

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

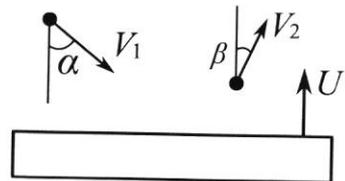
Класс 11

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 α ($\sin \alpha = \frac{1}{2}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

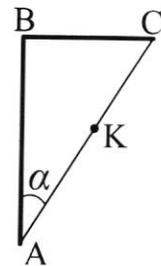


- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

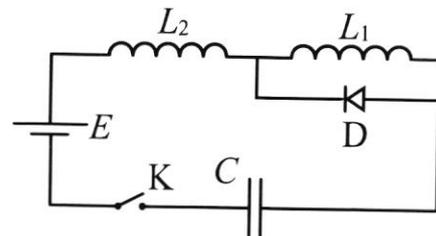
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

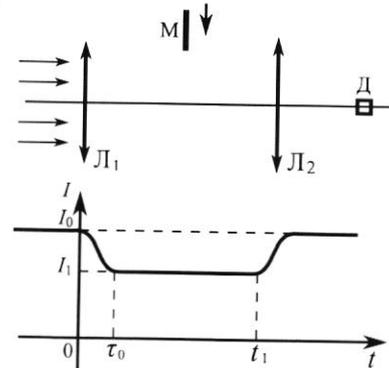
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

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 , τ_0 .

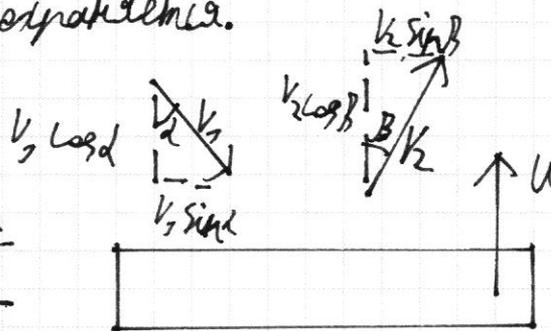
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N7

1) Поскольку поверхность плитки гладкая, горизонтальная проекция скорости шарика сохраняется.

$$v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta;$$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 72 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

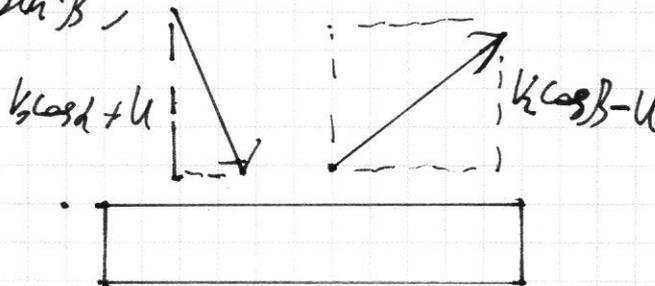


2) Шарик дальше летит вверх, следовательно плитки после удара:

$$v_2 \cos \beta > U;$$

$$U < v_2 \cos \beta; \quad U < v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta};$$

Рисунки движения шарика относительно плитки:



После удара шарик и плитка:

$$v_2 \cos \beta - U < v_1 \cos \alpha + U; \quad 2U > v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha;$$

$$U > \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - v_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{2};$$

$$\frac{v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - v_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{2} < U < v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta};$$

$$U_{\max} = v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = 12\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$U_{\min} = \frac{v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - v_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{2} = \frac{18\sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} - 12\sqrt{1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2}}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} =$$

$$= \frac{12\sqrt{2} - 6\sqrt{3}}{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}) \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}) \frac{\text{м}}{\text{с}} < U < 12\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) $P_1 V_1 = P_2 V_2;$

$$\begin{cases} P_1 = P_2, \\ P_1 V_1 = \nu R T_1, \\ P_2 V_2 = \nu R T_2; \end{cases}$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{350\text{K}}{550\text{K}} = \boxed{\frac{7}{11}}$$

2) Так как сосуды теплоизолированы, $\Delta Q = 0$.

Температура T_3 — ~~какая-то~~ установившаяся температура.

$$\Delta U_{H_2} + \Delta U_{N_2} = 0; \quad \Delta U_{H_2} = -\Delta U_{N_2};$$

$$\nu C_V (T_3 - T_1) = -\nu C_V (T_3 - T_2); \quad T_3 - T_1 = T_2 - T_3;$$

$$T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350\text{K} + 550\text{K}}{2} = \boxed{450\text{K}}$$

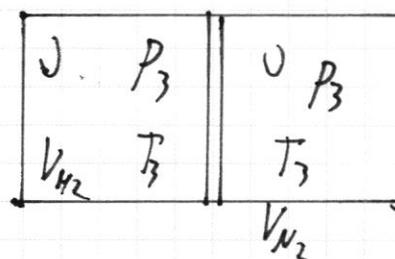
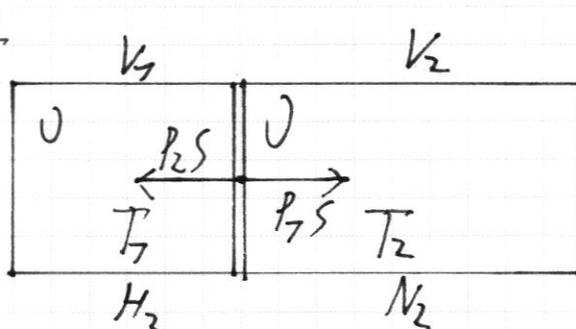
3) $\Delta Q_{H_2} = A_{H_2} + \Delta U_{H_2};$

