



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

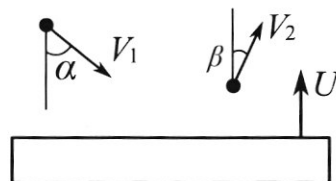
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 6$  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  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{3}$ ) с вертикалью.

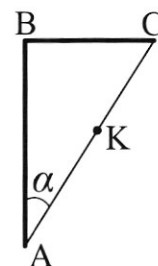


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве  $\nu = 6/25$  моль. Начальная температура гелия  $T_1 = 330$  К, а неона  $T_2 = 440$  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 гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

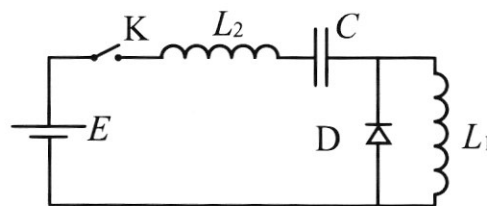
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

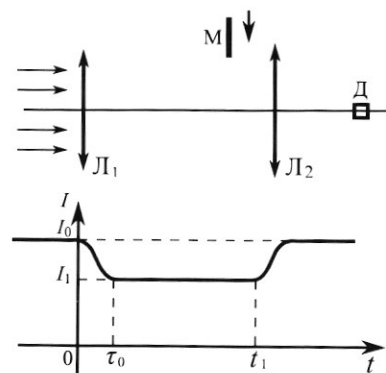
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 4\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/8$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 3L$ ,  $L_2 = 2L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода Д (см. рис.). Ключ К 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  $F_0$  и  $F_0/3$ , соответственно. Расстояние между линзами  $1,5F_0$ . 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  $5F_0/4$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 8I_0/9$ .



- 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

N2.

$$V = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

$$T_1 = 330 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

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

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

$$T_k = ?$$

$$Q = ?$$

- 1) ~~Накачан~~ Поршень легко ~~перемещается~~ перемещается.  
Значит давления газов равны в любой момент времени.

Тогда  $p_1$  - начальное давление гелия  $\leftrightarrow$   
 $p_2$  - начальное давление неона

$$\Rightarrow p_1 = p_2 = p - \text{давление газов}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, \text{ где } V_1 - \text{начальный объём гелия}$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2, \text{ где } V_2 - \text{начальный объём неона}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330 \text{ K}}{440 \text{ K}} = \frac{3}{4} = 0,75$$

- 2) Пусть  $T_k$  - установленная температура

~~$$p = \text{const} \quad Q_1 = \text{кон-во теплоты, подведенное гелию}$$~~

~~$$Q_2$$~~

$$p V_3 = \nu R T_k, \text{ где } V_3 - \text{объём гелия}$$

$$p V_4 = \nu R T_k, \text{ где } V_4 - \text{конечный объём неона}$$

~~$$p = \text{константа давления}$$~~

$$\Rightarrow V_3 = V_4 = V - \text{повышенный объём сосуда}$$

~~$$Q_1 = \text{кон-во теплоты, подведенное гелию}$$~~

~~$$Q_1 = A + \Delta U$$~~

$$V_1 + V_2 = 2V$$

$$2V = V_1 + \frac{4V_1}{3} = \frac{7}{3} V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{6}{7} V$$

$$2V = \frac{3}{4} V_2 + V_2 = \frac{7}{4} V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{8}{7} V$$

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{T_1}{T_k} = \frac{6}{7} \Rightarrow T_k = \frac{7}{6} T_1 = \frac{7 \cdot 330 \text{ K}}{6} = 385 \text{ K}$$

