



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

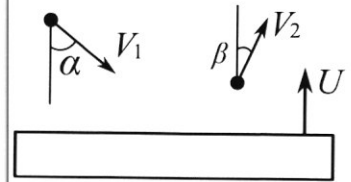
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарем)

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.

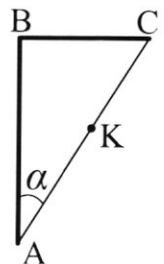
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве  $\nu = 3/7$  моль. Начальная температура азота  $T_1 = 300$  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?

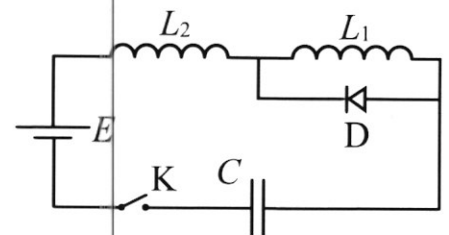
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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  $L_1$ .

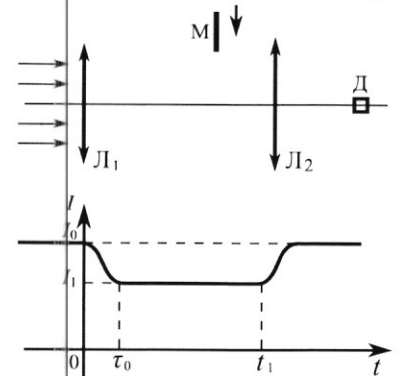


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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).  $I_1 = 3I_0/4$ .



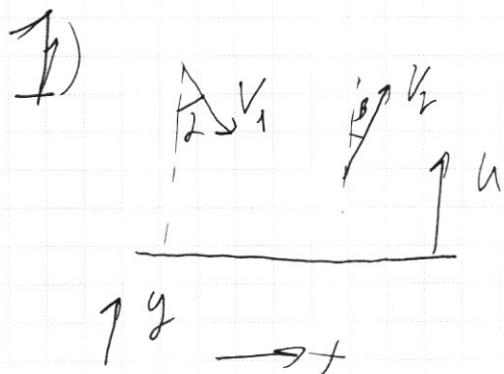
1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.

2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

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



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) На шарик не действует сила  
трения  $\Rightarrow V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta \Rightarrow$

$$\sin \beta = \frac{V_1}{V_2} \sin \alpha; V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} =$$

$$= \frac{8 \cdot 3 \cdot 2}{4 \cdot 1} \frac{1}{2} = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) Рассматриваем 2 крайних случая:  $\gamma_{\text{др}} - \text{РБС}$ .  
 $\gamma_{\text{др}} - \text{ГЧД}$  и  $\text{РБС}$ . Нет пружины:

$$V_{1y} = V_1 \cos \alpha \quad \text{т.п.р.: в СО лпшд } |V_{1y}| = V_1 \cos \alpha + u \Rightarrow$$

В данном СО  $V_{1y} = V_1 \cos \alpha + 2u = V_2 \cos \beta \Rightarrow u = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} =$

$$= \frac{12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}}{2} \frac{1}{2} = (3\sqrt{3} - \sqrt{7}) \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

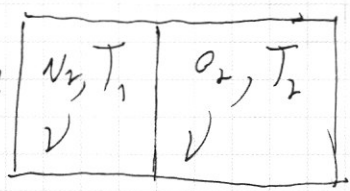
Если же  $\gamma_{\text{др}}$  абсолютно нет пружины, очевидно,  $u = V_2 \cos \beta =$

$$= \frac{12 \cdot \sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ при нет пружины со скоростью, очевидно,}$$

будут соответствующие значения.

Ответ: 1)  $V_2 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  2)  $u \in \left( (3\sqrt{3} - \sqrt{7}) \frac{\text{м}}{\text{с}}; 6\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$ .

