



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

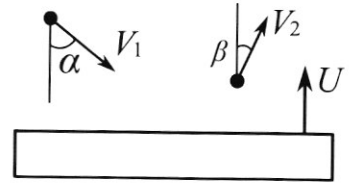
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

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.

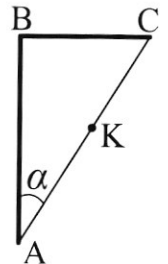


1) Найти скорость  $V_2$ .  
2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

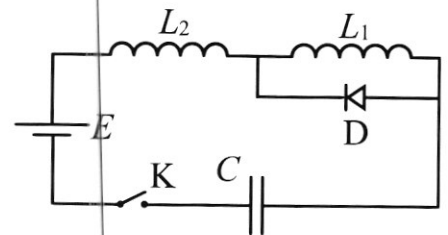
- 1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

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.



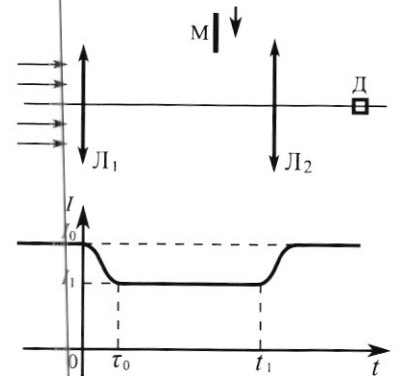
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

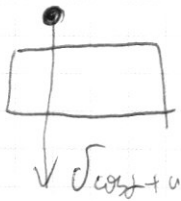
- 1) проекции скорости на вертикальную ось не  
изменялись, т.е. горизонтальная ось не  
вертикальна  $\Rightarrow \sigma_1 \sin \alpha = \sigma_2 \sin \beta$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{8 \cdot \frac{3}{4}}{\frac{1}{2}} = 12 \text{ м/с}$$

- 2) при упругом ударе: ~~проекции~~ <sup>отн</sup> ~~горизонтальной~~ <sup>относительно</sup> ~~вертикали~~ <sup>горизонтальной</sup> оси
- $$\sigma_{1 \text{ отн}} = \sigma_1 \cos \alpha + u = 8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}$$

и для второго

$$\sigma_{2 \text{ отн}} = \sigma_2 \cos \beta - u = \sigma_1 \cos \alpha + u$$



$$u = \frac{\sigma_2 \cos \beta - \sigma_1 \cos \alpha}{2} = \frac{12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}}{2} =$$

$$= \frac{6\sqrt{3} - 2\sqrt{7}}{2} = 3\sqrt{3} - \sqrt{7} = u_{\text{min}} \dots$$

Если скорость будет меньше, то верт. компонента скорости будет  
отрицательной  $\Rightarrow$  будет меньше, то верт. компонента скорости будет

$u > u_{\text{min}}$ . Минимум  $u$  находится  $\sigma_2 \cos \beta = 6\sqrt{3}$

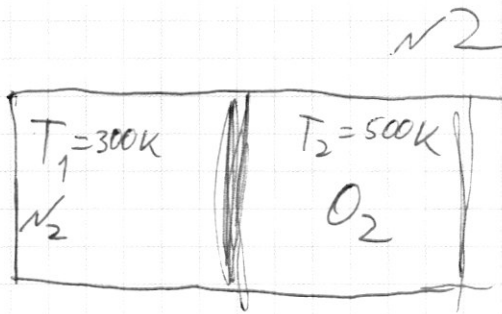
(Ничто не может иметь <sup>верт</sup> отрицательной компоненты скорости чем  
отрицательный тарик)

Ответ: 1) 12 м/с

2)  $3\sqrt{3} - \sqrt{7} < u < 6\sqrt{3}$

удар не упругий

(строго, т.к.)