- 3)  $Q = p \Delta V + A + \Delta U = p \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = p \cdot \frac{1}{7} V + \frac{3}{2} \nu R \cdot (T_k - T_1) = \frac{1}{7} \nu R T_k + \frac{3}{2} \nu R \cdot \left( \frac{7}{6} T_1 - T_1 \right) =$

$$= \frac{1}{6} VRT_1 + \frac{1}{6} VRT_1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{6} VRT_1 = \frac{1}{3} VRT_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{6}{25} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 330 \text{ К} = \frac{660}{25} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{66 \cdot 83,1}{25} = \frac{264 \cdot 83,1}{100} = 219,384 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 264 \\ \times 83,1 \\ \hline 2640 \\ 1920 \\ 2112 \\ \hline 219384 \end{array}$$

$$= \frac{1^2}{6} VRT_1 + \frac{1^3}{4} VRT_1 = \frac{5}{12} VRT_1 = \frac{5 \cdot 8,31 \cdot 6 \cdot 330 \text{ К}}{25 \cdot 12} = \frac{5}{12} \cdot \frac{6}{25} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 330 \text{ К} = 33 \cdot 8,31 \text{ Дж} = 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 0,75 ; 2) 385 К ; 3) ~~219,384 Дж~~ 274,23 Дж.

~~№4/ №4/ №5.~~

$$\begin{array}{r} \times 8,31 \\ 2493 \\ \hline 2493 \\ + 2493 \\ \hline 27423 \end{array}$$

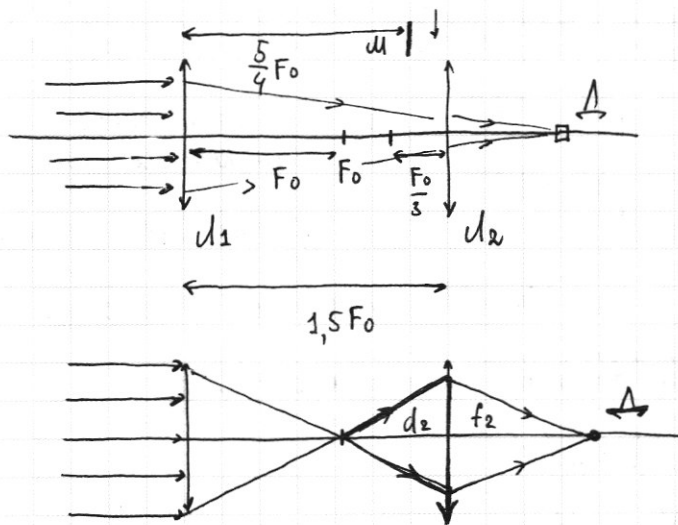
$F_1 = F_0$  - фокусное расстояние  $d_1$   
 $F_2 = \frac{F_0}{3}$  - фокусное расстояние  $d_2$

$d_{12} = 1,5F_0$  - расстояние между линзами

$D$  - диаметр линзы

$$I_1 = \frac{8}{9} I_0$$

$d_{ш.} = \frac{5}{4} F_0$  - расстояние мишки от  $d_1$ .



$$1) \quad d_2 = d_{12} - F_1 = 1,5F_0 - F_0 = 0,5F_0 = \frac{F_0}{2}$$

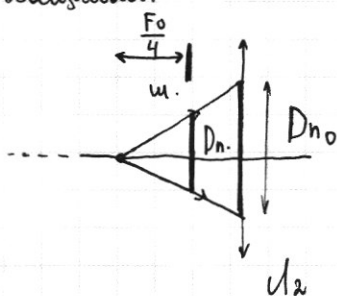
$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{F_2} = \frac{d_2 - F_2}{d_2 F_2}$$

$$f_2 = \frac{d_2 F_2}{d_2 - F_2} = \frac{0,5F_0 \cdot \frac{F_0}{3}}{0,5F_0 - \frac{F_0}{3}} = \frac{\frac{F_0^2}{6}}{\frac{F_0}{6}} = F_0$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- 2) Из графика получаем, что в момент времени  $t_0$  и до  $t_1$  ~~л~~ мишень полностью освещалась. При  $I = I_0$  мишень не освещалась.



$$D_{n0} = \frac{1}{2} D$$

$$\frac{D_{n0}}{D} = \frac{d_2}{F_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \cancel{D_{n0} = \frac{1}{2} D} \quad \cancel{D_{n0} = \frac{1}{2} D}$$

$$\frac{D_n}{D_{n0}} = \frac{F_0}{4d_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow D_n = \frac{1}{2} D_{n0} = \frac{1}{4} D$$

Сила/ток пропорциональна мощности света, т.е. кон-ву падающего света.