2) 1) изначально, газы находятся в равновесии.  $\Rightarrow P_1 = P_2$  (к тому же, масса газа не меняется.)



$$\nu = \frac{\nu R}{2} \Rightarrow i = 5$$

$$\frac{\nu R T_1}{V_1} = \frac{\nu R T_2}{V_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$$

2) когда измерены (и температура не) общая температура газа в сосуде не изменится. Запишем ЗСЭ:

$$\frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 = \frac{5}{2} (2\nu) R T_0 \Rightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ К}$$

3) Запишем I начало термодинамики:

$$Q_{0 \rightarrow N} = A_{\nu}^{\uparrow} + \Delta W \quad A = \int P dV; \text{ при этом } W = \frac{5}{2} P_1 V_1 + \frac{5}{2} P_2 V_2 = \frac{5}{2} P (V_1 + V_2)$$

т.е. давление не меняется;  $V_1 + V_2 = \text{общая масса} = 2\nu V_0$

$$= 2\nu P V_0 \Rightarrow P = \text{const} \Rightarrow A = P \Delta V = \nu R T_0 - \nu R T_1;$$

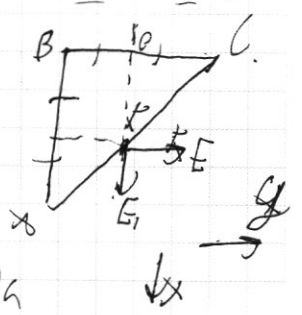
следовательно  $Q_{0 \rightarrow N} = \nu R T_0 - \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_0 - \frac{5}{2} \nu R T_1 = \frac{7}{2} \nu R (T_0 - T_1) =$

$$= \frac{7}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 100 \cdot 8,31 \text{ Дж} \approx 150 \cdot 8,31 \approx 1245 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 150 \\ + 83 \\ \hline 158 \\ + 15 \\ \hline 173 \\ + 83 \\ \hline 256 \end{array}$$

ответ: 1)  $\frac{V_{до}}{V_{до}} = \frac{3}{5}$  2)  $T_0 = 400 \text{ К}$  3)  $Q_{0 \rightarrow N} = 1245 \text{ Дж}$

3) 1)  $\angle z = \frac{\pi}{4} \Rightarrow BC = AC$ . Пластина BC симметрична относительно точки K  $\Rightarrow$  она создает напряжённость E вдоль Oy. т.е. K-средина и  $\angle z = \frac{\pi}{4}$  значит от K до BC и AB равно, при



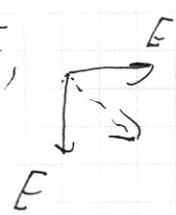
$\frac{150 \cdot 8,31}{5} = 2500$

$150 \cdot 8,31 = 1245$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

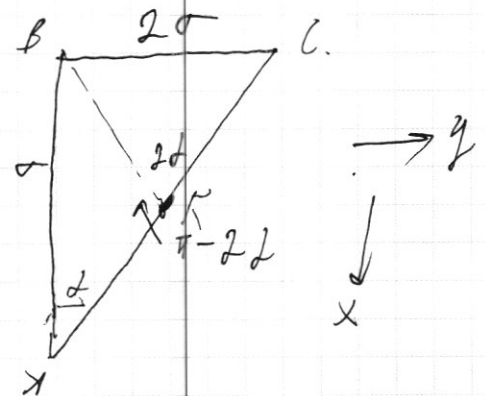
этом, раз  $\mu$  пластинки зарядов равны, АВ создаст напряжённость  $E$  вдоль Ох.  $\Rightarrow$  общая напряжённость будет суммой

2-х этих, но они перпендикулярны т.е.  $E_{\text{ext}} = \sqrt{2} E$ ,  
значит, она  $\sqrt{2}$  раз растёт в  $\sqrt{2}$  раз,



2) воспользуясь известным фактом, что напряжённость, создаваемая зарядом бесконечной плоскости в перпендикулярном ей направлении в какой-то точке под одинаковыми телесными углами будет одинаковой.

При этом от зарядов бесконечной плоскости ( $\text{тел. угол} = 2\pi$ ) известно, что создаётся напряжённость  $E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .



