

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

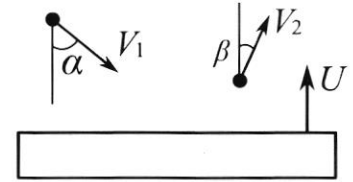
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 12$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ ) 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.

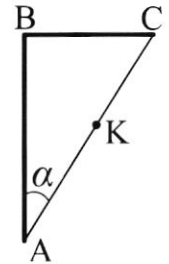


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве  $\nu = 6/7$  моль. Начальная температура водорода  $T_1 = 350$  К, а азота  $T_2 = 550$  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).

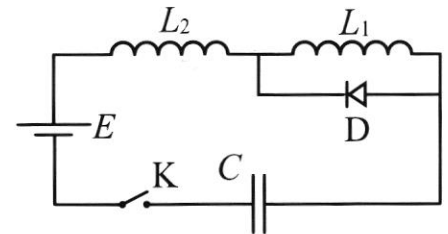
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



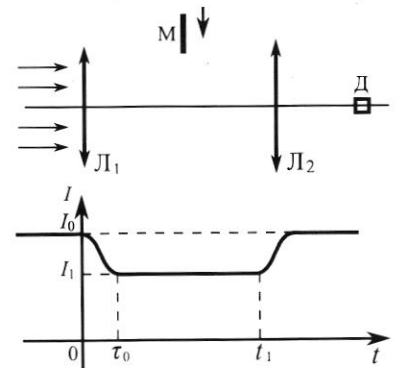
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 3\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/5$ . 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  $L_1 = 4L$ ,  $L_2 = 3L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ  $K$  разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_1$ .



- 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 фокусными расстояниями  $3F_0$  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 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  $F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 5I_0/9$ .



- 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

№1

1) Т.к. при ударе горизонтальная компонента  $mv = 0$ , по ЗСМ:

$$mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \underline{\underline{18 \text{ м/с}}}$$

$$2) \left\{ \begin{aligned} \frac{mU^2}{2} + \frac{mV_1^2}{2} &= \frac{mV_2^2}{2} \\ mU + mV_1 \cos \alpha &= mV_2 \cos \beta \end{aligned} \right.$$

$$U = \frac{V_2^2 - V_1^2}{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}$$

— крайнее значение  $U$  при котором произошло упругое соударение и шарики составились  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow U > \frac{V_2^2 - V_1^2}{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha} = \frac{12 \sqrt{5}}{12 \sqrt{2} - 6 \sqrt{3}} \text{ м/с}$$

№2

Пусть  $V$  — полный объём сосуда.

Давление газа не меняется и  $p =$  слева и справа (т.к. у поршня нет ускорения и он движется медленно)

$$1) \left. \begin{aligned} pV_1 &= \nu RT_1 \\ pV_2 &= \nu RT_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{550 \text{ K}}{350 \text{ K}} = \underline{\underline{\frac{11}{7}}}$$

$$2) \left. \begin{aligned} pV_1' &= \nu RT \\ pV_2' &= \nu RT \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_1' = V_2' = \frac{V}{2} \Rightarrow pV = 2\nu RT$$

$$p(V_1 + V_2) = \nu R(T_1 + T_2) = pV \Rightarrow 2T = T_1 + T_2 \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \underline{\underline{450 \text{ K}}}$$

$$3) C_v \Delta T = \Delta U + 0 = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{7}{2} \nu R \Delta T =$$

$$= \frac{7}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \underline{\underline{2493 \text{ Дж}}}$$

14

Когда ток идет по часовой стрелке ~~время~~ <sup>за период</sup> ~~в~~ <sup>(зарядить конденсатор)</sup> можно исклочить катушку  $L$  и диод.

