



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

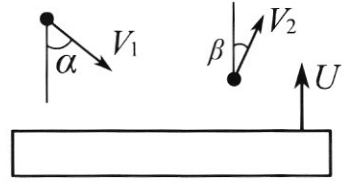
Класс 11

Вариант 11-04

Шифр

(заполняется секретарём)

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.

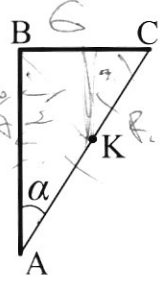
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве  $\nu = 3/5$  моль. Начальная температура аргона  $T_1 = 320$  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?

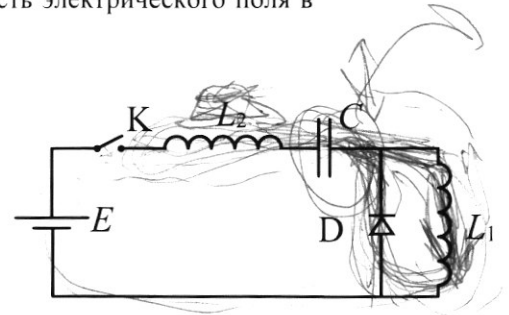
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_2$ .

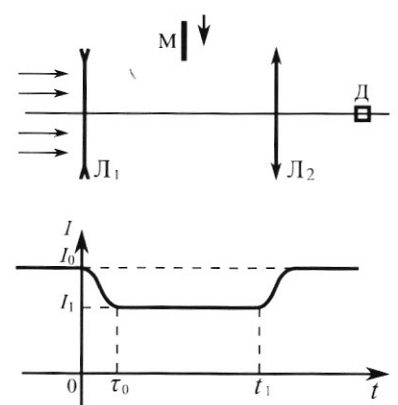


1) Найти период  $T$  этих колебаний.

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  $-2F_0$  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 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).  $I_1 = 7I_0/16$



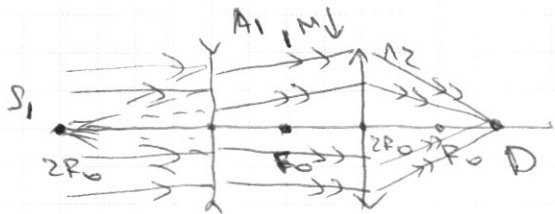
1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.

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

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



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



NS

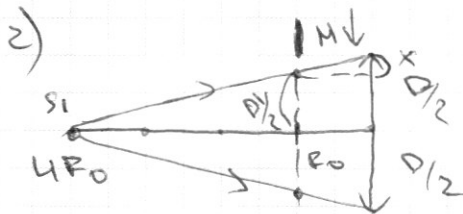
1) т.к.  $L_1$  - рассеив, а лучик параллелен т.о.о, то продолжением

лучей сойдутся в точке  $2F_0$  слева от  $L_1$ , тогда

можно рассмотреть  $L_2$ , как собирающую линзу в которую идут лучи из виртуального источника  $S_1$ , на расстоянии  $4F_0$  от  $L_2$ , тогда запишем формулу

точки линзы:  $\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F_0} \Leftrightarrow \frac{1}{F_0} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{F_0} \Leftrightarrow$

$\frac{1}{F_0} = \frac{3}{4F_0} \Leftrightarrow F_0 = \frac{4}{3} F_0$  - расстояние до фокуса



за время  $t_0$  из за мишенью

ток уменьшился до  $\frac{7}{16} I_0$ ,

значит мишень закрыла  $\frac{7}{16}$  луча

линза имеет диаметр  $D$ , ~~значит~~ значит на линзе площадь

лучка =  $\pi \frac{D^2}{4}$ , тогда на расе  $F_0$  от линзы

диаметр лучка ~~равен~~ найдем из соотн.:

$\frac{x}{F_0} = \frac{D/2}{4F_0} \Leftrightarrow x = \frac{D}{8} \Rightarrow \frac{D'}{2} = \frac{D}{2} - \frac{D}{8} = \frac{3D}{8} \Rightarrow D' = \frac{3D}{4}$