число  $\pi$  это доказано из Т. Гаусса  $\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma S}{\epsilon_0}$ , при этом  $\Phi = 2E \cdot S \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

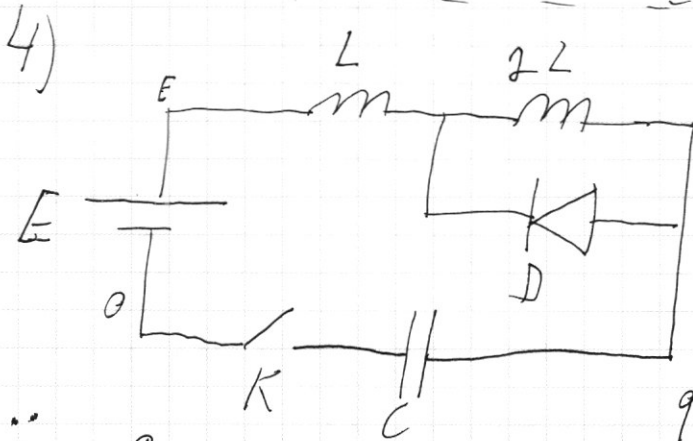
и так, плоскость бесконечная  $\Rightarrow$  напряжённость, создаваемая ВС

вдоль Ох:  $\frac{E_{BC}}{E_0} = \frac{2a}{\pi} = \frac{2}{\pi} \Rightarrow E_{BC} = \frac{2\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{2}{\pi} = \frac{2\sigma}{\pi\epsilon_0}$

аналогично  $E_{AB}/E_0 = \frac{\pi - 2a}{\pi} = 1 - \frac{2a}{\pi} = \frac{5}{\pi} \Rightarrow E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{5}{\pi} = \frac{5\sigma}{2\pi\epsilon_0}$

Тогда, общая напря-сть  $E_{\text{eff}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\left(\frac{5}{14}\right)^2 + \left(\frac{2}{7}\right)^2} = \frac{\sigma \epsilon_0}{7} \sqrt{\frac{25}{4} + 4} =$   
 $= \frac{\sigma/\epsilon_0}{7 \cdot 2} \sqrt{25+16} = \frac{\sqrt{41}}{14} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

Отв: 1)  $\frac{E_{\text{eff}}}{\epsilon_0} = \sqrt{2}$  2)  $E_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{41}}{14} \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sqrt{41}}{14} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$



1) Если ток течёт  
направо  $\Rightarrow$  диод закрыт.

$$E = 3L \ddot{q} + \frac{q}{C}$$

$$q(t) = q_{\text{max}} \cdot \sin\left(\frac{t}{\sqrt{3LC}}\right) + EC$$

$$\ddot{q} + \frac{q}{3LC} = \frac{E}{3L}$$

Время периода этого колебания  
 $T_1 = \frac{\pi}{\omega} = \sqrt{3LC} \cdot \pi$

Ток течёт налево  $\Rightarrow$  диод открыт,  $L_1$  не при деле:

$$E = L \ddot{q} + \frac{q}{C}$$

$$q(t) = q_{\text{max}} \cdot \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) + EC \Rightarrow T_2 = \pi \sqrt{LC} \Rightarrow$$

Период колебаний  $T = (\sqrt{3} + 1) \pi \sqrt{LC}$ .

2) Если ток - максимум, то  $i = 0 \Rightarrow E = \frac{q}{C} \Rightarrow q = EC$

и это - половина колебания  $= \omega_{\text{max}}(t) = 2E$ .  
~~при этом ток течёт направо и  $q(t)$  корректно задан~~