Когда ток идет по часовой  $T_1 = 2\pi \sqrt{4LC}$ , против  $T_2 = 2\pi \sqrt{LC}$

~~в~~ Так в колебаниях  $T_1$  идет половину всего времени, аналогично  $T_2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \underline{\underline{\pi \sqrt{LC} (\sqrt{4} + \sqrt{1})}}$$

2) По правилу Кирхгофа

$$\mathcal{E} - 4LI' = \frac{q}{C} \text{ (когда диод закрыт)}$$

$I_M$  будет при закрытом диоде (тока = 0) и  $I' = 0$  т.к. максимум

$$\mathcal{E} = \frac{q}{C} \Rightarrow q = C\mathcal{E} \text{ — конденсатор до } \mathcal{E}.$$

По 3CЭ:

$$\mathcal{E}q = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{4LI_M^2}{2} \quad q = q_{\text{на кон.}}$$

$$2C\mathcal{E}^2 = C\mathcal{E}^2 + 4LI_M^2$$

$$C\mathcal{E}^2 = 4LI_M^2$$

$$\underline{\underline{I_M = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{4L}}}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

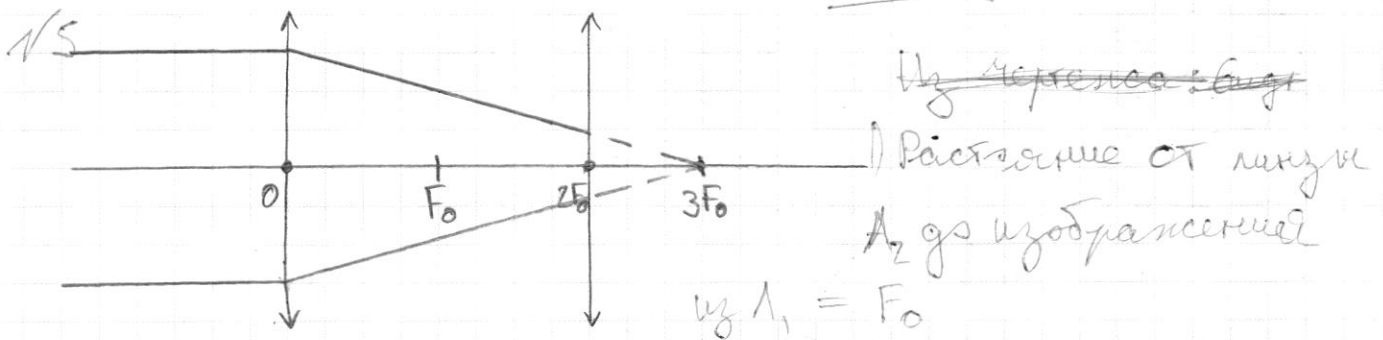
3) Аналогично

$I_{H_2}$  при закрытом диоде =  $I_{H_1}$

а при открытом:

Аналогично п.2:

$$I_{H_2} = \sqrt{\frac{c \Phi^2}{3L}} \rightarrow I_{H_1} \Rightarrow \text{Ответ: } I_{H_2} = \sqrt{\frac{c \Phi^2}{3L}}$$



Пусть  $l$  — расстояние от  $A_2$  до фотодетектора

$$\frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{l} \Rightarrow l = \frac{F_0}{2}$$

2) Площадь линзы  $S_0 = \frac{\pi D^2}{4}$

~~Площадь~~ Пусть радиус и диаметр пучка  $r = \frac{d}{2}$   
~~соответственно.~~

$$\frac{d}{D} = \frac{2F_0}{3F_0} = \frac{2}{3} \text{ (из подобия)} \Rightarrow d = \frac{2}{3} D \Rightarrow S = \frac{\pi D^2}{9}$$

$S_H$  — площадь мишени

— площадь пучка  
на раст.  $F_0$ .

$$\frac{S - S_H}{S} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{5}{9} \Rightarrow 4S = 9S_H$$

$$\frac{4\pi D^2}{9} = 9 \frac{\pi d_1^2}{4} \text{ где } d_1 \text{ — радиус мишени} \Rightarrow d_1 = \frac{4}{9} D$$

$T_0$  соответ. времени когда мишень полностью  
замыка в нуль.

$$v = \frac{d}{T_0} = \frac{4D}{9T_0}$$

3)  $t_1$  - соответ. время когда  
нижняя граница мишени дошла до нижнего  
края пушки.

$$t_1 = \frac{d}{v} = \frac{\frac{2}{3}D}{\frac{4D}{9}} = \frac{3}{2}T_0$$

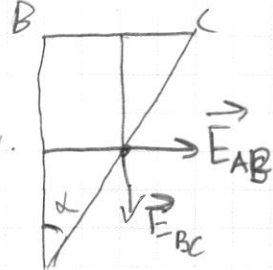
√3

1.)  $d = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \triangle ABC$  - равнобедр  $\Rightarrow AB = BC$

$$\vec{E}_{AB} \perp AB$$

$$\vec{E}_{BC} \perp BC$$

в силу симметрии ось  
перпен. плоскостям проход.  
через т.к.