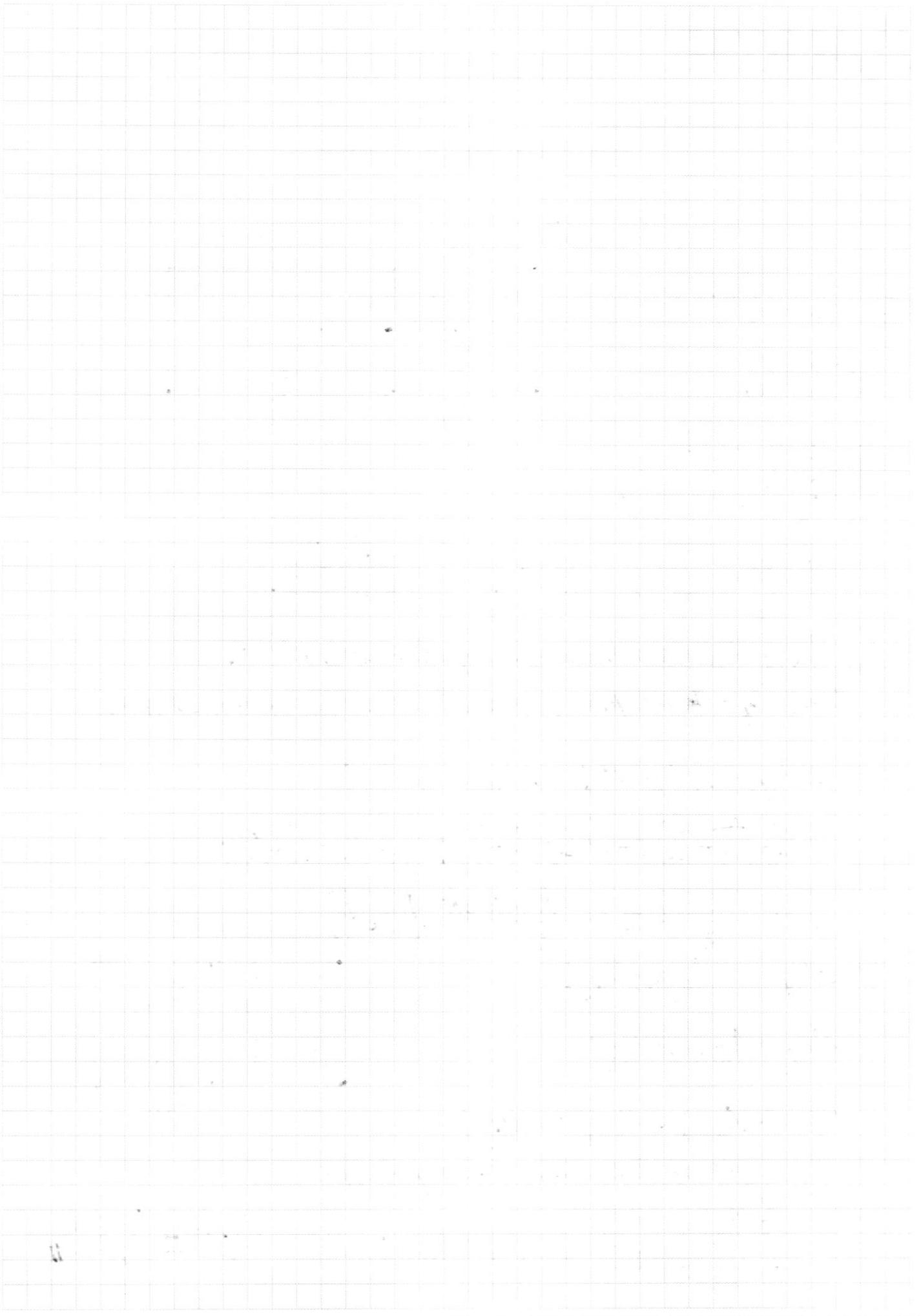
$$\Delta Q_{N_2} = A_{N_2} + \Delta U_{N_2};$$

$$A_{H_2} = -A_{N_2}; \quad \Delta U_{H_2} = -\Delta U_{N_2};$$

При установившейся температуре:

$$\left. \begin{aligned} P_3 V_{H_2} &= \nu R T_3 \\ P_3 V_{N_2} &= \nu R T_3 \end{aligned} \right\} V_{H_2} = V_{N_2}; \quad V_{H_2} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{V_1 + \frac{T_2}{T_1} V_1}{2}$$





черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_{H_2} = V_1 \frac{(1 + \frac{T_2}{T_1})}{2} = V_1 \cdot \frac{T_1 + T_2}{2T_1}; \quad T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1; \quad P_1 = \frac{\nu R T_1}{V_1}$$

$$P_3 V_{H_2} = \nu R T_3; \quad P_3 \cdot V_1 \frac{T_1 + T_2}{2T_1} = \nu R \frac{T_1 + T_2}{2} \quad | : \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$P_3 V_1 \cdot \frac{1}{T_1} = \nu R; \quad P_3 = \frac{\nu R T_1}{V_1} = P_1$$

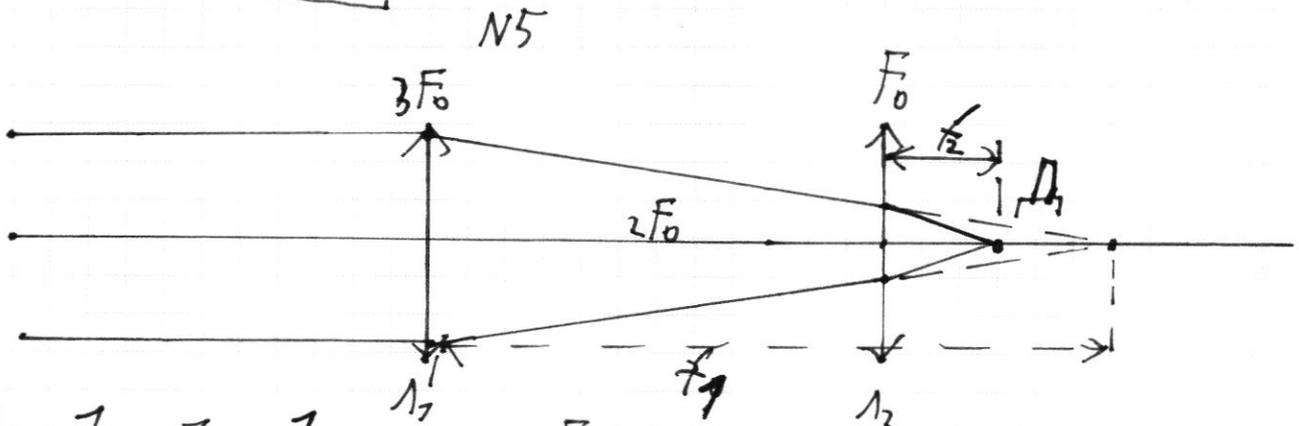
$$\Delta Q_{H_2} = A_{H_2} + \Delta U_{H_2} = P_3 \Delta V_{H_2} + \nu C_V (T_3 - T_1) =$$

