

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

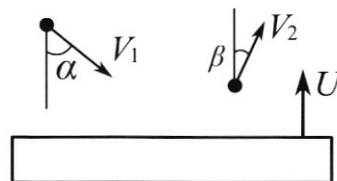
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

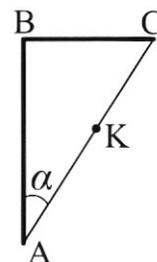


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ 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 гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

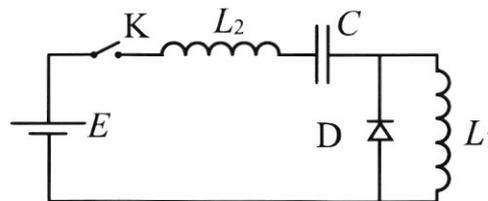
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

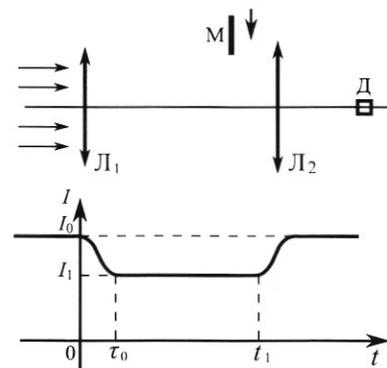
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, 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_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 F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.



- 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

1

Перейдём в СО плиты т.к. в ней работа сил реакции опор равна 0

$V_1 = 6 \frac{м}{с}$
 $\sin \alpha = \frac{2}{3}$
 $\sin \beta = \frac{1}{3}$

1) V_2 - ?
 2) U - ?

В СО Земли:

В СО плиты:

$V_{1y} = V_1 \cos \alpha$
 $V_{2y} = V_2 \cos \beta$

$\Rightarrow V_{x1} = V_{x2} = V_x$
 $V_{x1} = V_1 \sin \alpha$
 $V_{x2} = V_2 \sin \beta$

$\Rightarrow V_1 \sin \alpha = V_2 \sin \beta$
 $\Rightarrow V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12 \frac{м}{с}$

т.к. поверхность плиты гладкая, при ударе ($F_{тр} = 0$) сохраняется горизонтальная проекция скорости

перейдём в СО плиты т.к. в ней работа сил реакции опор равна 0

т.к. удар не упругий, то при ударе сохраняется не вся вертикальная проекция скорости $\Rightarrow V_{2yотп} \in (0; V_{1yотп})$ (вертикальная проекция скорости после удара в СО плиты)

$V_{2y} = V_{2yотп} + U$
 $V_2 \cos \beta = V_{2yотп} + U$

где U_{min} :

$V_2 \cos \beta = V_{1yотп} + U_{min}$
 $V_2 \cos \beta = V_1 \cos \alpha + U_{min}$
 $\Rightarrow U_{min} = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{1} = \frac{1}{6} (12 \cdot \frac{1}{3} - 6 \cdot \frac{2}{3})$
 $U_{min} = 4\sqrt{2} - \sqrt{5}$

Для U_{max} :

$$V_2 \cos \beta = 0 + U_{max}$$

$$U_{max} = V_2 \cos \beta = 12 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} = 8\sqrt{2}$$

U_{max} не включается,
потому что шарик
отскочит, а U_{min}
не включается, потому
что шар не застрял.

$$\Rightarrow U \in (U_{min}; U_{max}) \quad U \in (4\sqrt{2} - \sqrt{2}; 8\sqrt{2})$$

Ответ: 1) $12 \frac{m}{c}$
2) $U \in (4\sqrt{2} - \sqrt{2}; 8\sqrt{2})$

✓ 2

$$\nu = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

$$j = 3$$

$$T_1 = 330 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

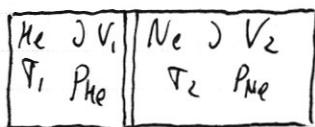
$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

1) $\frac{V_1}{V_2} = ?$

2) $T = ?$

3) $Q_{He} = ?$

1)



из зр. Менделеев-Клайперона:

$$P_{He} = \frac{\nu R T_1}{V_1}$$

$$P_{He} = \frac{\nu R T_2}{V_2}$$

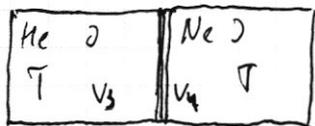
т.к. процесс медленный, то
он равновесный и
 $P_{He} = P_{He} = P$
на протяжении всего
процесса.