Длины и заряды одинаковы  $\Rightarrow A$

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

$$E = E_{BC} \sqrt{2}$$

ответ: в  $\sqrt{2}$  раз

2) Подставим пластину АВ с повр. плот. зар.  $-\sigma$   
на расстоянии ВС.

$$q = \sigma u = \sigma E_d$$

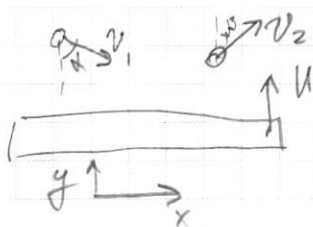
$$\epsilon \sigma S = \frac{\sigma S}{d} E_c d \Rightarrow E_c = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

одинаковые и к симметрична осн. ЭДС пластин

$$E_c = 2E_{AB} \Rightarrow E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}, \text{ Аналогично } E_{BC} = \frac{3\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{\sigma \sqrt{10}}{2\epsilon_0}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Т.к. при ударе горизонтальная компонента  
 $m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$  сила = 0, по 3 СИ на ось x:

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = \underline{\underline{18 \text{ м/с}}}$$

$$2) \frac{m u^2}{2} + \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m v_2^2}{2}$$

$$\begin{cases} m u + m v_1 \cos \alpha = m v_2 \cos \beta \\ m u^2 + m v_1^2 = m v_2^2 \end{cases}$$

$$u = \frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha} \Rightarrow u = \frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha} = \frac{18^2 - 12^2}{18 \cdot \frac{2\sqrt{3}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$$= \frac{18^2 - 12^2}{12\sqrt{3} - 6\sqrt{3}} = \frac{4(9^2 - 6^2)}{12\sqrt{3} - 6\sqrt{3}} = \frac{4\sqrt{45}}{12\sqrt{3} - 6\sqrt{3}} = \frac{12\sqrt{5}}{12\sqrt{3} - 6\sqrt{3}} \text{ м/с}$$

12 V - полный объем сосуда.

$$1) \left. \begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_1 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned} \right\} \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{550 \text{ K}}{350 \text{ K}} = \frac{11}{7} \Rightarrow 4V_2 = 11V_1$$

$$2) \left. \begin{aligned} p_2 V_1' &= \nu R T \\ p_2 V_2' &= \nu R T \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_1' = V_2' = \frac{V}{2}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, \quad \frac{11}{7} p_1 V_1 = \nu R T_2$$

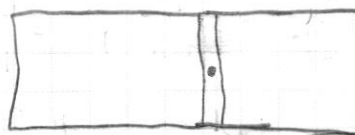
$$\frac{10}{7} p_2 V = \nu R T$$

$$V = V_1 + V_2 = V_1 + \frac{11V_1}{4} = \frac{15}{4} V_1$$

$$p_1 V = \nu R (T_1 + T_2)$$

$$p_2 V = 2 \nu R T$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2T}{T_1 + T_2} = 1 \Rightarrow \frac{T_1 + T_2}{2} = T = \underline{\underline{450 \text{ K}}}$$



$$Q = C_v \Delta T + p \Delta V = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T =$$

$$= \frac{7}{2} \nu R \Delta T = \frac{7 \cdot 6 \cdot 8,31 \cdot 100}{2 \cdot 4} = 3 \cdot 831 = \underline{\underline{2493 \text{ Дж}}}$$



1/3

1.  $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \triangle ABC$  - равнобедр.,  $\Rightarrow AB = BC$

Когда заряжена только одна пластина  $E_{\text{полн.}} = E_{BC}$

Когда две:

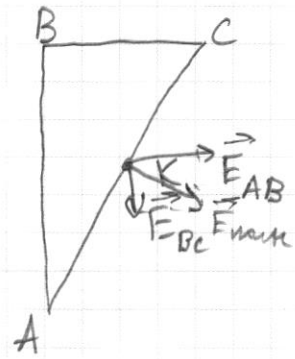
$\vec{E}_{\text{полн.}} = \vec{E}_{BC} + \vec{E}_{AB}$ , причём  $E_{BC} = E_{AB}$  (в силу симметрии)

$E_{AB} \perp AB$

$E_{BC} \perp BC$

в силу симметрии  $\Rightarrow E_{\text{полн.}} = E_{BC} \sqrt{2}$   
 относительно оси перпен. пластинам прое. через К.