$$= P_1 \cdot V_1 \left(\frac{T_1 + T_2}{2T_1} - 1 \right) + \nu C_V \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_1 \right) =$$

$$= \nu R T_1 \left(\frac{T_2 - T_1}{2T_1} \right) + \nu C_V \frac{T_2 - T_1}{2} = \nu \frac{T_2 - T_1}{2} (R + C_V) =$$

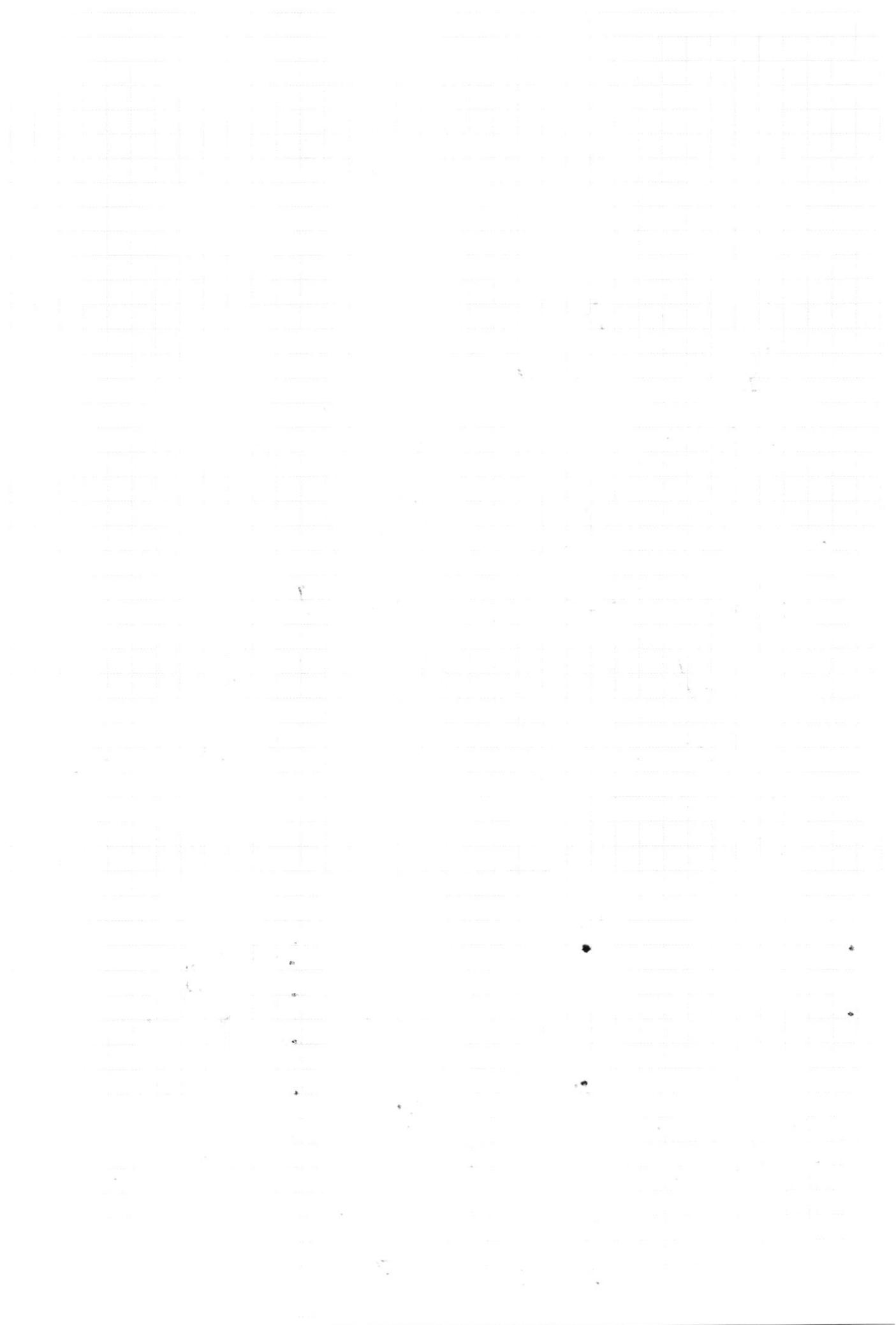
$$= \nu \frac{T_2 - T_1}{2} \cdot \left(R + \frac{5R}{2} \right) = \frac{7}{4} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{7}{4} \cdot \frac{6}{2} \cdot 8,317 \cdot (550 - 350) =$$

$$= \boxed{2493 \text{ (Дж)}}$$



$$1) \quad \frac{1}{3F_0} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{F_1}; \quad f_1 = 3F_0;$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0 - 3F_0} + \frac{1}{f_2}; \quad \frac{1}{f_2} = \frac{2}{F_0}; \quad f_2 = \boxed{\frac{F_0}{2}}$$