$$1) P_1 = P_2$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

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

2) параметр внутреннего сжатия:

$$\frac{5}{2} \nu R T_1' = \frac{5}{2} \nu R T_2' \Rightarrow T_1' = T_2' = T'$$

$$\frac{5}{2} \nu R (T_1' + T_2') = \frac{5}{2} \nu R (T_1 + T_2) \quad (3; 5; 7)$$

$$T' = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ K}$$

$$3) Q_{N_2} = \Delta U_{N_2} + A'$$

$$\Delta U_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T' - T_1)$$

$$A' = \int_{V_1}^V p dV = \int_{V_1}^V \frac{\nu R T}{V} dV$$

$$p dV = \nu R dT$$

$$p = \text{const}$$

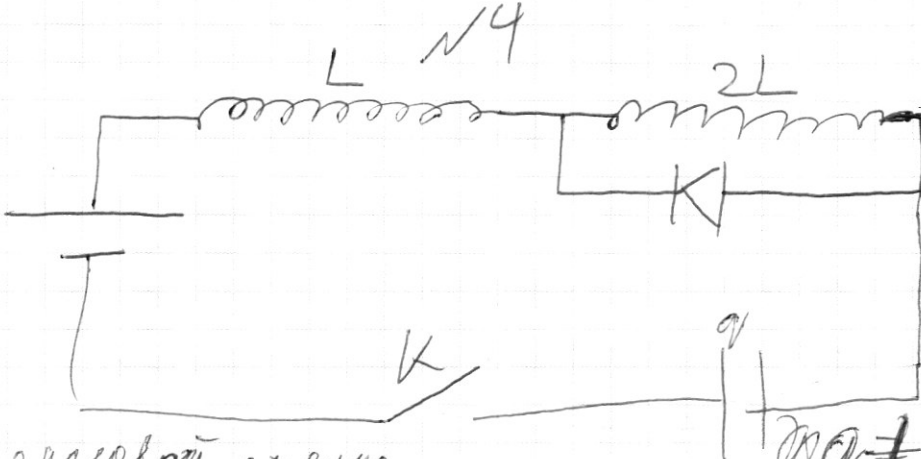
$$pV = \nu R (T' - T_1)$$

$$Q_{N_2} = \frac{5}{2} \nu R (T' - T_1) + \nu R (T' - T_1) = \frac{7}{2} \nu R (T' - T_1)$$

$$= \frac{7}{2} \cdot \frac{3}{7} \cdot 8,31 \cdot 100 = \frac{24,93}{2} = 12,465 \text{ Дж}$$

Ответ: 12,465 Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



по основной цепи

$$1) \quad \mathcal{E} = 3L I' = \mathcal{E} = 3L q''$$

$$\mathcal{E} - \mathcal{E} = \mathcal{E} = \mathcal{E} \quad \mathcal{E} = -3L q''$$

$$\omega_1 = \sqrt{3CL} = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad T_1 = 2\pi\sqrt{3LC} \Rightarrow \frac{T_1}{2} = \pi\sqrt{3LC}$$

кратковременная по  $2L$  тоа не тает.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} + LI' \Rightarrow T_2 = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi(1+\sqrt{3})\sqrt{LC} (!)$$

2)  $I_{m1} = \dots$  в  $\pm$  полярности (пока) (стелит) (идет ток)

$$\frac{2CE^2}{2} = \frac{3LI_{m1}^2}{2} = I_{m1} = \sqrt{\frac{C}{3L}} \mathcal{E}$$

$$U_{max} = \mathcal{E}$$

3)  $I_{m2}$  для любого  $I_{m1}$  либо  $I_{m2}$  либо  $I_{m1}$  либо  $I_{m2}$  либо  $I_{m1}$  либо  $I_{m2}$

$$I_{m2} = \sqrt{\frac{C}{L}} \mathcal{E} > I_{m1} \Rightarrow I_{m2} = \sqrt{\frac{C}{L}} \mathcal{E}$$