Ответ: в  $\sqrt{2}$  раз.



2.

$BC = AB \cdot \tan \alpha$      $H_{AB} = \frac{BC}{2}$

$AB = L$   
 $BC = l$

$H_{BC} = \frac{AB}{2}$

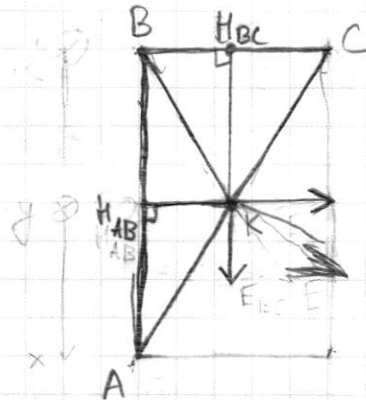
$E_{AB} = \dots$   
 $E_{BC} = \dots$

$q = C E_{\text{полн.}} d = \epsilon_0 \sigma E_{\text{полн.}} = \sigma d$

$E_C = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \Rightarrow E_{AB} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$

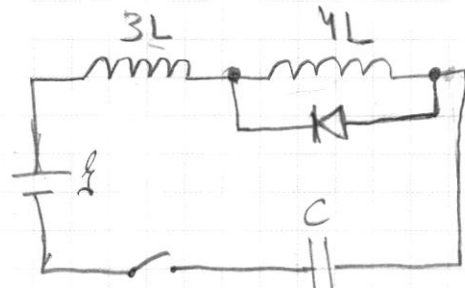
Аналогично  $E_{BC} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$

$E = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{4 \epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{4 \epsilon_0}\right)^2} = \frac{\sigma \sqrt{2}}{2 \epsilon_0}$



код  $\int_{-l}^l \frac{1}{x^2 + L^2} dx =$   
 $= k \sigma l \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\varphi = k \sigma d l$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{4LC}} + \frac{1}{\sqrt{3LC}} =$$

$$= \sqrt{LC} (\sqrt{4} + \sqrt{3})$$

$$2) U - 4LI = \frac{q}{C}$$

$$CU = q$$

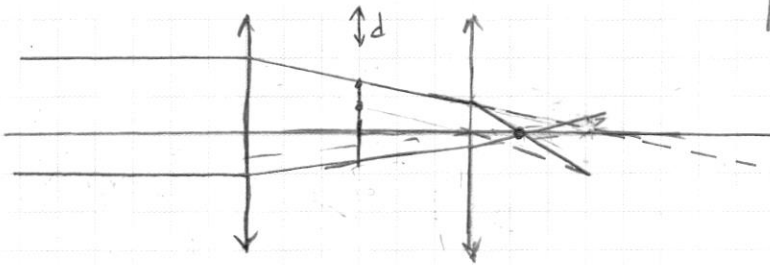
$$Uq = \frac{Cq^2}{2} + 4LI_M^2$$

$$2CU^2 = Cq^2 + 4LI_M^2$$

$$\sqrt{\frac{CU^2}{4L}} = I_M$$

$$3) I_{M2} = \sqrt{\frac{CU^2}{3L}}$$

н/с



$$1) \frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{4}{3F_0} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{3}{4}F_0$$

$$2) S_0 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{2F_0}{3F_0} \Rightarrow S = \frac{2}{3}S_0 = \frac{\pi D^2}{6}$$

$$\frac{S - S_M}{S} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{5}{9}$$

$$9S - 9S_M = 5S \Rightarrow$$

$$4S = 9S_M$$

$$\frac{2\pi D^2}{24} = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{80}{24}} D$$