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

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

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = 0,75 \Rightarrow V_1 = \frac{3}{4} V_2$$

2)



$$P_{He} = \frac{\nu R T}{V_3} \quad P_{He} = \frac{\nu R T}{V_4}$$

$$\Rightarrow V_3 = V_4 = V$$

$$V_{соед} = V_1 + V_2 = V_3 + V_4$$

$$\frac{7}{4} V_2 = 2V$$

$$V = \frac{7}{8} V_2$$

По 1^ю зак 1^а термодинамики

для He + Ne:

$$Q = \Delta U_{He} + \Delta U_{Ne} + A_{He} + A_{Ne}$$

$$Q = 0 \quad (\text{сосуд теплоизолирован})$$

$$\Rightarrow 0 = \Delta U_{He} + \Delta U_{Ne}$$

$$\Delta U_{He} = \frac{1}{2} \nu R (T - T_1)$$

$$\Delta U_{Ne} = \frac{1}{2} \nu R (T - T_2)$$

т.к. суммарный объем
газов не изменяется
 $A_{He} = -A_{Ne}$

$$\frac{1}{2} \nu R (T - T_1) + \frac{1}{2} \nu R (T - T_2) = 0$$

$$T - T_1 + T - T_2 = 0$$

$$2T = T_1 + T_2$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{440 + 330}{2} = 385 \text{ K}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

По В зак. термодинамики для Ne:

$$Q_{Ne} = \Delta U_{Ne} + A_{Ne}$$

$$A_{Ne} = p \Delta V = p(V - V_2) = pV - pV_2$$

по зр. М-К: $pV = \nu R T$
 $pV_2 = \nu R T_2$

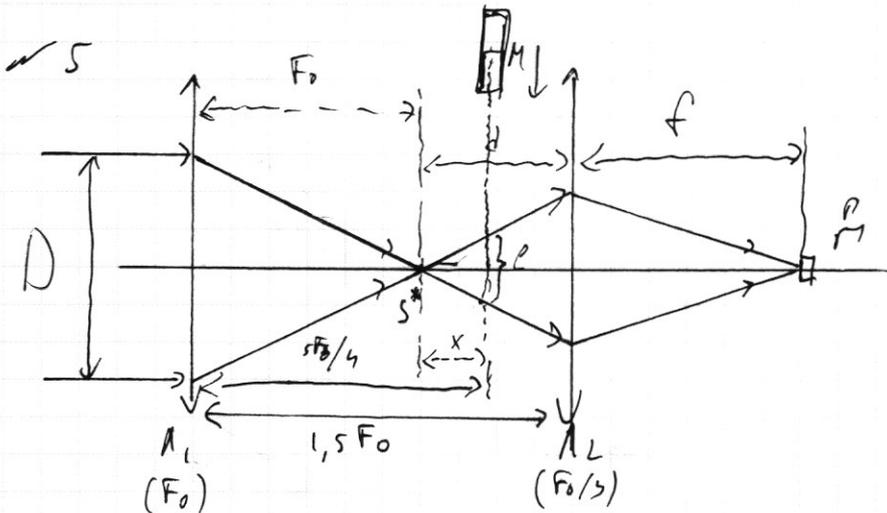
$$\Rightarrow A_{Ne} = \nu R (T - T_2)$$

$$\Rightarrow Q_{Ne} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) + \nu R (T - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (T - T_2)$$

$$\Rightarrow -Q_{Ne} = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T) = \frac{5}{2} \frac{6}{25} \cdot (440 - 385) = 8,31 =$$

$$= 33 \cdot 8,31 = 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 0,75
2) 385 K
3) 274,23 Дж



т.к. лучи лучи
параллельны глав.
опт. осн, то
преломлясь в L_1 ,
они пройдут через
ее фокус.

