

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

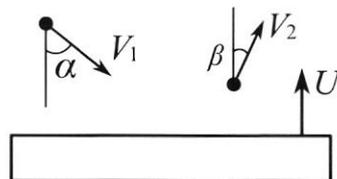
Класс 11

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  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{2}{3}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{3}{5}$ ) с вертикалью.

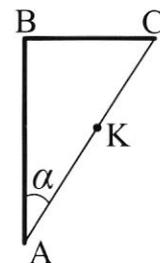


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

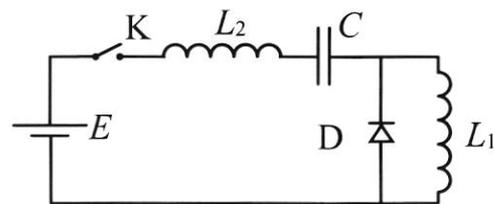
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



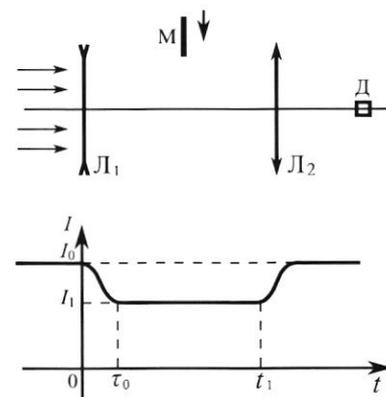
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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  $F_0, D, \tau_0$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1

Разложим  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  на верт. и гориз. составляющие как

$$\vec{V}_1 = (u_{1x}; u_{1y}); \vec{V}_2 = (u_{2x}; u_{2y})$$

П.к. пов-ть гладкая и шершавая нет, то  $u_{1x} = u_{2x}$

$$\sin \alpha V_1 = u_{1x} = u_{2x} = \sin \beta V_2 \Leftrightarrow V_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} V_1 = \frac{10}{9} V_1 = 20 \text{ м/с}; \text{ Ответ: } 20 \text{ м/с}$$

Пусть  $k \in [0; 1)$  - соотношение энергий после и до удара шарика о планку;  $m$  - масса шарика

$$k \frac{m(u_{1y} + u)^2}{2} = \frac{m(u_{2y} - u)^2}{2}$$

$$k(u_{1y} + u)^2 = (u_{2y} - u)^2 \Leftrightarrow k \cos^2 \alpha V_1^2 + 2k \cos \alpha V_1 u + k u^2 = \cos^2 \beta V_2^2 - 2 \cos \beta V_2 u + u^2$$

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha = \frac{5}{9}; \cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}; \cos^2 \beta = \frac{16}{25}; \cos \beta = \frac{4}{5}$$

$$(1-k)u^2 + 2(k \cos \alpha V_1 + \cos \beta V_2)u + \cos^2 \beta V_2^2 - k \cos^2 \alpha V_1^2 = 0$$

$$k=0 \Rightarrow u = \cos \beta V_2 = 16 \text{ м/с}$$

$$k=1 \Rightarrow u = \frac{\cos^2 \beta V_2^2 - \cos^2 \alpha V_1^2}{2(\cos \alpha V_1 + \cos \beta V_2)} = \frac{\cos \beta V_2 - \cos \alpha V_1}{2} = \frac{16 \text{ м/с} - 6\sqrt{5} \text{ м/с}}{2} = (8 - 3\sqrt{5}) \text{ м/с}$$