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{S_n - S_{ш.}}{S_n} = \frac{8}{9}$$

$$(\pi R_n^2 - \pi R_{ш.}^2) \cdot 9 = 8 \pi R_n^2$$

$$9 \cdot \frac{D_n^2}{4} - 9 \cdot \frac{D_{ш.}^2}{4} = 8 \cdot \frac{D_n^2}{4}$$

$$9 \cdot \frac{D_n^2}{4} - \frac{D_n^2}{4} = \frac{D_n^2}{4}$$

$$D_n = 3 D_{ш.}, \text{ где } D_{ш.} - \text{ диаметр мишени}$$

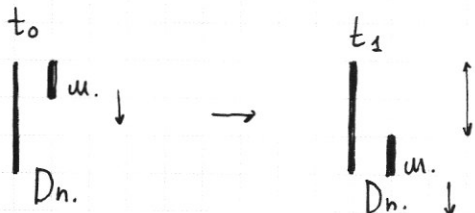
$$9 \cdot \frac{D_n^2}{4} - 9 \cdot \frac{D_{ш.}^2}{4} = 8 \cdot \frac{D_n^2}{4}$$

$$D_n = 3 D_{ш.}, \text{ где } D_{ш.} -$$

За  $t_0$  мишень полностью освещалась.  $\Rightarrow$  т.е. прошла путь, равный

$$\cancel{D_{ш.}} = \frac{D_n}{3} = \frac{1}{12} D \Rightarrow v = \frac{1}{12} \frac{D}{t_0} = \frac{D}{12 t_0}$$

3)



П.к. в промежутке  $t_0 - t_1$  мишень полностью освещается  $\Rightarrow$

$$\text{она проходит путь, равный } D_n - D_{ш.} = 2 D_{ш.} = \frac{2}{3} D_n = \frac{1}{6} D$$

$$v(t_1 - t_0) = \frac{1}{6} D$$

$$\frac{D}{12t_0} (t_1 - t_0) = \frac{1}{6} D$$

$$t_1 - t_0 = \frac{D}{6} \cdot \frac{12t_0}{D}$$

$$t_1 = t_0 + 2t_0 = 3t_0$$

Ответ: 1)  ~~$\frac{D}{12t_0}$~~   $F_0$  ; 2)  $\frac{D}{12t_0}$  ; 3)  $3t_0$

N1.

1) Удар неупругий  $\Rightarrow$  работает закон сохранения импульса

~~$m_{ш} \cdot v_1 \cdot \sin \alpha = m_{ш} \cdot v_2 \cdot \sin \beta$~~ , где  $m_{ш}$  - масса шарика

$$v_2 = \frac{m_{ш} \cdot v_1 \cdot \sin \alpha}{m_{ш} \cdot \sin \beta} = \frac{v_1 \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \frac{м}{с} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12 \frac{м}{с}$$

2) Не учитывая действие силы трения, определим проекции на вертикальную ось OY

~~$m_{ш} \cdot v_1 \cdot \cos \alpha = (M + m_{ш}) v_2 \cdot \cos \beta$~~ , где  $M$  - масса плиты

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{\sqrt{5}}{3}, \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{2\sqrt{2}}{9}$$

~~$M$~~

$$U = \frac{m_{ш} \cdot v_1 \cdot \cos \alpha + m_{ш} \cdot v_2 \cdot \cos \beta}{M} + v_2 \cdot \cos \beta$$

ЗЗЗ :

(т.к. нет трения)

$$\frac{m_{ш} \cdot v_1^2}{2} + \frac{MU^2}{2} = \frac{(m_{ш} + M)v_2^2}{2}$$

$$m_{ш} \cdot v_1^2 + MU^2 = m_{ш} v_2^2 + M v_2^2$$

$$\frac{M}{m_{ш}} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{v_2^2 - U^2}$$

~~$$U = \frac{v_1^2 - v_2^2}{v_2^2 - U^2}$$~~

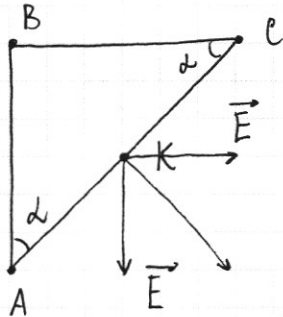
Ответ: 1)  $12 \frac{м}{с}$ .