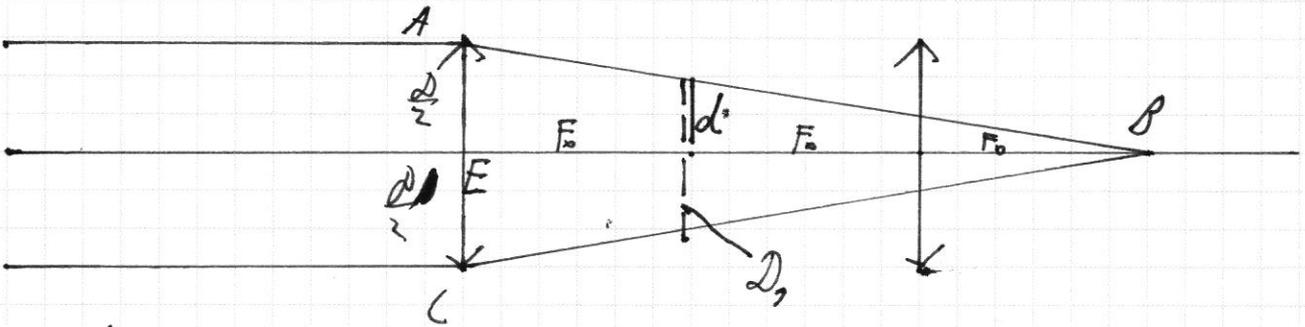


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) $I_{\text{точка}} \sim N_{\text{света}}$; $N_{\text{света}} \sim \Phi_{\text{света}}$; $\Phi_{\text{света}} \sim S_{\text{света}}$ ~~света~~ $S_{\text{света}}$ величина



d - диаметр мнимки;

из подобия Δ : $D_1 = D \cdot \frac{2F_0}{3F_0} = \frac{2}{3}D$

S света в сечении D_1 ;

при I_0 : $S_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$

при $I_1 = \frac{5}{9}I_0$: $S_2 = \frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$

так: $I_{\text{точка}} \sim S_{\text{света}}$

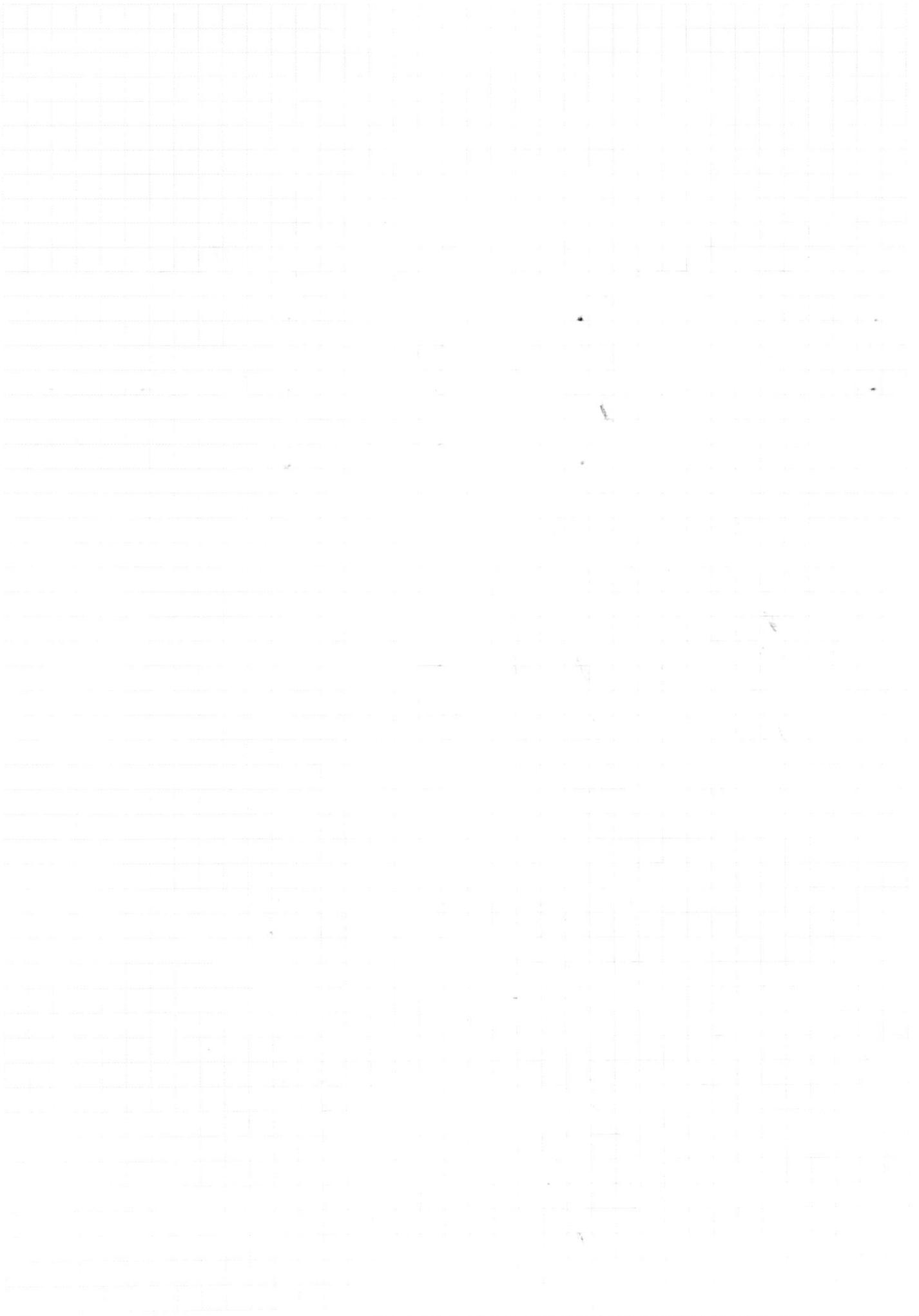
$$\frac{I_0}{\frac{5}{9}I_0} = \frac{\frac{\pi D_1^2}{4}}{\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}}$$

$$\frac{5}{9} \pi D_1^2 = \pi D_1^2 - \pi d^2$$

$$d^2 = \frac{4}{9} D_1^2; \quad d = \frac{2}{3} D_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} D = \frac{4}{9} D$$

$$V = \frac{d}{t_0} = \frac{\frac{4}{9} D}{t_0} = \boxed{\frac{4D}{9t_0}}$$

$$\begin{aligned} 3) \quad t_1 - t_0 &= \frac{D_1 - d}{V}; \quad t_1 = t_0 + \frac{D_1 - d}{V} = t_0 + \frac{\frac{2}{3}D - \frac{4}{9}D}{\frac{4D}{9t_0}} = \\ &= t_0 + \frac{7}{2} t_0 = \boxed{\frac{9}{2} t_0} \end{aligned}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