$$u \in (8 - 3\sqrt{5} \text{ м/с}; 16 \text{ м/с}]$$

Ответ: от  $8 - 3\sqrt{5} \text{ м/с}$  до  $16 \text{ м/с}$

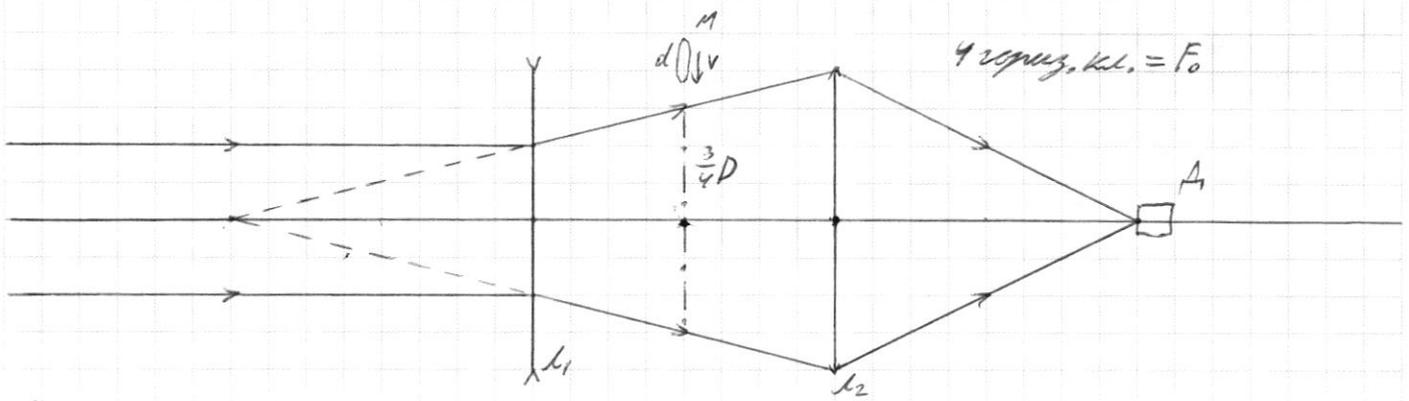
Задача 5

Посчитаем опт. силу системы  $L_1; L_2$   $P_{12} = P_{L_1} + P_{L_2} = \frac{1}{-2F_0} + \frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0}$   
т.е. выход системы мин. равен сумме одной

собирающей и одной на месте  $L_2$  с фок. р.  $2F_0$

↓  
Ответ на п. 1:  $2F_0$

(продолжение на след. стр.)



№ 1. Интенсивность проп. площади сс. пучка, которая проп. квадратному экрану, но верно отношение

$$\frac{7}{16} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{\left(\frac{3}{4}D\right)^2 - d^2}{\left(\frac{3}{4}D\right)^2} \text{ где } d - \text{диаметр микротел } M$$

$$d = \sqrt{\frac{16-7}{16} \cdot \left(\frac{3}{4}D\right)^2} = \frac{9}{16}D$$

$$f_0 = \frac{d}{\sigma} \Rightarrow v = \frac{d}{\sigma_0} = \frac{9D}{16\sigma_0}$$

$$t_1 = \frac{\frac{3}{4}D}{v} = \frac{3D}{4v} = \frac{4}{3}f_0$$

$$\text{Ответ: } v = \frac{9D}{16\sigma_0}; t_1 = \frac{4}{3}f_0$$

Задача 2

№ 1. К. поршень движ. без трения, то  $P = P_1 = P_2$  где

$P_1; P_2$  - давления по разные стороны от поршня

↓ по ур-ю ид. газа

$$P = \frac{\nu RT_1}{V_1} = \frac{\nu RT_2}{V_2} \text{ где } V_1; V_2 - \text{объемы аргона и криптона в начале эксперимента}$$

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} \Leftrightarrow V_1 = \frac{T_1}{T_2} V_2 \Leftrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5}$$

$$\text{Ответ 1: } \frac{4}{5}$$

Если  $T_3$  - ответ на н. 2, то по зак. сохр. эн.

$$\nu RT_1 + \nu RT_2 = 2\nu RT_3 \Leftrightarrow T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 360 \text{ К} \quad \text{Ответ: } 360 \text{ К}$$

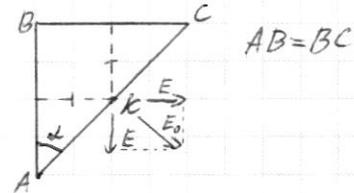
$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) = \frac{9 \cdot 40 \cdot 8,31}{10} = 299,16 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } 299,16 \text{ Дж}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

### Задача 3.1

Заметим, что если напряж. эл. поле в т. К от ВС  
равна  $\vec{E}$  и  $\sin \alpha = \cos \alpha$ ;  $\sigma_{BC} = \sigma_{AB}$ , то пластина АВ добавит  
к результирующему вектору  $\vec{E}_0$  перп.  $\vec{E}$  составляющую  
по модулю равную  $E$