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3. ~~11~~

1)



$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

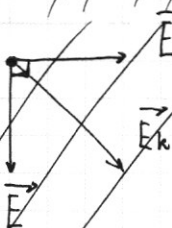
Пусть поверхностная плотность равна  $\sigma$ .

П.к. пластины заряжены везде одинаково, то векторы напряженности равноудаленных точек от центра будут равны по модулю.



П.с. этот вектор напряженности будет направлен перпендикулярно к пластине.

По теореме синусов ко второй пластине, т.к.  $\angle ACB = \angle BAC$ , то  $E_k$  направлено равно.



$$E_k = \sqrt{2} E_0$$

Значит, увеличится в  $\sqrt{2}$  раза.

1,4

Ответ: в 1,4 раза.

~~11~~

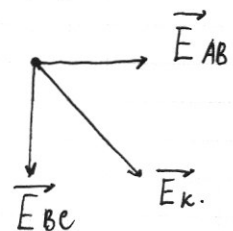
~~11~~

Вектор напряженности заряженной пластины направлен перпендикулярно к её поверхности.

П.к.  $\angle BAC = \angle BCA = \frac{\pi}{4} \Rightarrow BC = AB \Rightarrow |\vec{E}_{AB}| = |\vec{E}_{BC}| \Rightarrow$

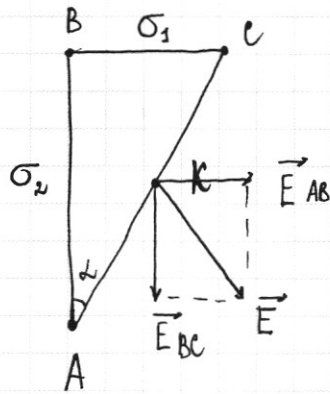
$\Rightarrow |\vec{E}_k| = |\sqrt{2} \vec{E}_0| \Rightarrow$  в  $\sqrt{2}$  раз

Ответ: в 1,4 раза





2)



$$L = \frac{\pi}{8}$$

$$\sigma_1 = 4\sigma$$

$$\sigma_2 = \sigma$$

$$|\vec{E}_{BC}| = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{4\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$$

$$|\vec{E}_{AB}| = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E^2 = E_{BC}^2 + E_{AB}^2 = \frac{4\sigma^2}{\epsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} = \frac{17\sigma^2}{16\epsilon_0^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = \frac{\sigma\sqrt{17}}{4\epsilon_0}$$

Ответ:  $\frac{\sigma\sqrt{17}}{4\epsilon_0}$ .

N4.

$$L_1 = 3L$$

$$L_2 = 2L$$

C

1) Полный цикл состоит из двух случаев:

1 случай, когда ток идет ~~туда~~ по диагонали:

$$L_{\text{общ.1}} = \cancel{L_1} + L_2 = 5L$$

2 случай, когда ток идет против диагонали:

$L_{\text{общ.2}} = \cancel{L_1} L_2 = 2L$ , т.к. тока в  $L_1$  ~~как будто нет~~ можно не учитывать.

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \frac{\pi\sqrt{5L}}{2} + \frac{\pi\sqrt{2L}}{2} = (\sqrt{5} + \sqrt{2})\pi\sqrt{L}$$

Ответ: 1)  $(\sqrt{5} + \sqrt{2})\pi\sqrt{L}$ .

2)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$E = \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{U}{d} = \frac{6}{7} = \frac{T_1}{T_k} = \frac{0.330}{0.385} = \frac{660}{770}$$

$$k \frac{q}{r^2} \cdot \frac{8}{7} = \frac{T_2}{T_k} = \frac{440}{385} = \frac{880}{770}$$

$$\frac{440}{385} = \frac{880}{770}$$

$$\epsilon = L \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$\epsilon = L \cdot \dot{q}$$

$$\frac{q}{c} = \epsilon$$

$$c = \frac{\epsilon \epsilon_0 d}{\epsilon}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$I_{max} = c$$