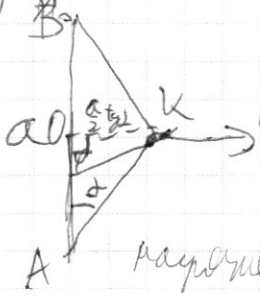
Ответ: 1)  $\pi(1+\sqrt{3})\sqrt{LC}$  2)  $\sqrt{\frac{C}{3L}} \mathcal{E}$ ; 3)  $\sqrt{\frac{C}{L}} \mathcal{E}$

1) Зная ~~электрическое~~ т.к. AB и BC - равные отрезки  
и к прямоугольнику от AB и BC, то 2 точки равноудалены

E от AB и BC равны и  $\perp$  -но  $\Rightarrow$  суммарно

$E_{\text{общ}} = \sqrt{2}E \Rightarrow$  макс. -е увеличится в  $\sqrt{2}$  раза

2) Рассчитаем напряженность электрического поля в точке AB



т.к. AB - это не вертикальный диаметр  
м. т.о., то ее можно считать  
маленькой. Тогда  $R_{\text{полюса}} = b-a$   
От какой стороны - другой полюса

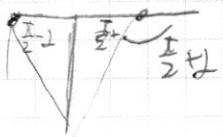
напряженность =  $E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R}$ , где R - расстояние

к. от центра т.к. R - угол берем равным  $a \cdot \gamma / \cos \gamma$

то  $E_{AB} = \int \frac{aG \cdot \sin \varphi}{2\pi\epsilon_0 \frac{a \cdot \gamma}{\cos \gamma}} d\varphi = \frac{2G \cos \gamma}{\pi\epsilon_0 \gamma \cos \gamma}$

Сделаем т.о. BC и получим так же:

$E_{BC} = \int_{\frac{\pi}{2}-\gamma}^{\frac{\pi}{2}+\gamma} \frac{aG \sin \varphi d\varphi}{2\pi\epsilon_0 \frac{a \cdot \gamma}{\cos \gamma}} = \frac{4G \cos(\frac{\pi}{2}-\gamma) \gamma}{\pi\epsilon_0} = \frac{4G \sin \gamma \gamma}{\pi\epsilon_0}$



$$E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \frac{2G \sin \gamma}{\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{1 + 4\gamma^2}{\gamma^2}}$$

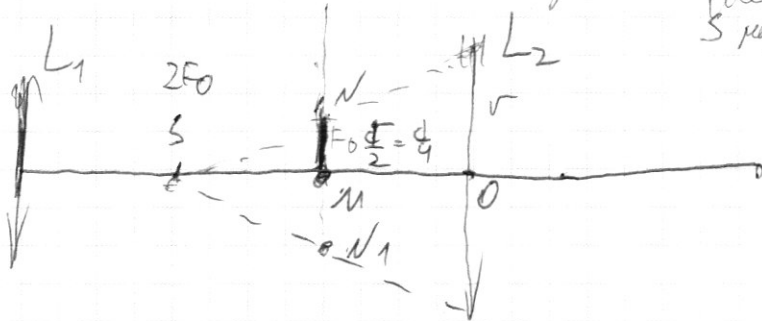
Ответ: 1)  $6\sqrt{2}$  мк

2)  $\frac{2G}{\pi\epsilon_0} \sin \gamma \sqrt{\frac{1 + 4\gamma^2}{\gamma^2}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5

1) Лучи света  $L_1$  и  $L_2$  параллельны и направлены вправо. Лучи  $L_1$  и  $L_2$  сходятся в фокусе линзы  $F_0$ . Лучи  $F_0$  линзы  $F_0$  расходятся. Лучи  $F_0$  линзы  $F_0$  расходятся. Лучи  $F_0$  линзы  $F_0$  расходятся.



$$\frac{1}{2F_0} + \frac{1}{F_0} = \frac{1}{F} \Rightarrow F = 2F_0$$

2) Тонкая линза  $L_2$  перевернута. Т.е.  $\frac{1}{4}$  поверхности не действует, когда линза  $L_2$  перевернута. Тогда

$$S_a = \frac{\pi d^2}{4}; \quad S = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d_1 = \frac{d}{2}$$