$$3) t = \sqrt{\frac{2 \cdot 24}{3 \cdot 8}} T_0 =$$

$$= \frac{3}{2} T_0$$

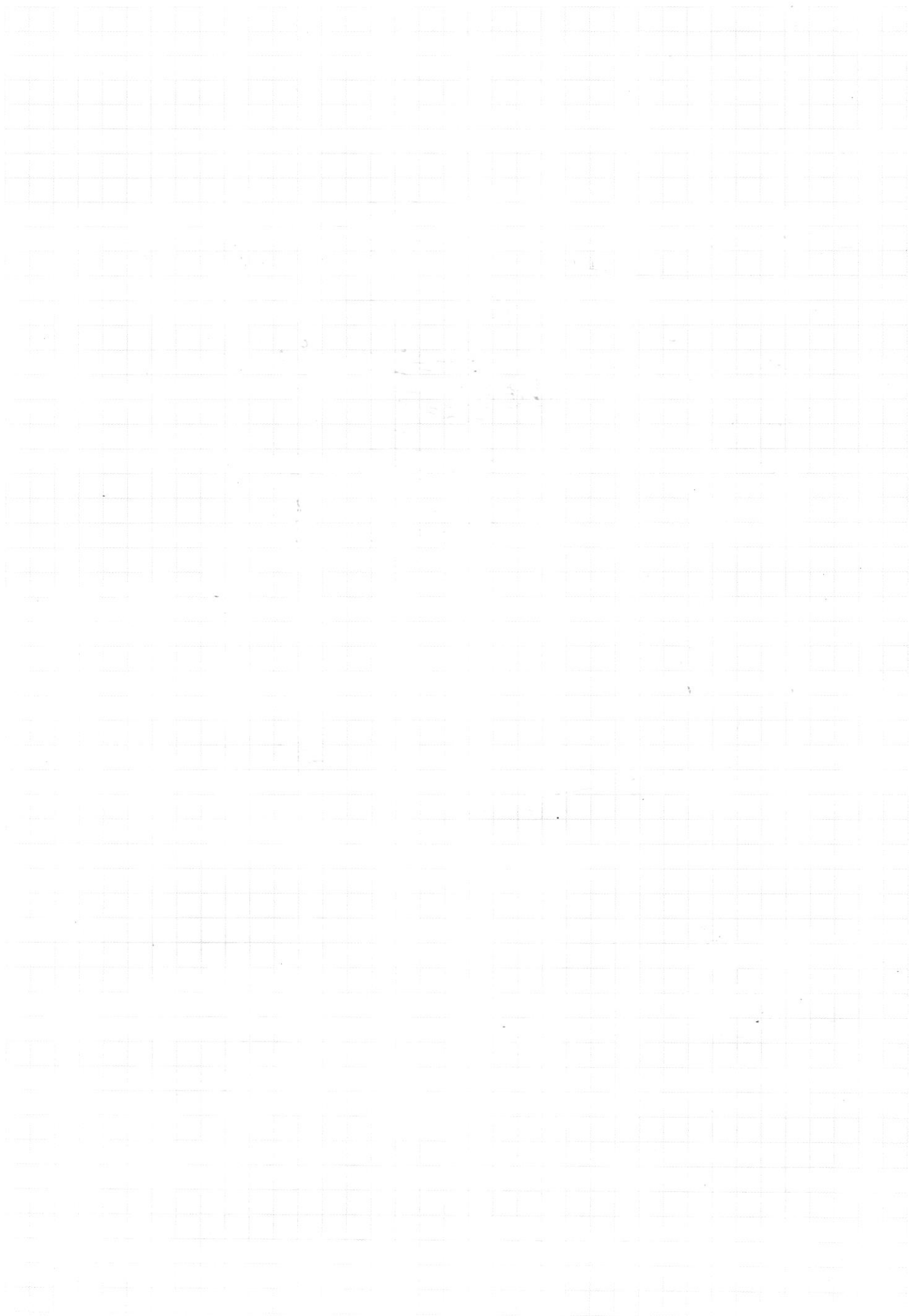
$$\frac{d}{T_0} = v = \sqrt{\frac{8}{24}} \frac{D}{T_0}$$

$$S_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \Rightarrow D_1 = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{2\pi D^2}{3\pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2}{3}} D$$

$$t = \frac{D_1}{v} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} D}{\sqrt{\frac{8}{24}} \frac{D}{T_0}} =$$





