



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

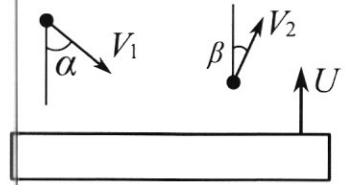
Класс 11

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.

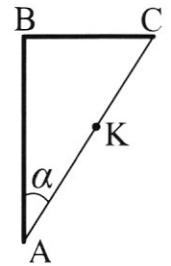


1) Найти скорость  $V_2$ .  
 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.  
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

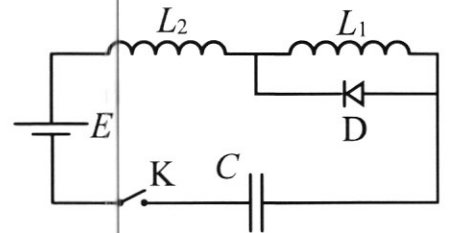
1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.  
 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.  
 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



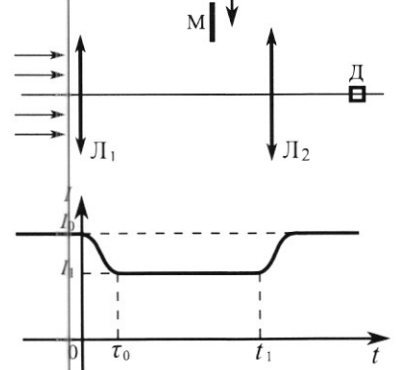
1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?  
 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

$V_1 = 8 \text{ м/с}$   
 $\sin \alpha = \frac{3}{4}$   
 $\sin \beta = \frac{1}{2}$   
 $V_2 = ?$   
 $u = ?$

CO нммом:  $\sin \alpha = \frac{3}{4} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{7}}{4}$ ;  $\sin \beta = \frac{1}{2} \Rightarrow \cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

Шарик отскакивает от нммом  $\Rightarrow$  В СО нммом:  $\Delta p_{\text{нммом}} = 0$

$$\begin{cases} V_2 \cos \beta - u = V_1 \cos \alpha + u \\ V_2 \sin \beta = V_1 \sin \alpha \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_2 = \frac{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha}{\sin \beta} V_1 = 12 \text{ м/с} \\ u = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha}{2} V_1 = 3\sqrt{7} - 17 \text{ м/с} \approx 2,57 \text{ м/с} \end{cases}$$

Ответ:  $V_2 = 12 \text{ м/с}$ ;  $u = 2,57 \text{ м/с}$ .

②

$v = \frac{2}{7} \text{ м/с}$   
 $T_1 = 300 \text{ K}$   
 $T_2 = 500 \text{ K}$   
 $C_V = \frac{5}{2} R$   
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$   
 $\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = ?$   
 $T = ?$   
 $Q = ?$

1)  $V_1, T_1, P$  |  $V_2, T_2, P$   
 $N_2$  |  $O_2$

2)  $V_1, T, P'$  |  $V_2, T, P'$   
 $N_2$  |  $O_2$

УСЛТ:  $\begin{cases} P V_{N_2} = \nu R T_1 \\ P V_{O_2} = \nu R T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = \frac{T_1}{T_2} = 0,6$

$\begin{cases} P' V_1 = \nu R T \\ P' V_2 = \nu R T \end{cases} \Rightarrow V_1 = V_2 = V$

3)  $U_1 = U_2 \Rightarrow \frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = 2 \cdot \frac{5}{2} \nu R T \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$

Получа  $\frac{2 \nu R T}{P'} = 2V = V_{N_2} + V_{O_2} = \frac{\nu R T_1}{P} + \frac{\nu R T_2}{P} \Rightarrow P' = P = \text{const}$ , т.е. процесс изобарный.

изобарн  $\Rightarrow Q = C_p \nu (T - T_1) = (C_V + R) \nu (T - T_1) = \frac{7}{2} \nu R \frac{T_2 - T_1}{2} = 12,45 \text{ Дж}$

Ответ:  $\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = 0,6$ ;  $T = 400 \text{ K}$ ;  $Q = 12,45 \text{ Дж}$ .