как  $q(t)$ . Т.е. Амплитуда напряжения не компенсируется =

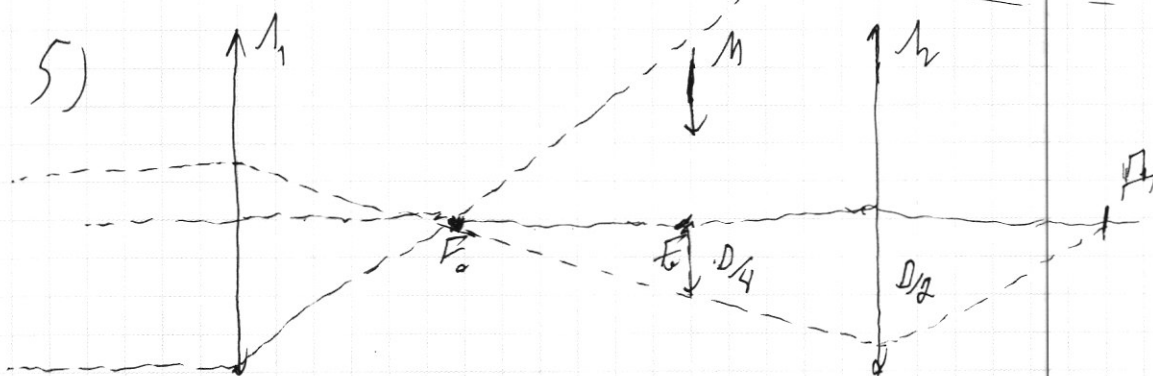
$$= \frac{2E}{2} \Rightarrow u(t) = E \cdot \cos\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{3LC}}\right) + E \Rightarrow q(t) = EC \cos\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{3LC}}\right) + EC$$

$$I(t) = \dot{q}(t) = -\frac{EC}{\sqrt{3LC}} \sin\left(\frac{t-t_0}{\sqrt{3LC}}\right) \Rightarrow I_{\text{M}} = \frac{EC}{\sqrt{3LC}}$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

аналогично  $I_{M2} \approx \frac{E_0}{\sqrt{L}} \approx \frac{E_0}{\sqrt{3L}}$  (показ от КАНТ).

ответ: 1)  $T = (\sqrt{3} + 1) \pi \sqrt{L}$  2)  $I_{M1} = \frac{E_0}{\sqrt{3L}}$  3)  $I_{M2} = \frac{E_0}{\sqrt{L}}$ .



1) Раз свет фиксируется на детекторе, полагаю, разумно его расположить в фокусе, где фиксируются пучки, прошедшие вторым и третьим. Сначала пучки собираются в фокусе  $L_1$ , далее, по формуле тонкой линзы:

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

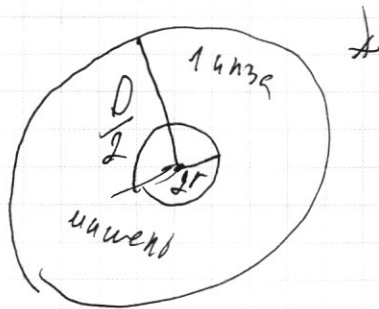
2) время, которое мишень находится в пучке, считаем во втором и третьем  $= t_1 - t_0 \Rightarrow$  её скорость  $=$

$$= \frac{D/2 - 2r}{t_1 - t_0}, \text{ где } r \text{ — радиус мишени. Определить его.}$$

(не нужно и проверять а именно сам.)  
хотя и это можно.



$$I \sim P; p \sim S \Rightarrow I \sim S.$$

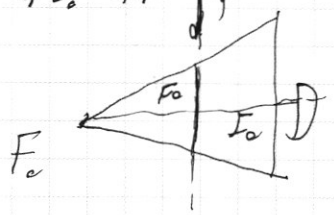


$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{3}{4} = \frac{\pi D^2/4 - 4\pi r^2}{\pi D^2/4} = 1 - 16 \frac{r^2}{D^2} \Rightarrow \frac{r^2}{D^2} = \frac{1}{16} \Rightarrow r = \frac{D}{8}$$

Зв. вена  $F_0$  мишень пром.  $2r \Rightarrow$  (всма в пучка)  $\Rightarrow$

$$V = \frac{2r}{F_0} = \frac{D}{4F_0}; \text{ при этом } V = \frac{D/2 - 2r}{t_1 - F_0} = \frac{D/4}{t_1 - F_0} \Rightarrow t_1 = 2F_0$$

Тогда  $\frac{1}{4F_0} = \frac{1}{4(t_1 - F_0)} \Rightarrow t_1 - F_0 = F_0 \Rightarrow t_1 = 2F_0$



т.к. мишень находится на расстоянии от  $L_2$ , т.е. двойного расстояния она будет только тогда, когда какая-то её часть находится на расстоянии  $\leq \frac{D}{4}$  от Г.О.С., по этому при расчетах я беру  $2r$ , т.к. это проекция мишени на  $L_2$  из фокуса  $L_1$ , откуда и идет луч.