тогда площадь лучка на расе  $F_0 = \frac{9D^2}{64} \pi$

3)  $S_{мишень} = \frac{7}{16} S_{лучка на F_0} = \frac{7}{16} \cdot \frac{9}{64} D^2 \pi \Leftrightarrow S_{миш} \approx \frac{1}{16} D^2 \pi \Rightarrow D_x = \frac{D}{2}$

получается, что за  $t_0$  мишень просила  $\frac{D}{2} \Rightarrow V = \frac{D}{2t_0}$

4) За время  $t_1 - t_0$  поршень прошел путь:  $D' - D_x =$   
 $= \frac{3D}{4} - \frac{D}{2} = \frac{1}{4}D$ , значит  $(t_1 - t_0) = \frac{\frac{1}{4}D}{v} = \frac{\frac{1}{4}D}{\frac{D}{2t_0}} =$   
 $= \frac{1}{2}t_0$  т.о.  $t_1 = \frac{1}{2}t_0 + t_0 = \frac{3}{2}t_0$

Ответ: 1)  $\rho_0 = \frac{4}{3}\rho_0$   
 2)  $v = \frac{D}{2t_0}$   
 3)  $t_1 = 1,5t_0$ .

№2.

1) Запишем уравнение Клаузиуса-Менгера для обоих газов с учетом того, что в обоих одинаковое давление и температура, значит поршень:

$$\begin{aligned} p_0 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_0 V_2 &= \nu R T_2 \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{5}$$

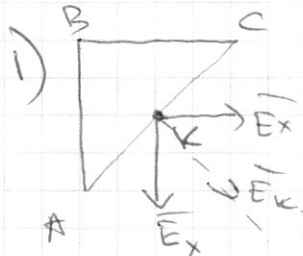
2) т.к. оба газа в одинаковом количестве, то температура установится средняя:  $\frac{T_1 + T_2}{2} = 360 \text{ K} = T_{\text{ср}}$

3)  $\Delta U_{\text{к}} = \Delta U_{\text{в}} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot 40 = 332,4 \cdot 0,9 \approx 300 \text{ Дж}$

Ответ: 1)  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{4}{5}$  2)  $360 \text{ K} = T_{\text{ср}}$  3)  $\Delta U = 300 \text{ Дж}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3



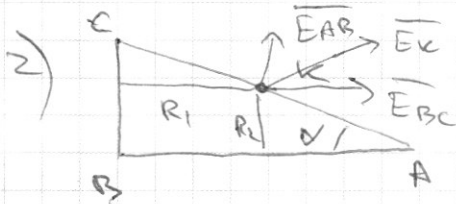
так угол  $\delta = \pi/4$ , то  $\triangle ABC \sim \triangle(\delta) \Rightarrow$

$\Rightarrow \mathcal{J}(K; AB) = \mathcal{J}(K; BC)$ , значит при  
равных  $b$  на плоскости будут

равны по модулю напряженности.

т.о. если изначально напряженность была  $E_x$ ,  
то теперь векторно суммируя получаем  ~~$E_x$~~

$E_K = \sqrt{2} E_x \Rightarrow$  увеличение в  $\sqrt{2}$  раз.



$$E_{AB} = \frac{G_{AB}}{2R_{AB}\epsilon_0} = \frac{G_{AB}}{2R_2\epsilon_0} = \frac{G_{AB}}{2(AC|\sin\delta|\epsilon_0)}$$

$$E_{BC} = \frac{G_{BC}}{2R_{BC}\epsilon_0} = \frac{G_{BC}}{2R_1\epsilon_0} = \frac{G_{BC}}{2(AC|\cos\delta|\epsilon_0)}$$

т.о.  $E_{AB} = \frac{G_{AB}}{AC|\sin\delta|\epsilon_0}$ ;  $E_{BC} = \frac{G_{BC}}{AC|\cos\delta|\epsilon_0}$