$$\epsilon \epsilon_0 E = I_{max}$$

$$\frac{q}{c} = \epsilon$$

$$\frac{3}{2} c$$

$$\frac{U}{c_0} = \frac{q}{\epsilon_0 d}$$



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

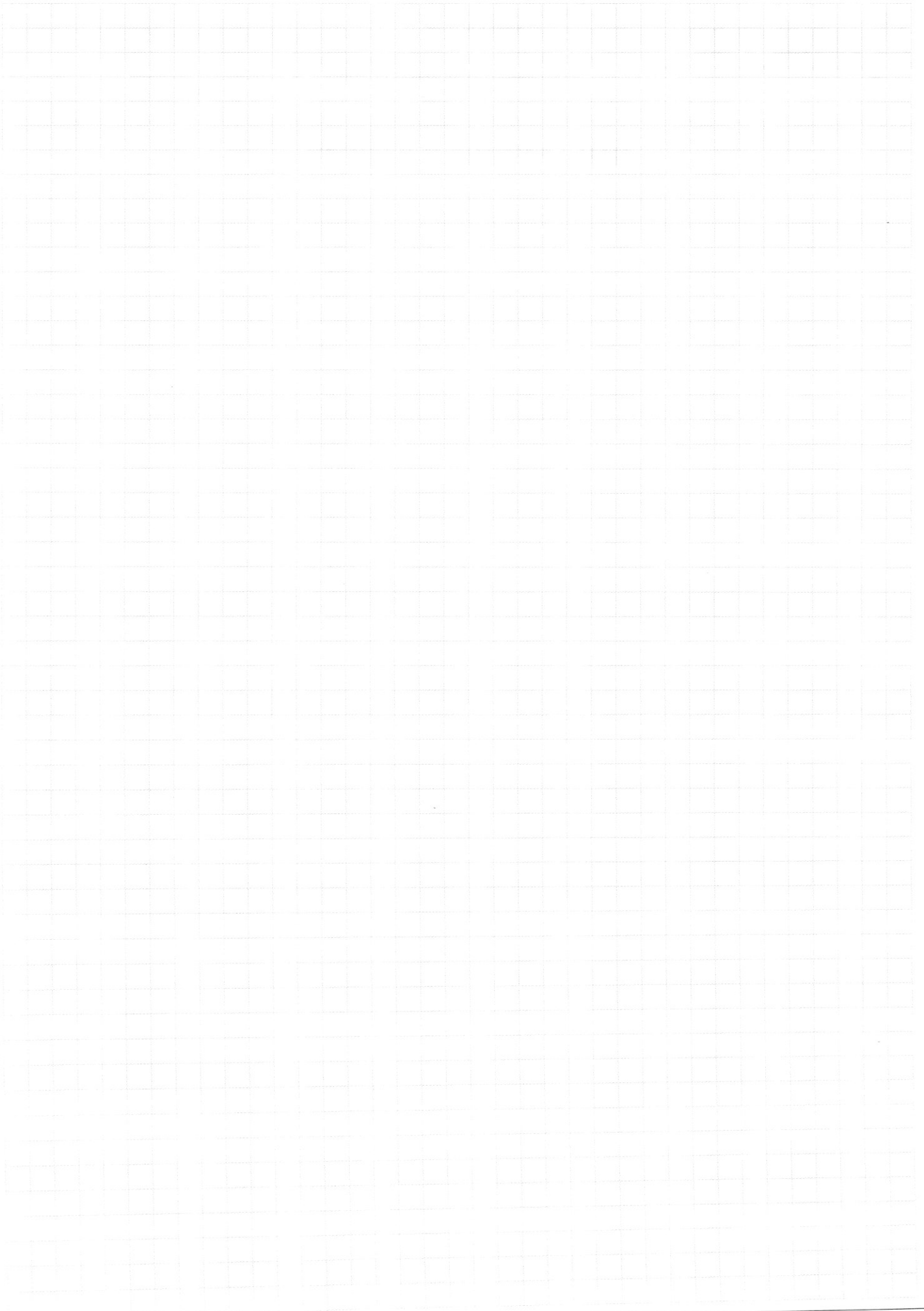
(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

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)