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

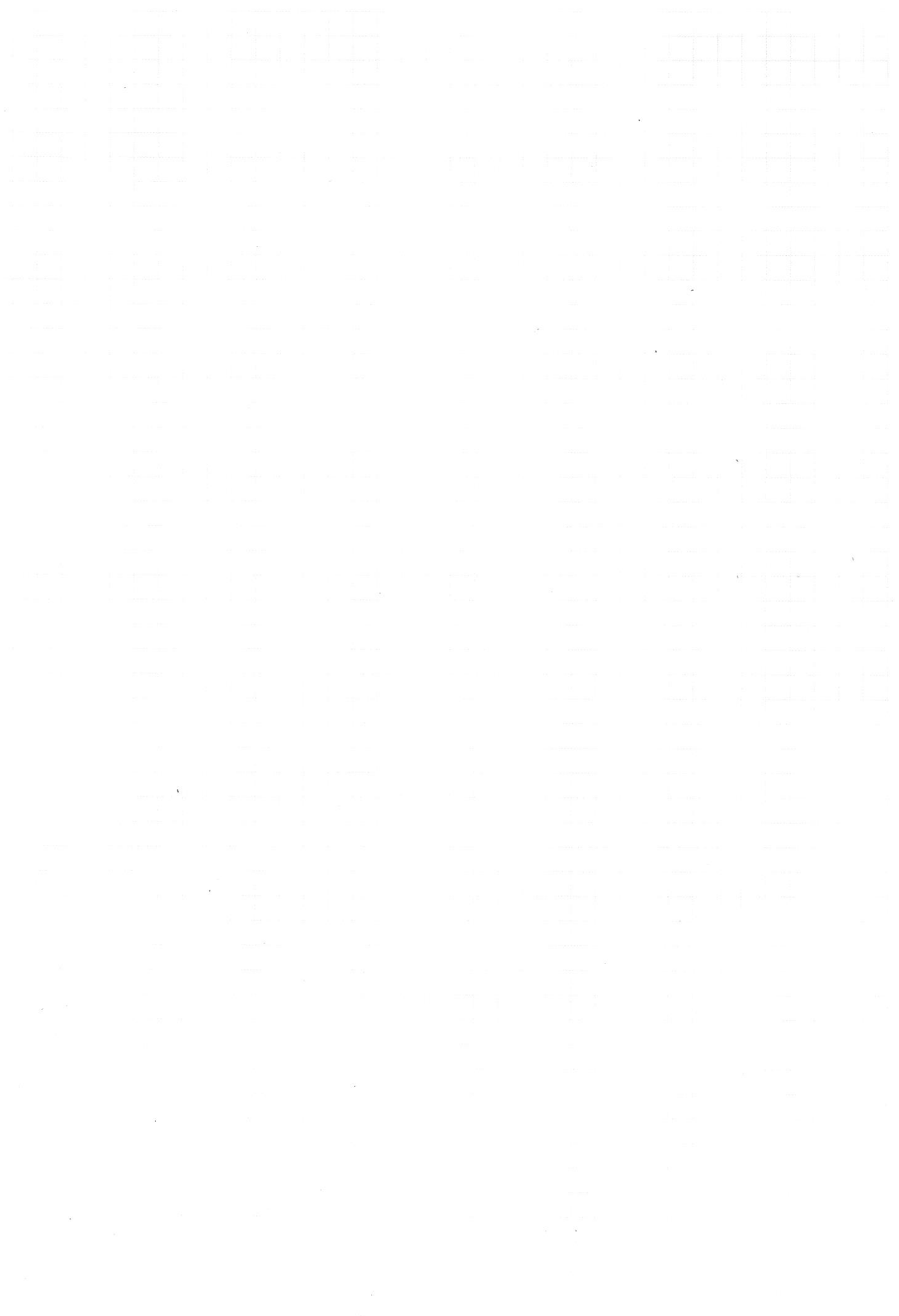
(заполняется секретарём)

## 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)