③

1)  $d = \frac{\pi}{4}$   
 2)  $\sigma, d = \frac{\pi}{2}$   
 $\frac{E'}{E_0} = ?$   
 $E = ?$

по м.м. Лапласа:  $\frac{4\pi}{\Omega} E S = \frac{\sigma S}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{4\pi \epsilon_0}$ , где  $\Omega$  - телесный угол,

под которым из K видна S. Получа:

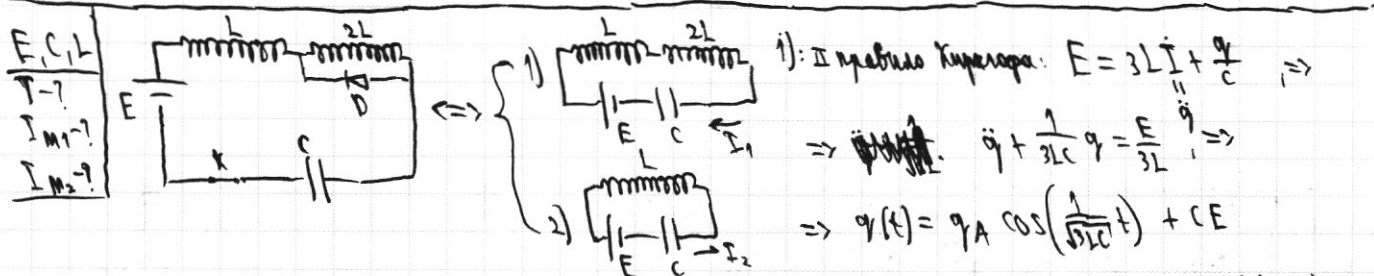
1)  $E_0 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{8\epsilon_0}$ . После зарядки AB она также создаст поле напряженностью  $E_0 \Rightarrow E' = \sqrt{2} E_0 \Rightarrow \frac{E'}{E_0} = \sqrt{2}$ .

2)  $E_{AB} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$   
 $E_{BC} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$$\Rightarrow E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{\sqrt{2} \sigma}{2\epsilon_0}$$

Одним:  $\frac{E'}{E_0} = \sqrt{2}$ ;  $E = \frac{1970}{28E_0}$

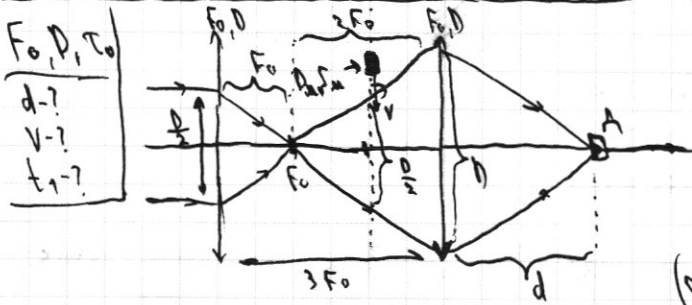
4)



1) II правило Кирхгофа:  $E = 3LI + \frac{q}{C} \Rightarrow \ddot{q} + \frac{1}{3LC} q = \frac{E}{3L} \Rightarrow q(t) = q_A \cos\left(\frac{1}{\sqrt{3LC}} t\right) + CE$   
 $q(0) = 0 = q_A + CE \Rightarrow q_A = -CE \Rightarrow q(t) = CE\left(1 - \cos\left(\frac{1}{\sqrt{3LC}} t\right)\right) \Rightarrow I_1(t) = \dot{q}(t) = \sqrt{\frac{C}{3L}} E \cdot \sin\left(\frac{1}{\sqrt{3LC}} t\right)$   
 $T_1 = \frac{2\pi}{\frac{1}{\sqrt{3LC}}} = 2\pi\sqrt{3LC}$ . Аналогично для 2):  $I_2(t) = \sqrt{\frac{C}{L}} E \cdot \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)$ ,  $T_2 = 2\pi\sqrt{LC}$ .