1) $E \sim \frac{1}{r^2}$

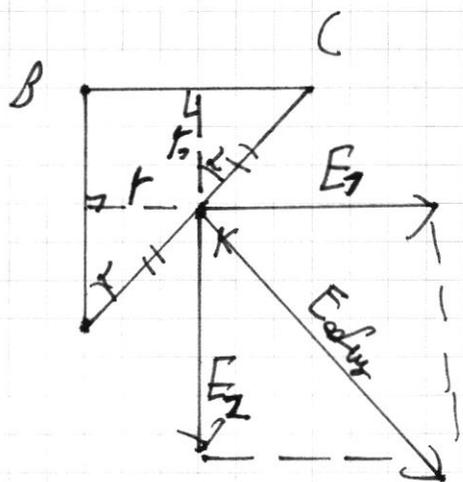
$AK = KC;$
 $\frac{r}{\sin \alpha} = \frac{r_2}{\cos \alpha}$

$r_2 = r \operatorname{ctg} \alpha;$

$E_2 = E_1 \cdot \frac{r^2}{r_2^2} = \frac{r^2}{r^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha} = E_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha;$

$E_{\text{общ}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = E_1 \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = E_1 \operatorname{ctg} \alpha$

$\frac{E_{\text{общ}}}{E_2} = \frac{E_1 \operatorname{ctg} \alpha}{E_1 \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg}^3 \alpha} = \sqrt{2} \approx 1,41$



2) $E = \frac{kq}{r^2}, \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}; \quad \delta = \frac{q}{s}; \quad q = \delta s; \quad E = \frac{k\delta s}{r^2}$

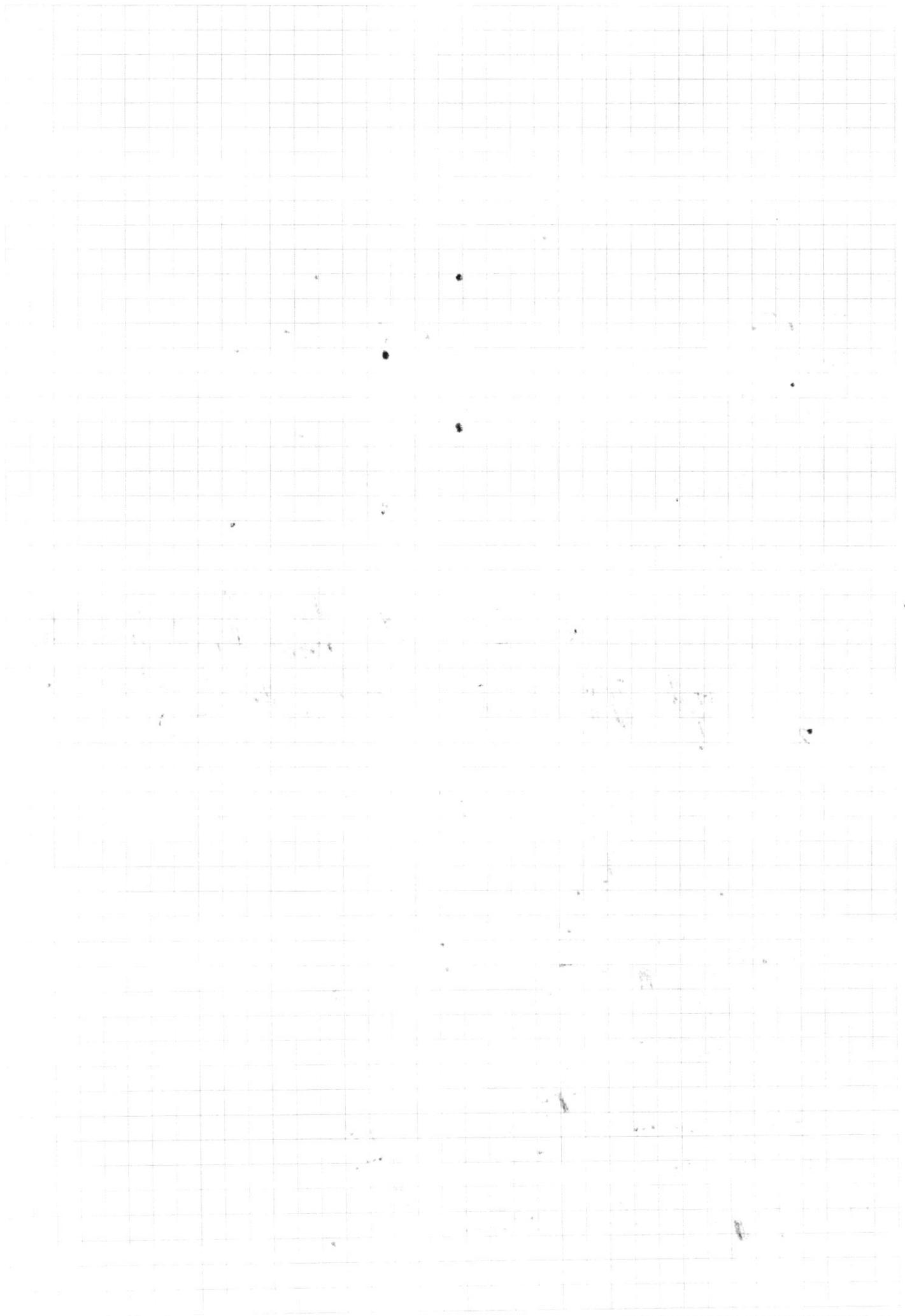
~~Емкост. Коэф.~~

$E_1 = \frac{0,3\delta}{2\epsilon_0}; \quad E_2 = \frac{\delta}{2\epsilon_0}; \quad E_{\text{общ}} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} =$
 $= \sqrt{\frac{9\delta^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\delta^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\delta \sqrt{10}}{2\epsilon_0} \approx 1,6 \frac{\delta}{\epsilon_0}$