радиус кривизны линзы:  $\Delta SMM \sim \Delta SK_2O \Rightarrow$

$$\frac{MM}{OL_2} = \frac{SO}{KO} = \frac{1}{2} \Rightarrow \sqrt{R} = \frac{L_2}{2} = \frac{d}{4}$$

Перед линзой  $L_2$  увеличена точка  $M$  в  $2$  раза, а задняя поверхность линзы  $L_2$  в  $2$  раза. Тогда  $\Rightarrow$

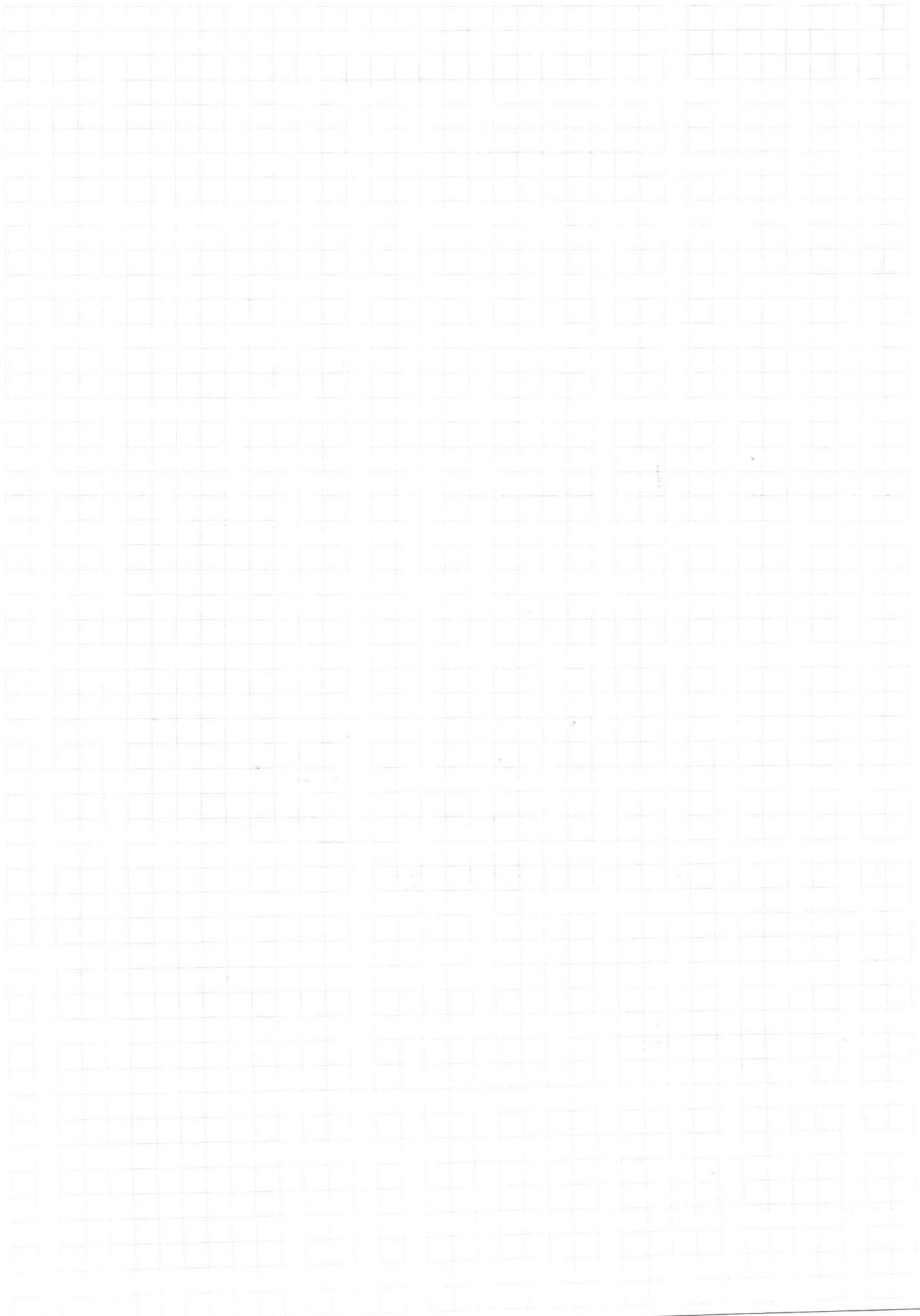
$$\Rightarrow \sigma = \frac{MM}{L_2} = \frac{d}{4L_2}$$