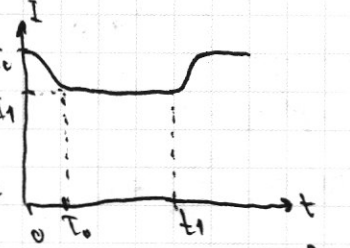
$\frac{T_1}{2}$  макс ток через 3LC,  $\frac{T_2}{2}$  макс ток через LC  $\Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{(1 + \sqrt{3})\pi\sqrt{LC}}{2}$   
 Для 1)  $I_{L1, \max} = I_{L2, \max} = \sqrt{\frac{C}{3L}} E$ ; для 2)  $I_{L1} = 0$ ,  $I_{L2, \max} = \sqrt{\frac{C}{L}} E \Rightarrow \begin{cases} I_{M1} = \sqrt{\frac{C}{3L}} E \\ I_{M2} = \sqrt{\frac{C}{L}} E \end{cases}$   
 Одним:  $T = \frac{(1 + \sqrt{3})\pi\sqrt{LC}}{2}$ ;  $I_{M1} = \sqrt{\frac{C}{3L}} E$ ;  $I_{M2} = \sqrt{\frac{C}{L}} E$ .

5)



лучи, параллельные оптической оси, сойдутся в фокусе,  $\Rightarrow$  нас интересует только лучи лучей quadranta  $\frac{D}{2}$  (остальные лучи не проходят через вторую точку).

По формуле тонкой линзы:  $\frac{1}{f_0} = \frac{1}{2f_0} + \frac{1}{d} \Rightarrow d = 2f_0$ .  
 Градуируем график  $I(t)$ . За время  $t_0$   $I(t) \downarrow$ ; посылка  $I_1$  к  $I \sim P \sim S$ , но за это время линза пересекла крайний луч интересующего нас луча. Далее в течение времени  $t_1 - t_0$   $I(t) = \text{const} = I_1 = \frac{3}{4} I_0$ .  
 В течение этого времени линза полностью находится в нашей точке.



$I \sim P \sim S \Rightarrow \frac{3}{4} I_0 = \frac{S - S_{\text{л}}}{S} = \frac{\frac{\pi(D')^2}{4} - \frac{\pi D_{\text{л}}^2}{4}}{\frac{\pi(D)^2}{4}} = \frac{D^2 - 4D_{\text{л}}^2}{D^2} = \frac{3}{4} \Rightarrow D_{\text{л}} = \frac{D}{4}$ . При  $t > t_1$   $I(t)$  возвращается к значению  $I_0$ , т.е. линза выходит из точки  $\Rightarrow \frac{D}{2} - D_{\text{л}} = V(t_1 - t_0)$   
~~и~~  $D_{\text{л}} = V t_0 \Rightarrow V = \frac{D}{4t_0}$ ,  $t_1 = t_0 + \frac{D}{4V} = 2t_0$

Одним:  $d = 2f_0$ ;  $V = \frac{D}{4t_0}$ ;  $t_1 = 2t_0$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①  $V_1 = 9 \text{ мкс}$   
 $\sin \alpha = \frac{3}{4}$   $\cos \alpha = \frac{4}{5}$   
 $\sin \beta = \frac{3}{5}$   $\cos \beta = \frac{4}{5}$   
 $V_2 = ?$   
 $U = ?$

$V_2 \cos \beta = V_1 \cos \alpha + 24$   
 $V_2 \sin \beta = V_1 \sin \alpha \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \text{ мкс}$

$U = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{12 \cdot \frac{4}{5} - 9 \cdot \frac{4}{5}}{2} = \frac{12 \cdot 4 - 9 \cdot 4}{10} = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ мкс}$

$5,22 \times 1,74 = 9,0828$   
 $- 2,85 = 6,2328$   
 $= 2,57$

②  $V = \frac{2}{7} \text{ мкс}$   
 $T_1 = 300 \text{ K}$   
 $T_2 = 500 \text{ K}$   
 $C_1 = \frac{3R}{2}$   
 $V_{N_2} = ?$   
 $V_{O_2} = ?$   
 $T = ?$   
 $Q = ?$

$V, T_1$	$V, T_2$
$N_2$	$O_2$

$P V_{N_2} = \nu R T_1$   
 $P V_{O_2} = \nu R T_2$   
 $P' V_1 = \nu R T$   
 $P' V_2 = \nu R T$   
 $\Rightarrow V_1 = V_2 = V$