№4

1) ~~Е = kq/r^2 + kq/r^2~~

2) ~~Е_общ = E_1 + E_2~~



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

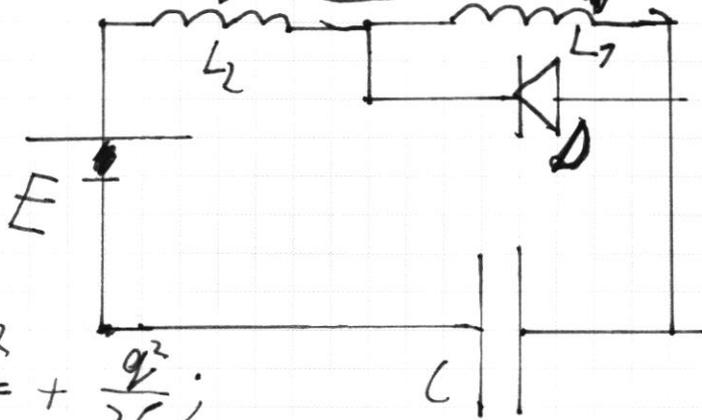
Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1) T = \frac{t_2}{2} + \frac{t_3}{2} = \frac{2\sqrt{L(\sqrt{L_1+L_2})C}}{2} + \frac{\sqrt{L_2C}}{2}$$

$$= \pi\sqrt{7LC} + \pi\sqrt{3LC} = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$$

2)



$$E q = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{q^2}{2C};$$

$$q(E - \frac{q}{2C}) = \frac{L_1 I_1^2}{2};$$

$$W_2(q) = \frac{L_1 I_1^2}{2}(q) = E q - \frac{q^2}{2C};$$

$$W_2'(q) = E - \frac{q}{C}; \quad W_2' = 0; \quad E = \frac{q}{C}; \quad q = EC.$$

$$\frac{L_1 I_1^2}{2} = E \cdot EC - \frac{E^2 C^2}{2C}; \quad I_m = \sqrt{\frac{E^2 C}{L_1}}$$

$$= E \sqrt{\frac{C}{4L_1}} = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{C}{L_1}}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

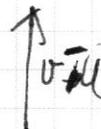
Криволинейная поверхность
 Находим \vec{v} и \vec{a} шарика, криволинейная проекция
 скорости \vec{v} шарика соприкосновения.

$$V_2 \cos \beta - u < V_1 \cos \alpha + u;$$

$$V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha < +2u;$$

$$u > \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = \frac{12\sqrt{2} - 6\sqrt{3}}{2}$$

$$u \rightarrow 0 \downarrow$$



$$\Delta Q_{12} = P_2 V_{12} + \Delta U_{12} = P$$

$$P_2 V = P \cdot \left(\frac{V_2 + \frac{2}{\sqrt{2}} V_1}{2} - V_1 \right) =$$

$$= P \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{2}} V_1 \right)$$

$$P_2 V = P \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} V_1$$

$$P_2 V \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} = 0.4 \cdot 450; \quad V_2 = \frac{0.4 \cdot 450}{2}$$

$$P_2 V_2 = 0.4 \cdot 450$$

$$P_2 V_2 = 0.4 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{2} = \frac{2\sqrt{2}}{2}$$

$$V_2 = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{V_1 + \frac{2}{\sqrt{2}} V_1}{2} = V_1 \cdot \frac{1 + \frac{2}{\sqrt{2}}}{2} = V_1 \cdot \frac{1 + \sqrt{2}}{2}$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

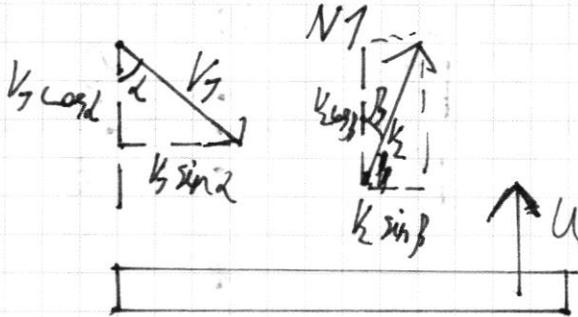
$$P_3 V_3 = \nu R T_3 = \nu R \frac{T_2 + T_3}{2}; \quad V_3 = \frac{V_2 + \frac{T_2 + T_3}{T_2} V_2}{2} = \frac{V_2}{2} \left(1 + \frac{T_2 + T_3}{T_2} \right) = \frac{T_2 + T_3}{2} \frac{V_2}{T_2}$$

~~...~~

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} \cdot \frac{V_2}{V_3} = \frac{T_2}{T_3} \cdot \frac{T_2}{T_2 + T_3} \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

13
1) $\sqrt{2}$



$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos \beta = \sqrt{\frac{8}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

1) $k \sin \alpha = k \sin \beta$

$$k_2 = \frac{k \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \frac{\mu}{\text{C}}$$

МТМ \downarrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow

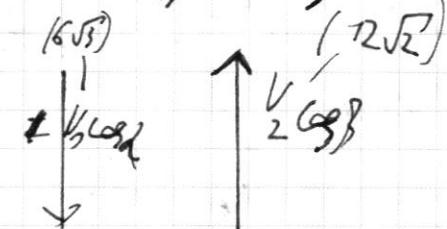
$$-k \cos \alpha + 2U = k_2 \cos \beta$$

$$U = \frac{12\sqrt{2} + 6\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{2} + 3\sqrt{3}$$

