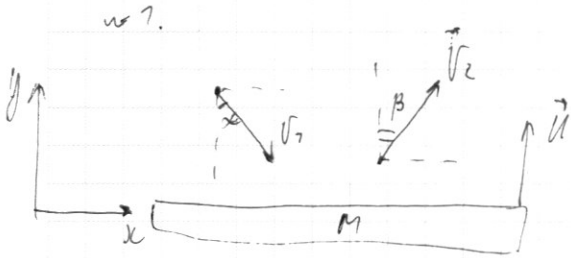
$$E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = x$$

$$E_{BC} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = 2x$$

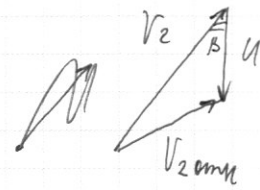
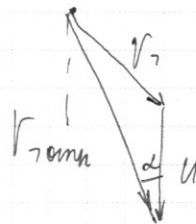
$$\sqrt{x^2 + 4x^2} = x\sqrt{5} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{5}$$

$$d = 2F_0 \Rightarrow f = 2F_0$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



к:  $V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$ ;  $V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot \frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{8 \cdot 3 \cdot 2}{4} = 12 \text{ (н)}$   
 из условия равновесия: ~~рис~~



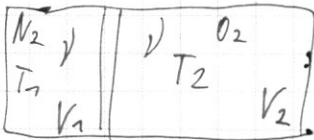
$V_2 \cos \beta \geq U$

рис. 2.

$Q = A + \Delta U$

$A = \sum p \Delta V$

~~$\frac{pR}{2} = \frac{pR}{2}$~~



1)  $p_0 V_{01} = \nu R T_1$

$p_0 V_{02} = \nu R T_2$

$\frac{V_{01}}{V_{02}} = \frac{T_1}{T_2}$

$p_0 (V_{01} + V_{02}) = \nu R (T_1 + T_2)$

$\frac{p_0 V_{01}}{T_1} = \frac{pV}{T}$

2)  ~~$p_0 V = \nu R T$~~

~~$p V_1 = \nu R T$      $p V_2 = \nu R T$~~

$V_1 = V_2 = V$ ;  $V_{01} + V_{02} = 2V$

$pV = \nu R T$ ;  $p \frac{V_{01} + V_{02}}{2} = \nu R T$

$V_{02} = \frac{T_2}{T_1} V_{01}$

$V_{01} + \frac{T_2}{T_1} V_{01} = 2V$ ;  $V_{01} (1 + \frac{T_2}{T_1}) = 2V$

$V = \frac{2}{1 + \frac{T_2}{T_1}} V_{01}$

p

$p_0 V_{01} = \nu R T_1$

$p_0 V_{02} = \nu R T_2$

$pV = \nu R T$

$V_{01} + V_{02} = 2V$

T?

$T = \frac{pV}{\nu R}$

$T = \frac{pV T_1}{p_0 V_{01}}$

$T = \frac{p T_1 \cdot \frac{1}{2} V_{01} (1 + \frac{T_2}{T_1})}{p_0 V_{01}}$

$Q = 0$

$\Delta U = 0$

$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{1}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R T \cdot 2$

$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$

$Q = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1)$



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)