$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,31 \cdot 100 = 1,5 \cdot 8,31 \cdot 100 = 12,45 \text{ Дж}$

③  $E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ,  $E = \sqrt{2} \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \Rightarrow \frac{E}{E_0} = \sqrt{2}$

$E = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\sigma}{\epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{1+2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$\ddot{x} + \omega^2 x = 0, \gamma = \gamma_0 \cos \epsilon t$

$q(t) = q_0 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right) = \text{сф.} = \text{сф.} \left(1 - \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)\right)$

$I(t) = \frac{3LC E}{\sqrt{LC}} = 3E \sqrt{LC}$

$I_{11} = I_{12} = I_{22} = 0$

$I_{11} = \sqrt{\frac{C}{3L}} E$ ,  $I_{22} = \sqrt{\frac{C}{L}} E = I_{12}$

④

$E = 3LI + \frac{q}{C} \Rightarrow \ddot{q} + \frac{1}{3LC} q = \frac{E}{3L}$

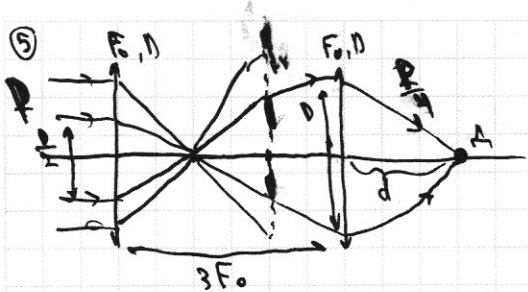
$T = 2\pi \sqrt{3LC}$

$I(t) = \sqrt{\frac{C}{3L}} E \sin\left(\frac{1}{\sqrt{3LC}} t\right)$

$I_{11} = I_{12} = I_{22} = 0$

$I_{11} = \sqrt{\frac{C}{3L}} E$ ,  $I_{22} = \sqrt{\frac{C}{L}} E = I_{12}$





$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{d} \Rightarrow d = 2F_0$$

$$P \sim I$$

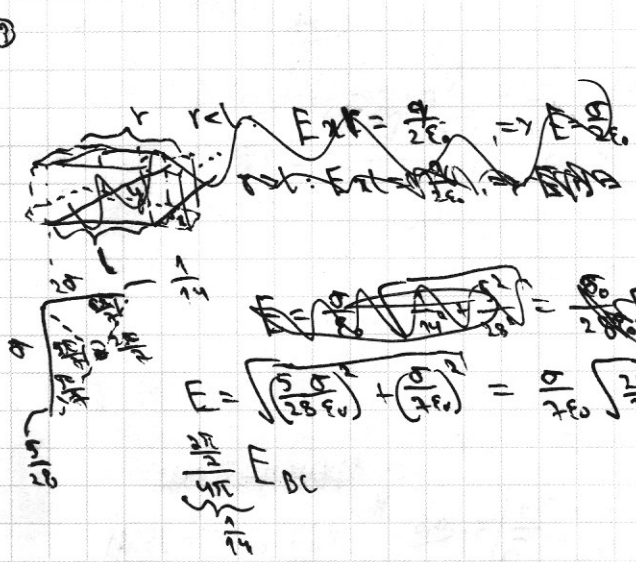
$$\frac{P}{P_0} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} S_n}{\frac{\pi D_0^2}{4} S_n} = \frac{I_0}{I} \Rightarrow \frac{3}{4} \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{D_0^2}{4} - 4S_n$$

$$\pi r_n^2 = S_n = \frac{\pi D_0^2}{4} \Rightarrow r_n = \frac{D_0}{2}$$

$$\Delta t_1 = \frac{D - D_n}{v} = \frac{D}{4v} = \frac{D_0}{4v} \Rightarrow t_1 = \frac{D_0}{4v}$$

$$v_0 = \frac{D_n}{v} \quad v = \frac{D}{4v_0}$$

②



$$E_{ac} = E_{ad} = \frac{9}{8F_0}$$

$$E = \frac{9}{2F_0} \cdot \sqrt{2} = \frac{9\sqrt{2}}{2F_0}$$

$$\Delta = 2R = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$E = \frac{9}{2F_0}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{9}{28F_0}\right)^2 + \left(\frac{9}{2F_0}\right)^2} = \frac{9}{2F_0} \sqrt{\frac{25}{28} + 1} = \frac{9\sqrt{53}}{28F_0}$$