$U > 6\sqrt{2} + 3\sqrt{3}$

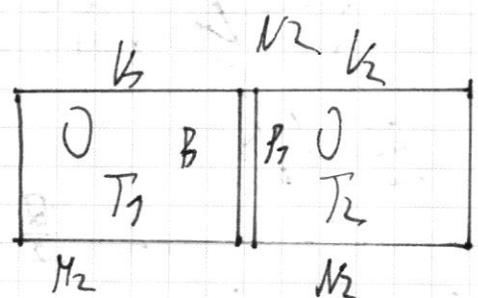
$U < k_2 \cos \beta = 12\sqrt{2}$

2)



$$M_U - m k \cos \alpha = M_U + m k_2 \cos \beta$$

$$M_U = m(k \cos \alpha + k_2 \cos \beta)$$



3C7

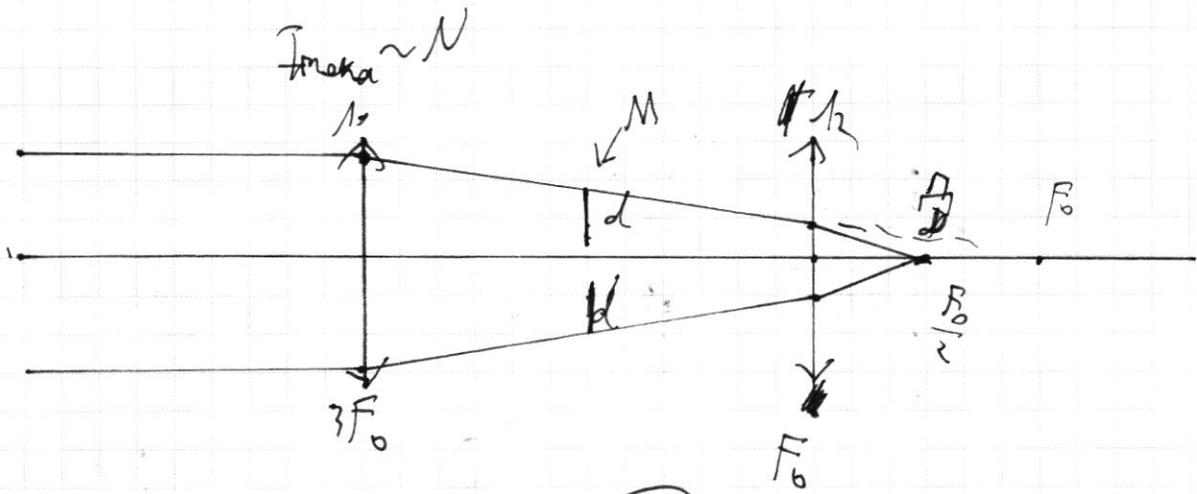
$$\omega = \frac{5R}{L}$$

$$P_{T_1} = I \cdot R \cdot T_1 \quad 1) \frac{U_1}{U_2} = \frac{R}{L} = \frac{35}{55} = \frac{7}{11}$$

$$P_{T_2} = I \cdot R \cdot T_2 \quad 2) 0(\omega T_1 T_2) = 0(\omega(T_2 - T_1)); T_3 = 75 \text{ ok}$$

$$3) Q = \omega U_1 = 0 \omega(T_3 - T_1) = \frac{5 \cdot 36}{2} \cdot 100 \cdot 0,77$$

$$I = \frac{D n l}{c \cdot m^2}; \quad NT$$



$$\frac{7}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{3}{F}; \quad \frac{1}{F} = \frac{2}{F_0}; \quad \left(f = \frac{F_0}{2} \right)$$

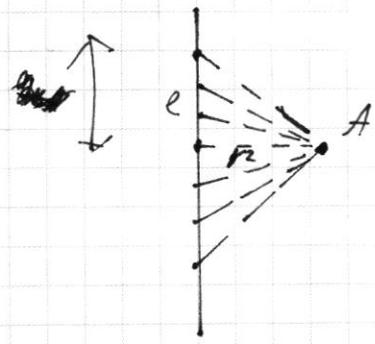
$$\frac{5}{9} \cdot \frac{\pi d_n^3}{4} = \frac{\pi d_n^3}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{5}{9} d_n^3 = d_n^3 - d^2; \quad d^2 = \frac{4}{9} d_n^3; \quad d = \frac{2}{3} d_n$$

$$d_n = \frac{2}{3} D; \quad d = \frac{4}{9} D$$

$$2) \quad V = \frac{d}{\tau_0}; \quad I_{mech} \sim N^2$$

$$\Delta r = d_n - d = \frac{2}{3} D - \frac{4}{9} D = \frac{2}{9} D; \quad N3$$

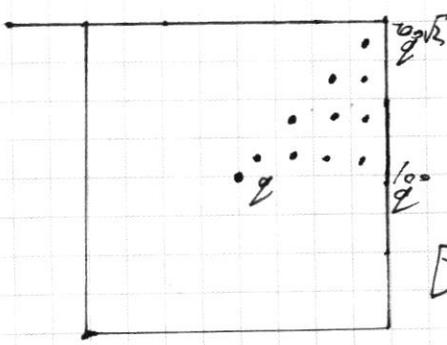
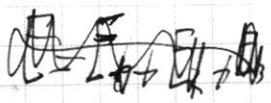