3)  $t_1$  - время, когда линза  $L_2$  перевернется.  $t_1 = \frac{L_2}{v}$ . Тогда, диаметр  $d_1 = \frac{d}{2}$ .

$$t = \frac{L_2}{v} = \frac{d}{2v} = 2t_0$$

Ответ:  $2F_0; \frac{d}{4t_0}; 2t_0$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1)  $\sqrt{5}$

В начале пучок света содержит в фокусе  $L_1$  соед. лучи.  
Закон будет выполняться при  $d = 2F_0$   
или  $d = 3F_0 - F_0 = 2F_0$

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

2)

$\sigma = \frac{d}{2F_0}$   
 $\tau_1 = t_0 + \frac{d}{2\sigma}$

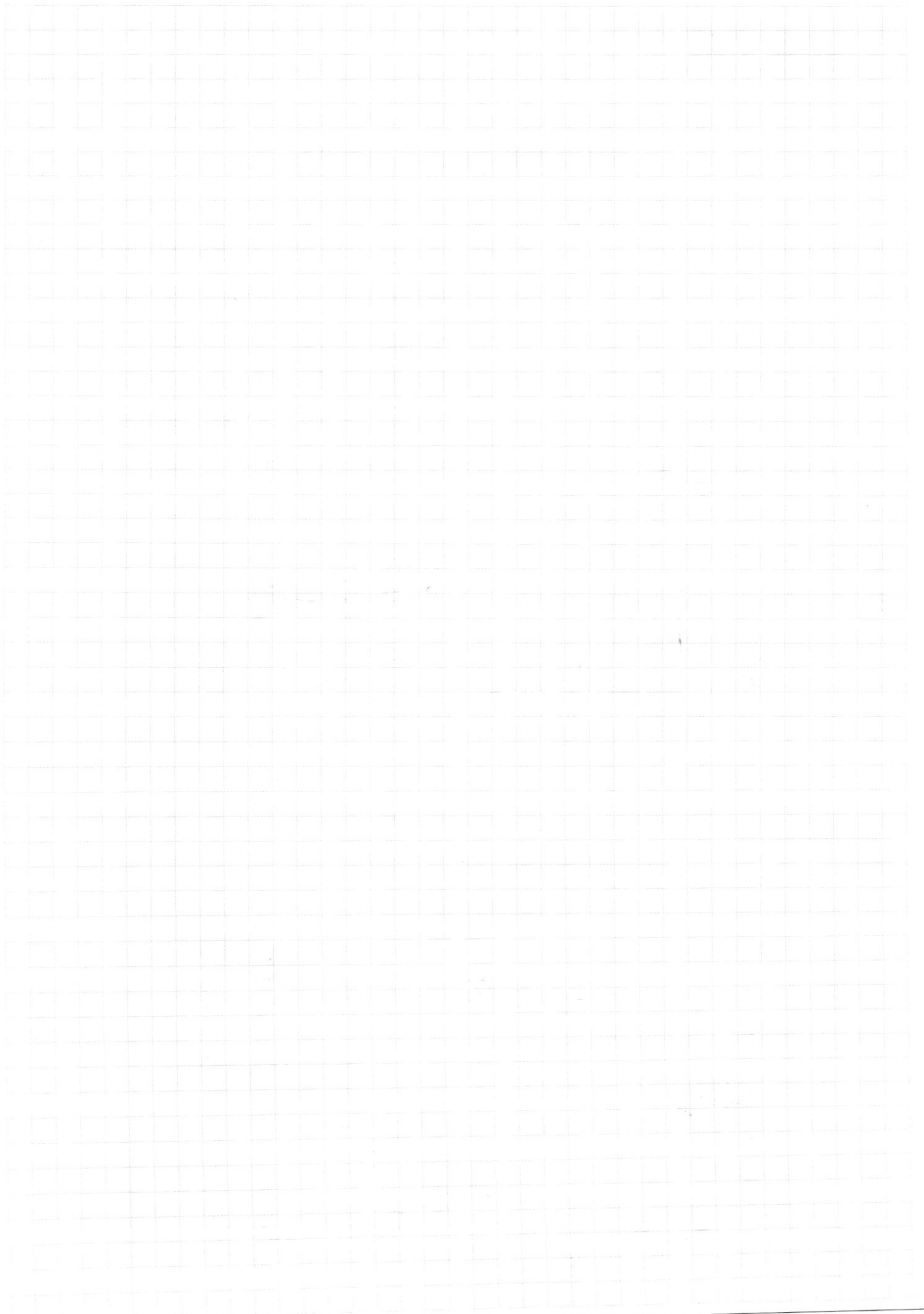
$\delta a = \phi$



$E = 2\pi\sigma r = \frac{\rho R}{\epsilon_0}$

$E = \frac{\rho R}{2\pi\epsilon_0 r}$