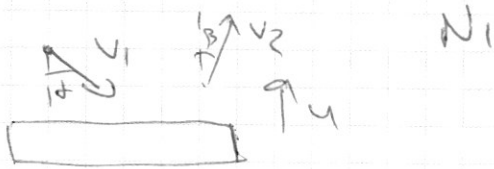
тогда  $|E_K| = \sqrt{(E_{AB})^2 + (E_{BC})^2} =$

$$= \sqrt{\frac{G^2}{(AC)^2 \cos^2\delta (\epsilon_0)^2} + \frac{4G^2}{4\epsilon_0^2 AC^2 \sin^2\delta (\epsilon_0)^2}} = \frac{G^2}{4\epsilon_0^2 AC^2 \cos^2\delta} + \frac{4G^2 \cos^2\delta}{4\epsilon_0^2 AC^2 \sin^2\delta}$$

$$= \sqrt{\frac{4\epsilon_0^2 G^2 \sin^2\delta + 4G^2 \cos^2\delta}{4\epsilon_0^2 AC^2 \cos^2\delta \sin^2\delta (\epsilon_0)^2}}$$

Ответ: 1)  $\sqrt{2}$  раз

2)  $E_K = \sqrt{\frac{4\epsilon_0^2 G^2 \sin^2\delta + 4G^2 \cos^2\delta}{4\epsilon_0^2 AC^2 \cos^2\delta \sin^2\delta (\epsilon_0)^2}}$



1) т.к. планка гладкая, то горизонтальная составляющая скорости у шарика не изменяется!

Скорости у шарика не изменяется!

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta \Leftrightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = v_1 \frac{2}{3} \frac{3}{3} = \left( v_1 \frac{10}{9} \right)$$

2)  ~~$v_2^2 = v_{гор}^2 + v_{верт}^2 \neq (v_1 \sin \alpha)^2 + (u + v_x)^2$~~

~~где  $v_x$  - скорость отраженного шарика от плиты.~~

~~т.к. планка массивная, она придает шарикам  $v_{верт}$~~

~~импульс  $mv$ , где  $m$  масса шарика~~

~~ее шарик никак не тормозит и продолжает  $u$  вперед.~~

т.к. планка массивная, то при отскоке velocity от плиты шарик получит гол.  $v_{верт}$  скорость  $(2u)$

$$v_2^2 = (v_1 \sin \alpha)^2 + (u + v_x)^2 \quad \text{где } v_x \text{ - верт скорость}$$

отраженного шарика от плиты.

(т.к. планка массивная, она сообщит шарикам всю свою скорость  $u$ )

$$\textcircled{R} \Leftrightarrow \frac{100}{81} v_1^2 = v_1^2 \cdot \frac{4}{9} + (u + v_x)^2 \Leftrightarrow$$

$$\frac{64}{81} v_1^2 = (u + v_x)^2 \Leftrightarrow \frac{8}{9} v_1 = (u + v_x)$$

близком

при абсолютно неупр. ударе  $v_x = 0 \Rightarrow u = \frac{8}{9} v_1$ ,

тогда все выполняется, а при близком к

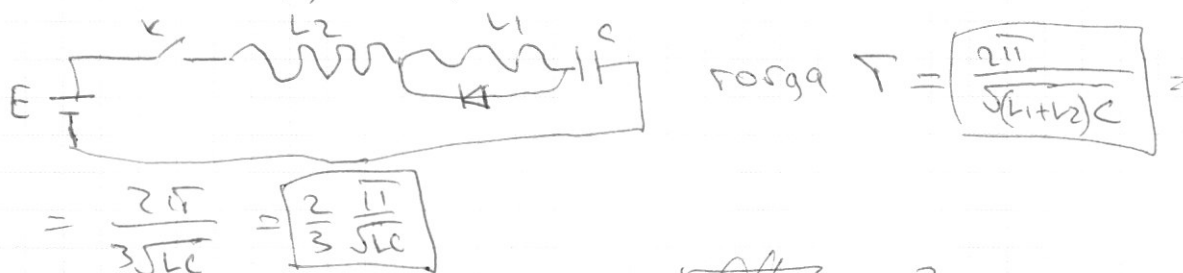
абсолютно упр. удару  $v_x = v_1 \cos \alpha + u$ , тогда

$$\frac{8}{9} v_1 = v_1 \cos \alpha + 2u \Leftrightarrow \frac{8}{9} v_1 = v_1 \frac{\sqrt{5}}{3} + 2u \Leftrightarrow u = \frac{v_1 \frac{8-3\sqrt{5}}{18}}$$