$$k = \frac{7}{9 \pi \epsilon}$$

$$\sigma = \frac{Q}{S}; \quad \sigma = \sigma_0$$

$$E = \frac{k Q}{r^2}$$

$$E_0 = \frac{k Q}{r^2} = \frac{k \sigma S}{r^2}$$



$$E(r) =$$

$$= E_0 \cdot \frac{r^2}{r^2 + e^2}$$

$$E_0 = \frac{k \sigma S}{r^2}$$

$$\frac{3}{2} \cdot 0,37 \cdot 200 = 300 \cdot 0,37$$

$$\frac{300 \cdot 0,37}{2493}$$

$$\begin{array}{r} \times 35 \\ 35 \\ \hline 705 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 705 \\ 7225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 32 \\ 32 \\ \hline 164 \\ +96 \\ \hline 1024 \end{array}$$

$$AB = k \cdot l$$

$$\frac{E_1}{\sin \alpha} = \frac{E_2}{\cos \alpha}$$

$$E_2 = E_1 \cdot \cos \alpha$$

$$E = \frac{k \cdot q}{r^2}$$

$$E = \frac{k \cdot d}{2 \cdot r^2} = \frac{d}{2 \cdot r^2}$$

$$r = \frac{k \cdot q}{E}, \quad E = \frac{k \cdot q}{r^2}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}$$

$$E(r) = \frac{k \cdot d}{r^2 + l^2}$$

$$\sin \alpha = \frac{l}{r}$$

$$E(r) = k \cdot d \cdot \frac{2 \cdot l \cdot r}{r^2 + l^2}$$

$$E_{\text{ср}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{2 \cdot l \cdot r}{r^2 + l^2} \cdot \frac{d\Omega}{4\pi} = 2 \cdot k \cdot d \cdot \pi \cdot l \cdot \int_0^{\infty} \frac{dr}{r^2 + l^2} = k \cdot d \cdot l \cdot \frac{1}{l} = k \cdot d$$

$$\frac{1}{a+b} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a+b}$$

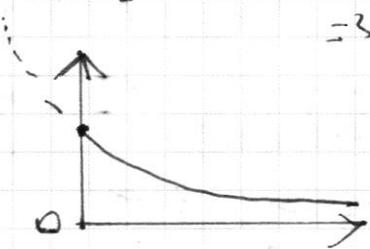
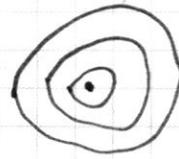
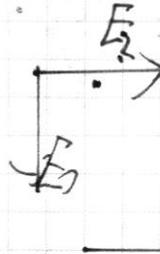
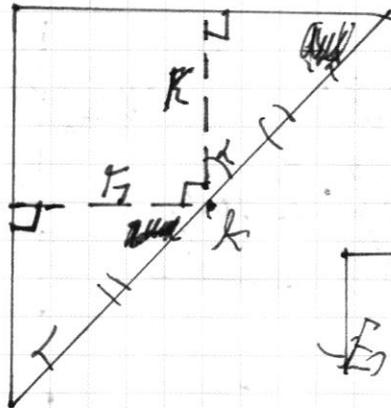
$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{q}{u^2} = \frac{q}{\epsilon_0 \cdot u^2}$$

N3

β

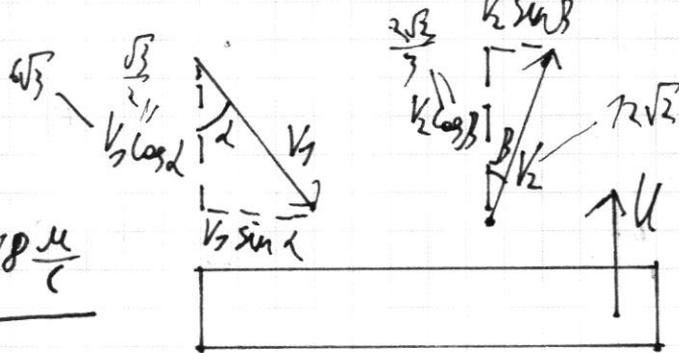
E_1

E_2

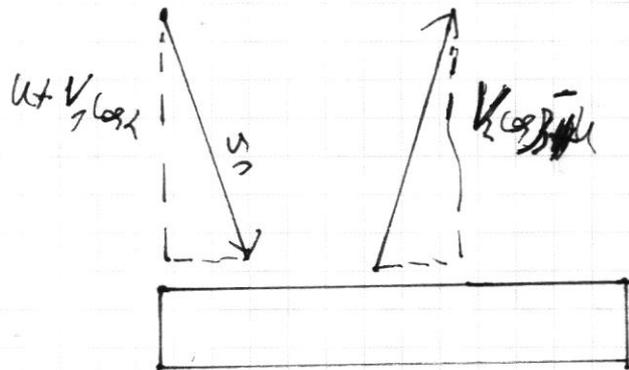


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) $V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta;$
 $V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{72 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{3}}{\frac{1}{3}} = 72 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



2) $u + V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta + u + d$
 ~~$V_1 \cos \alpha - V_2 \cos \beta = d$~~



~~$u + V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta + u + d$~~
 $-V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta = d$

$dV = V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta$

$u + V_1 \cos \alpha = V_2 \cos \beta - u + d$

$2u = V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha + d$

$u = \frac{m(V_1 \cos \alpha + d)^2}{2} = \frac{m(V_2 \cos \beta - d)^2}{2} + Q; \quad | \cdot \frac{2}{m}$

$(V_1 \cos \alpha + d)^2 - (V_2 \cos \beta - d)^2 = \frac{2Q}{m}$

$(V_1 \cos \alpha + d - V_2 \cos \beta + d)(V_1 \cos \alpha + d + V_2 \cos \beta - d) = \frac{2Q}{m}$

$V_1 \cos \alpha + 2d - V_2 \cos \beta = \frac{2Q}{m(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)}$

$u = \frac{Q}{m(V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta)} + \frac{V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta}{2}$

$u_{\min} = \frac{-V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta}{2} = \frac{-6\sqrt{3} + 72\sqrt{3}}{2} = -3\sqrt{3} + 36\sqrt{3} = -5,2 + 84 = 32,8$

6,34 ≈ 84

3,7 ≈ 52