$E_{\text{общ}} = \int_{R_2}^R \frac{\rho R}{2\pi\epsilon_0 r} d\varphi = \frac{\rho R}{2\pi\epsilon_0} (1 - \cos\phi)$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

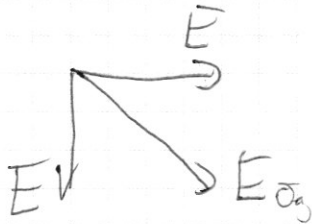
Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

1)  $AB = BC$  и они равноудалены от  $K$

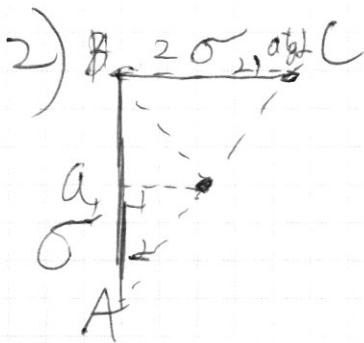
$\sqrt{3}$

$$E_{AB} = E_{BC} = E$$

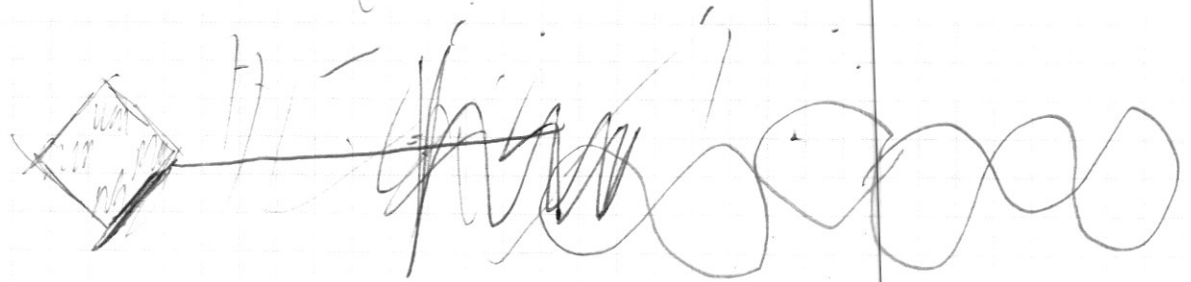


$$E_{\text{общ}} = \sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2} E$$

т. е. увеличится в  $\sqrt{2}$  раз



$$\frac{a \tan \alpha}{2 \sin \alpha}$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)