Ответ: 1)  $d = 2F_0$ ; 2)  $v = \frac{D}{4F_0}$  3)  $t_1 = 2F_0$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

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

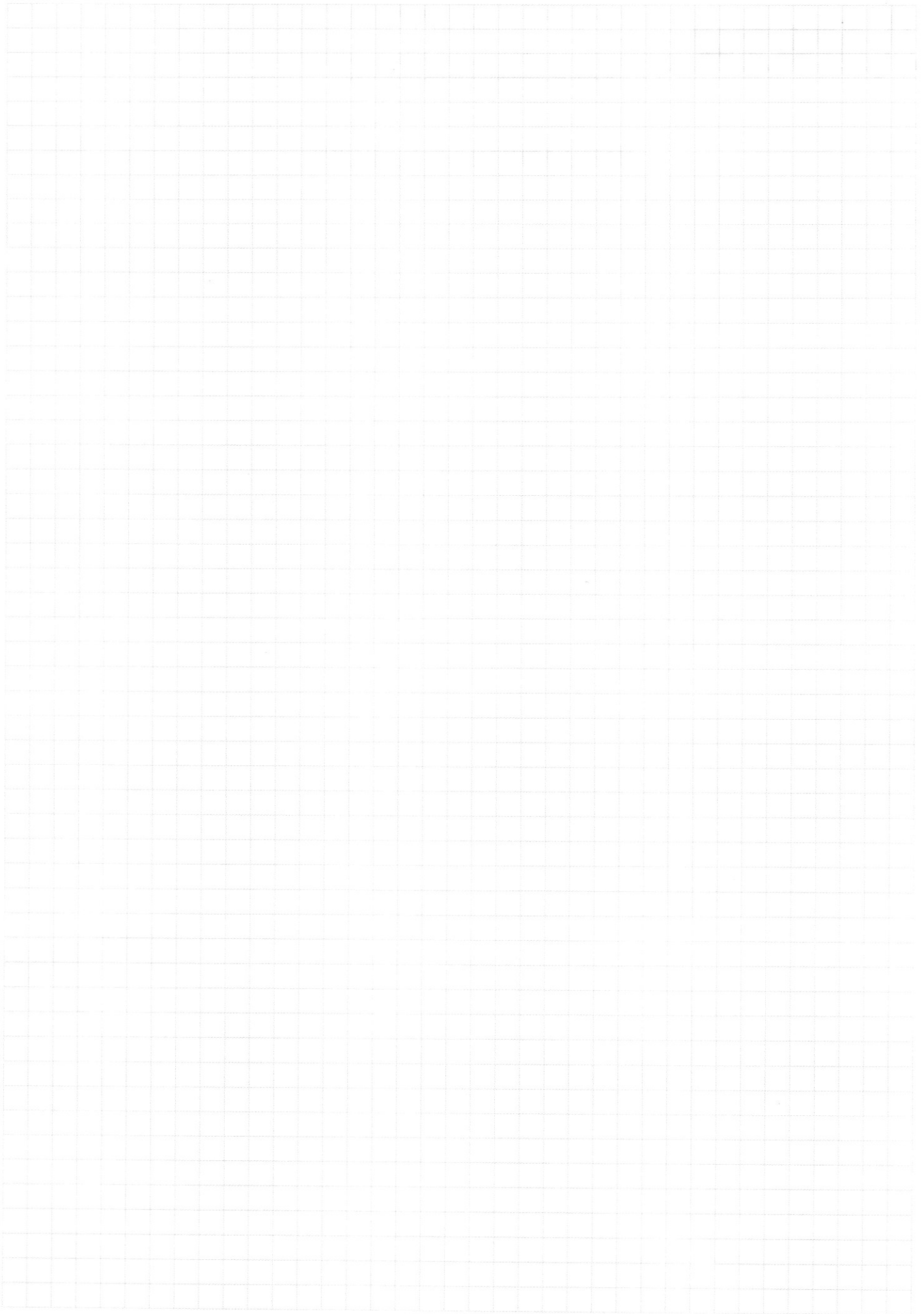