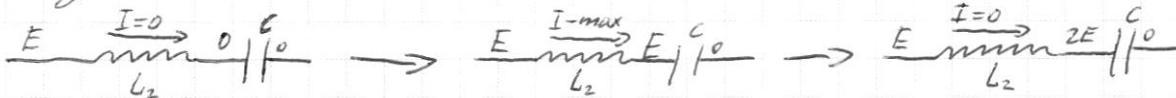


по т. Пиф.  $|\vec{E}_0| = \sqrt{|\vec{E}|^2 + |\vec{E}|^2} = \sqrt{2} |\vec{E}|$

Ответ:  $\sqrt{2}$

### Задача 4

Заметим, что из-за симметрии. Разр. потенциалов  
на участке  $EKL_2C$  макс. напр. на C  $U_m = 2E$



Заметим так же, что в 1-й фазе колебаний узел  
представима в виде  $L_2$  и находится в  $2E$  и  $C$  и находится в  $2E$  в  $C$

течение  $T_1 = \frac{2\pi\sqrt{L_2C}}{2} = \pi\sqrt{L_2C}$

Аналогично, во 2-й фазе  $L_1$  и  $L_2$  и  $C$  и  $T_2 = \frac{2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}}{2} = \pi\sqrt{(L_1+L_2)C}$

$T = T_1 + T_2 = \pi\sqrt{C}(\sqrt{L_2} + \sqrt{L_1+L_2})$ ; Ответ:  $\pi\sqrt{C}(\sqrt{L_2} + \sqrt{L_1+L_2})$

Заметим, что  $I_{02}$  дост. в 1-й фазе  $\Rightarrow$  по зак. сохр. э.н.

$W = \frac{C(U_m - E)^2}{2} = \frac{1}{2}CE^2 = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} \Rightarrow I_{02} = E\sqrt{\frac{C}{L_2}}$ ; Ответ:  $I_{02} = E\sqrt{\frac{C}{L_2}}$

Аналогично  $I_{01}$  дост. во 2-й фазе каб.

$W = \frac{1}{2}CE^2 = \frac{(L_1+L_2)I_{01}^2}{2} \Leftrightarrow I_{01} = E\sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}}$ ; Ответ:  $I_{01} = E\sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}}$

Задача 3.2

Разложить результир. напр.  $E_0$  на верт. и гор. сост.

$E_{BC}$  и  $E_{AB}$ , соотв. пласт. BC и AB соотв.

↓ по th. Пифаг.

$$E_0^2 = E_{BC}^2 + E_{AB}^2 = k^2 \sigma_1^2 + k^2 \sigma_2^2 = k^2 \sigma^2 \cdot \frac{53}{49}$$

$$E_0 = \frac{\sqrt{53} k \sigma}{7}$$

Ответ:  $\frac{\sqrt{53} k \sigma}{7}$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{180}{9} = 20^\circ$

$k$

$$\frac{m u_x^2}{2} = \frac{m u_{2x}^2}{2}$$

$$u_x^2 = u_{2x}^2 \Leftrightarrow u_{2x} = u_x$$

$$k(u_{1y} + u)^2 = (u_{2y} - u)^2$$

$V_1; u_{1x}; u_{1y}$

$E = \frac{K5}{d} ?$

$q = 5x^2$

$$\begin{array}{r} \times 227 \\ 227 \\ \hline 1589 \\ 454 \\ \hline 494 \\ 51529 \\ \times 22 \\ \hline 44 \\ \hline 44 \\ \hline 484 \end{array}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{(\frac{3}{4}D)^2 - d^2}{(\frac{3}{4}D)^2} = \frac{7}{16}$$

$$t_1 - \tau_0 = \frac{\frac{3}{4}D - d}{v}$$

$$W = \frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

$$T_1 V_2 = T_2 V_1$$

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

$$W = \frac{4CE^2}{2} = 2CE^2$$

$$W = \frac{L_2 I_{02}^2}{2} = \frac{L_1 I_{01}^2}{2} + \frac{L_2 I_{02}^2}{2}$$

$PV = \nu RT$

$$\frac{\nu RT_1}{V_1} = \frac{\nu RT_2}{V_2}$$

$$\frac{\nu RT_3}{V_3} = \frac{\nu RT_3}{(V_1 + V_2) - V_3}$$

$$V_3 = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$T_1 + T_2 = 2T_3$$

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

$$T = \sqrt{LC}$$

$$\begin{array}{r} \times 2,24 \\ 3 \\ \hline 6,72 \\ \hline 1,28 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 23 \\ 23 \\ \hline 09 \\ 46 \\ \hline 529 \end{array}$$

$$\frac{8}{10} \quad \begin{array}{r} 225 \\ 225 \\ \hline 1125 \\ 450 \\ \hline 450 \\ \hline 50625 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 4 \\ \hline 3324 \\ \hline 21 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 3324 \\ 9 \\ \hline 29916 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 224 \\ 224 \\ \hline 896 \\ 448 \\ \hline 448 \\ \hline 50176 \end{array}$$