т.о.  $u \in \left( \frac{8-3\sqrt{5}}{18} v_1; \frac{8}{9} v_1 \right)$  Ответ: 2)  $u \in \left( \frac{8-3\sqrt{5}}{18} v_1; \frac{8}{9} v_1 \right)$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- 1) Ф.к. колебания будут проходить по всей контуре  
через диод; представим схему так:



- 2) Энергия конден. макс  $= \frac{CE^2}{2}$  (Ф.к. в катушках  
для пост. тока)

тогда  $\frac{CE^2}{2} = \frac{4I_{01}^2 L_1}{2} + \frac{L_2 I_{02}^2}{2}$ , причем  $I_{01} = I_{02}$ , т.к.

посл. след, тогда  $\frac{CE^2}{2} = \frac{L_1+L_2}{2} (I_{\max})^2 \Leftrightarrow$

$I_{\max} = \sqrt{\frac{CE^2}{L_1+L_2}} = \sqrt{\frac{CE^2}{9L}} = \frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$

- Ответ:
- 1)  $T = \frac{2\pi}{3\sqrt{LC}}$
  - 2)  $\frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$
  - 3)  $\frac{E}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



$$Pv_1 = URT$$

$$Pv_2 = URT_2$$

$$v_1 = \frac{UR T_1}{P_0}$$

$$v_2 = \frac{UR T_2}{P_0}$$

$$P \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{P_0}{2} \Rightarrow 360$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} URT = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8,31 \cdot 40 =$$

$$N = 99 \cdot 40 \cdot 8,31 = 3324 \cdot 99 \approx 300 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \times 8,31 \\ \hline 33240 \\ \times 99 \\ \hline 29986 \end{array}$$

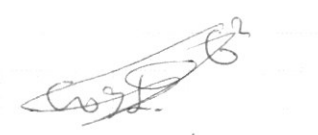


$$52 E_{\text{сум}}$$



$$\frac{\sin \alpha}{2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

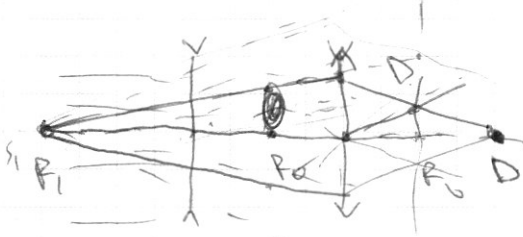
$$\frac{69}{2R^2}$$



$$Pv_1$$

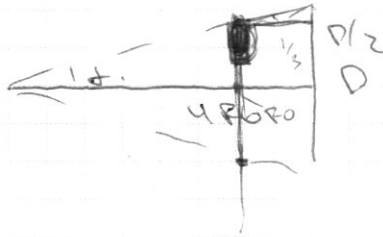
$$v_1 \sin \theta = v_2 \sin \beta$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{D} + \frac{1}{F} \quad \frac{1}{R_0} = \frac{1}{4R_0} + \frac{1}{F} \quad \frac{1}{F} = \frac{3}{4R_0} \quad \left( F = \frac{4}{3} R_0 \right)$$

$\frac{7}{16}$  голубые.

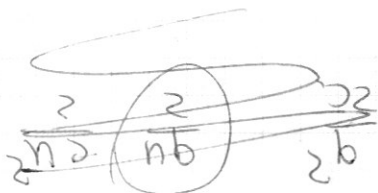


$$R = \frac{D}{8} \quad \frac{4R}{2/D} = \frac{D/R}{8/D/R}$$

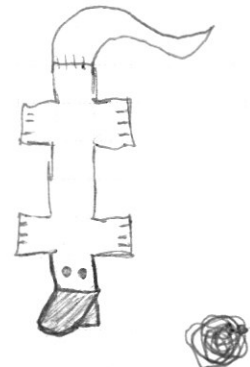
$$\frac{7}{16} \cdot \frac{3}{4} D = 4 \frac{21}{64} \quad \frac{D/2 - D/8 = \frac{3D}{8}}{2} = \frac{3D}{4} \quad R_0 \Rightarrow V = \frac{1/3 D}{t_0}$$

$$R_0 + \frac{\left( \frac{3}{4} D - \frac{1}{3} D \right)}{V} = \frac{9-4}{12} \frac{1/3 D}{t_0} = t_0 \frac{5}{12} = \frac{5}{4} t_0$$