ШИФР

(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

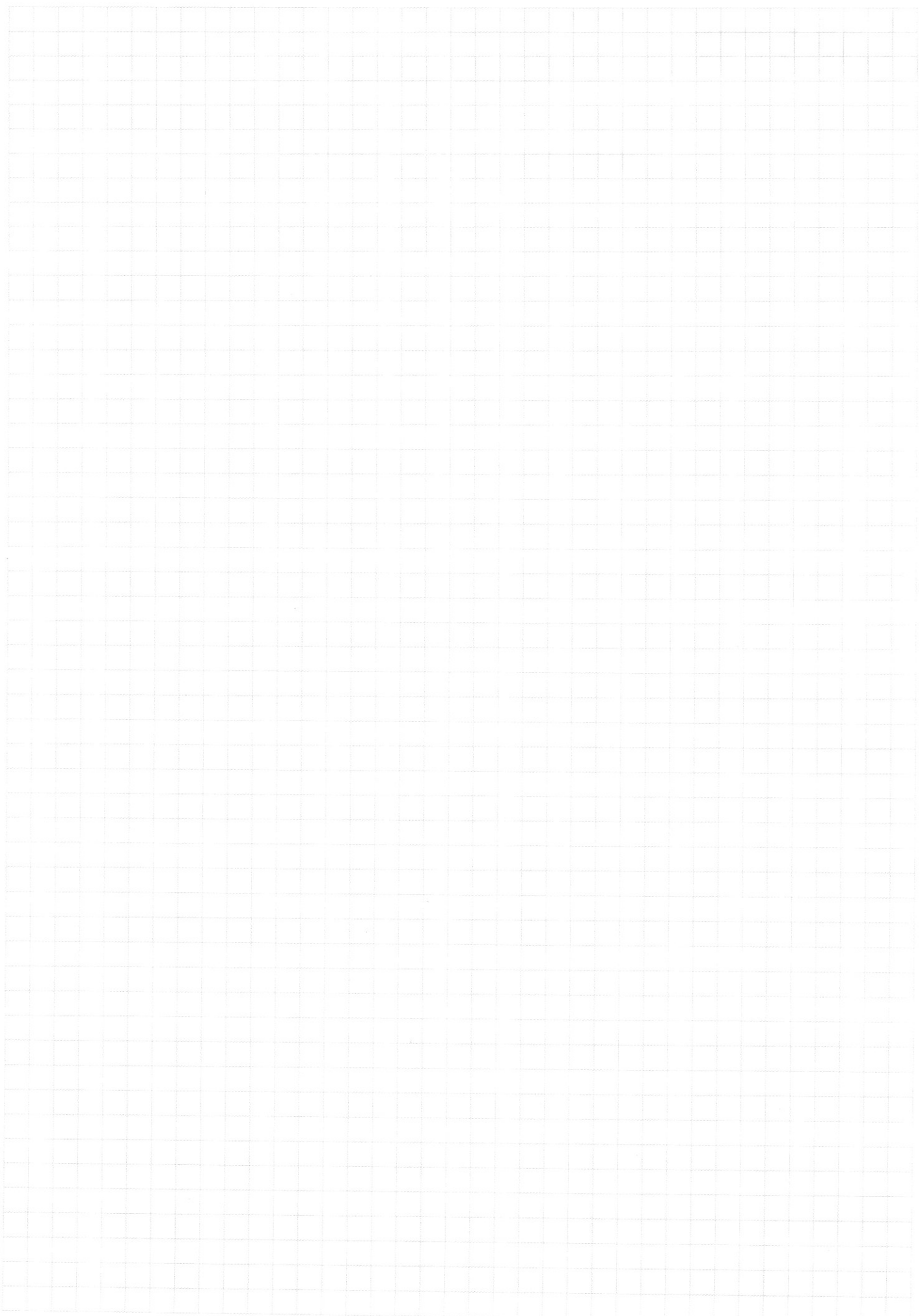
(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

--	--

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)