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)»

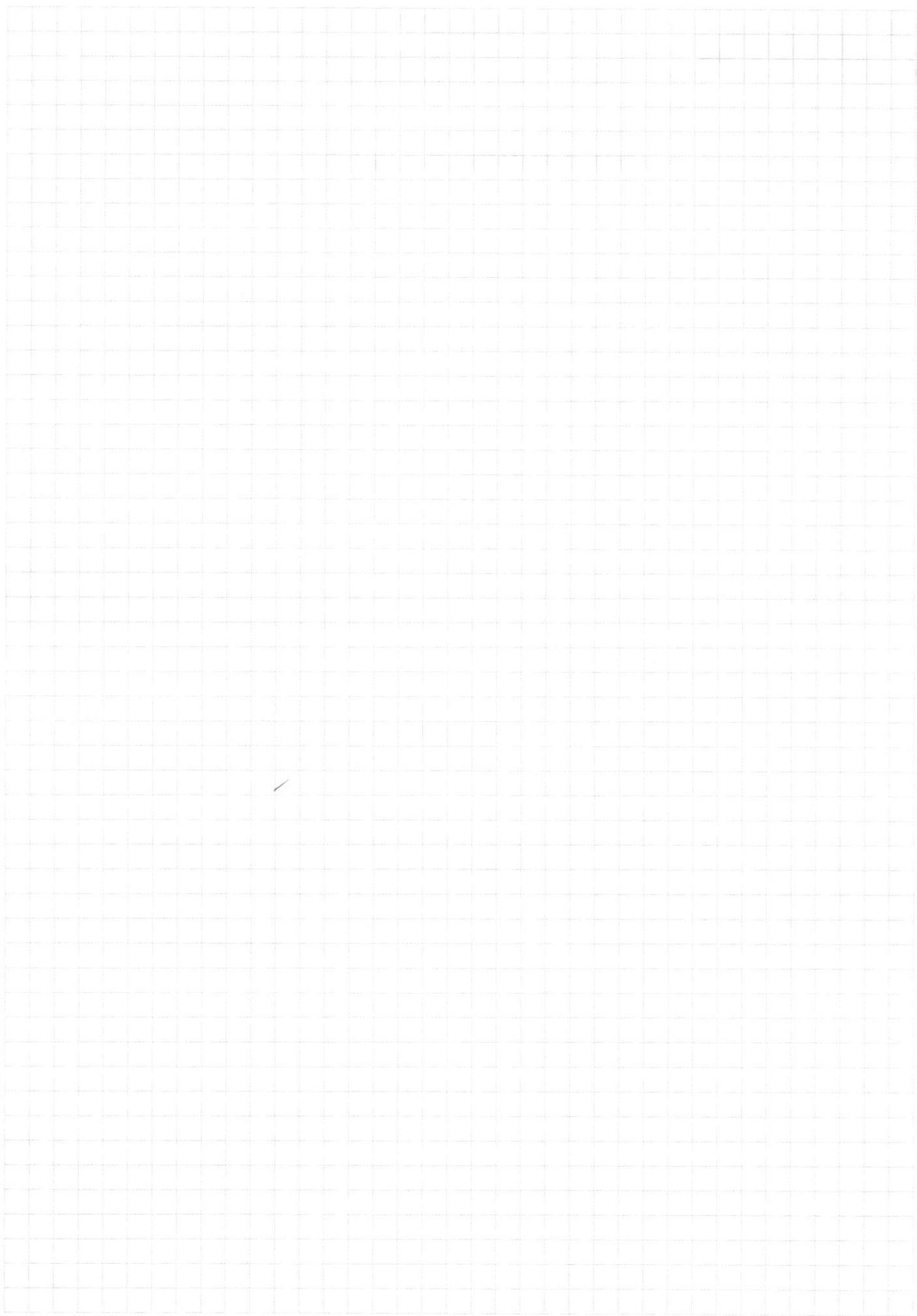
ШИФР

(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)





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)