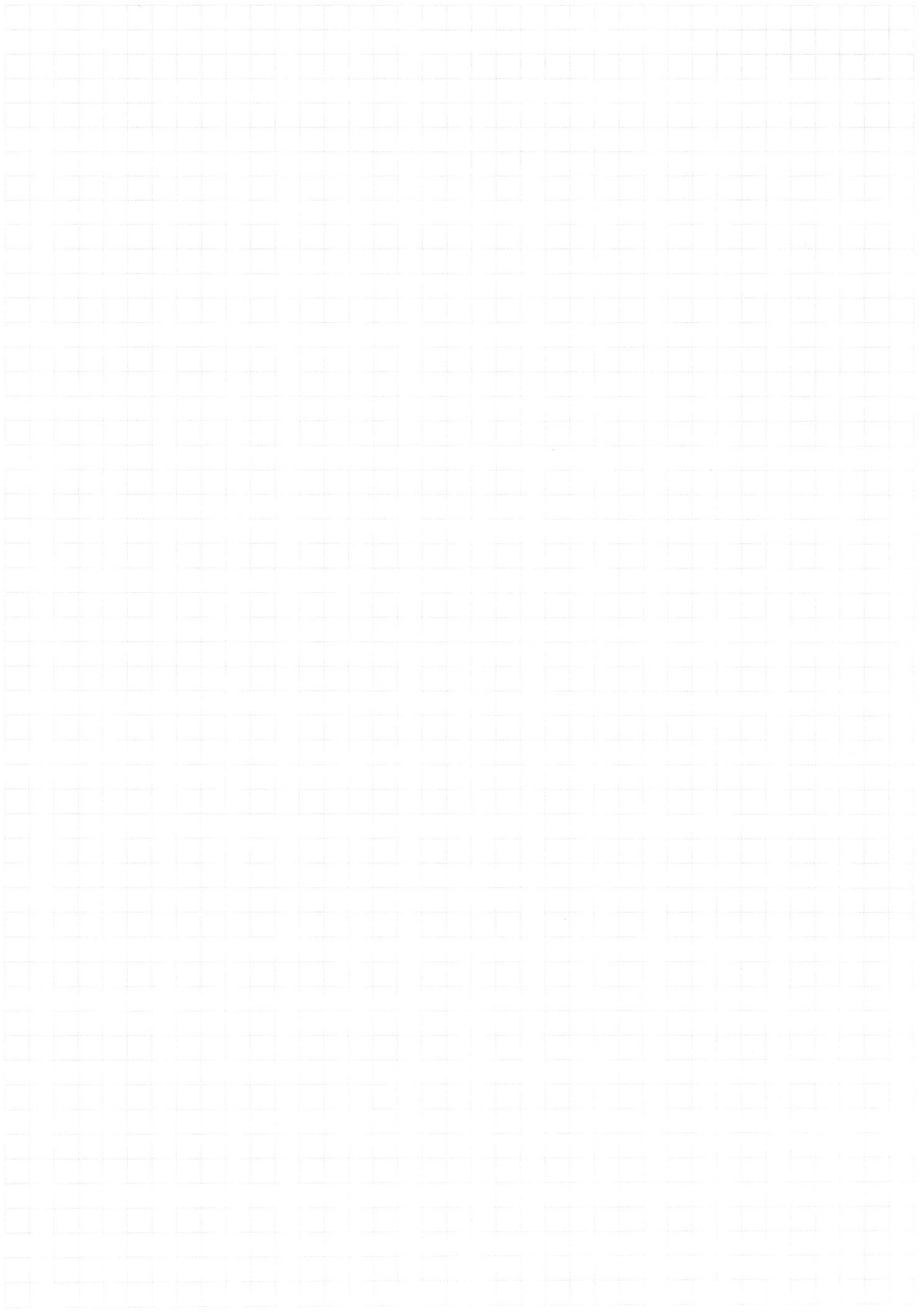
$$Sum \geq \frac{9}{4} t_0$$



$$\frac{2a(1+2f)}{2a}$$







черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)