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)»

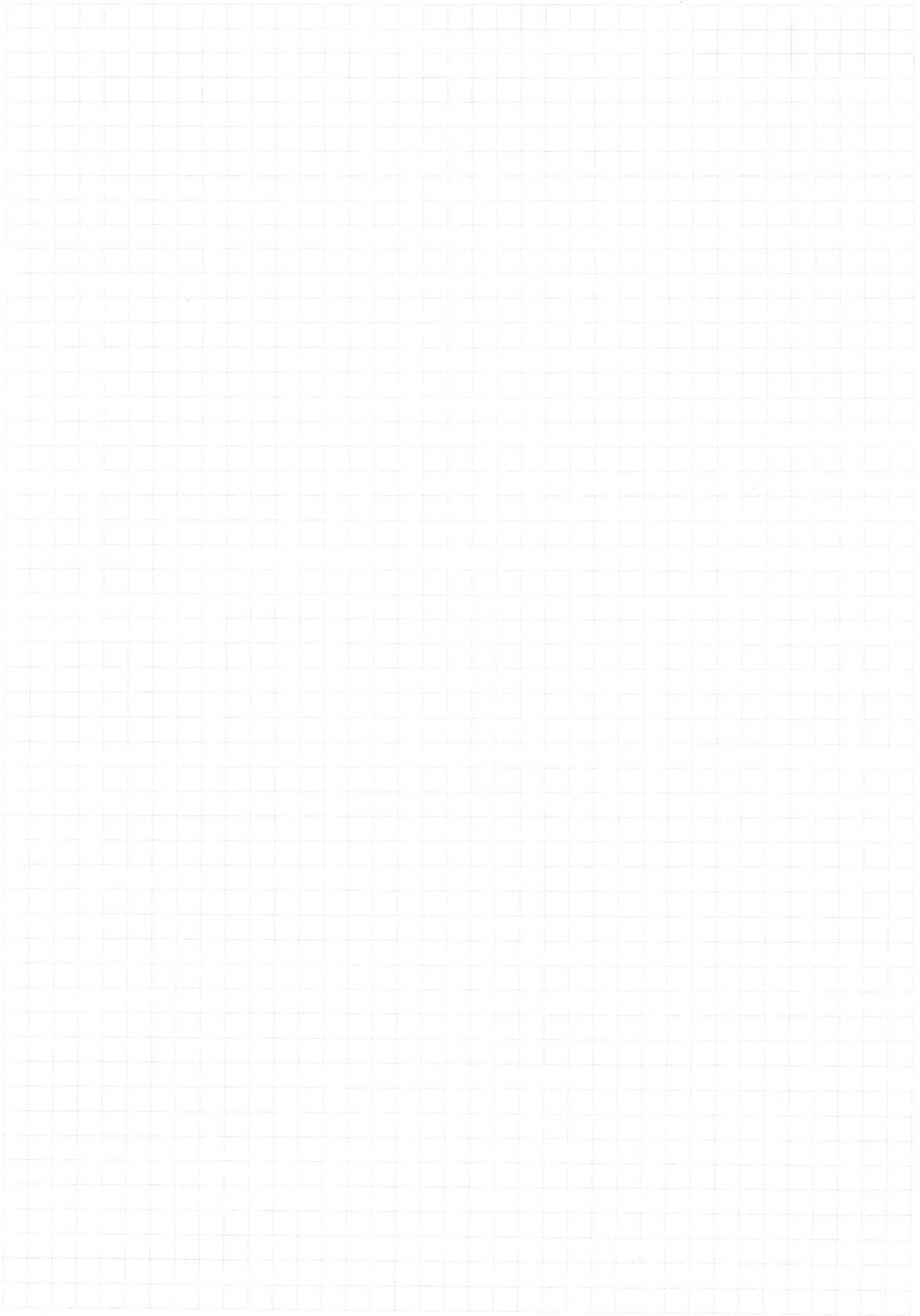
ШИФР

(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)



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)