\Rightarrow Лучи в точке S^*
"изобразили лучки"
где $L_2 \neq f \Rightarrow d = 0,5 F_0$
 $\Rightarrow 0,5 F_0 > F_0/3 \Rightarrow$ изобразе-
ние действительное,
перевернутое

ℓ - гол шикс лучка, там, где
он перекрывает мишень

$$\Rightarrow \text{из подобия } \frac{D}{F_0} = \frac{\ell}{x}$$

$$x = \frac{5F_0}{4} - F_0 = \frac{1}{4} F_0 \Rightarrow \frac{D}{F_0} = \frac{4\ell}{F_0} \Rightarrow \ell = \frac{1}{4} D$$

$$\Rightarrow \frac{1}{F_0/3} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{F_0} - \frac{1}{0,5F_0} = \frac{1}{F_0}$$

$$\Rightarrow \underline{f = F_0}$$

П.к сила тока \sim Мощность на фотодетекторе,
 а интенсивность в центре пучка одинакова
 (Мощность \sim ^{сечение} ~~и радиус~~ на детектор пучка)

то $\frac{S}{S_1} = \frac{I_0}{I_1} = \frac{9}{8}$, где S - площадь всего пучка на расстоянии $\frac{5F_0}{4}$ от L_1 ,

$S = \pi \left(\frac{l}{2}\right)^2$

$S_1 = \pi \left(\frac{l}{2}\right)^2 - \pi r^2$, где r - радиус M .

S_1 - площадь пучка на r . $\frac{5F_0}{4}$ от L_1 , когда мишень полностью освещена

$\Rightarrow \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - r^2} = \frac{9}{8}$

$2l^2 = \frac{9}{4}l^2 - 9r^2$

$9r^2 = \frac{1}{4}l^2$

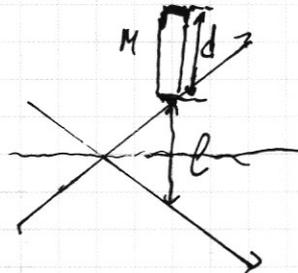
$r^2 = \frac{1}{36}l^2$

$r = \frac{1}{6}l$

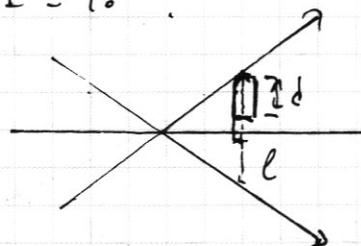
$d = 2r = \frac{1}{3}l$

Расположение мишени относительно краевых лучей пучка в разные моменты времени:

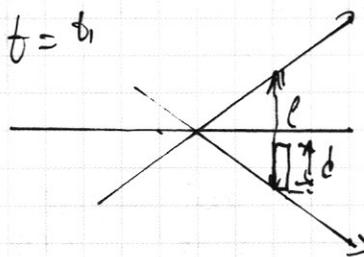
1) $t = 0$



2) $t = \tau_0$



3) $t = t_1$



\Rightarrow от 0 до τ_0

Мишень прошла путь $S_1 = d = \frac{1}{3}l$

$\Rightarrow v = \frac{\frac{1}{3}l}{\tau_0} = \frac{D}{12\tau_0}$

\Rightarrow от 0 до t_1

Мишень прошла путь $S_2 = S_1 + l - d = d + l - d = l$

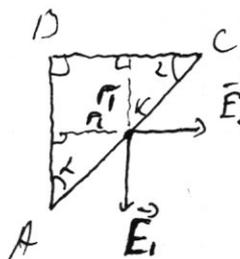
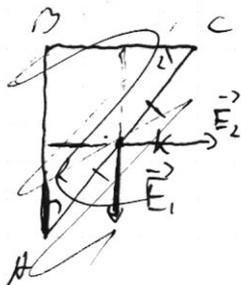
$\Rightarrow t_1 = \frac{S_2}{v} = \frac{l}{\frac{D}{12\tau_0}} = \frac{l \cdot 12\tau_0}{D} = 4\tau_0$

Ответ: ~~1) F_0~~ 1) F_0 2) $\frac{D}{12\tau_0}$ 3) $4\tau_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$



r_1 и r_2 - расстояния от K до плоскостей BC и AB соот.
 r -к $\alpha = \frac{\pi}{4}$
 то о ABC - равноб.
 $\Rightarrow r_1 = r_2$.

r -к поверхности плоскости зарядов плоскостн
 огибающей $r_1 = r_2$
 то $|\vec{E}_1| = |\vec{E}_2| = |\vec{E}|$

$$\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2 \text{ тк } AB \perp BC.$$

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1$$

E_0 - напряженность в точке K до заряда AB .

$$\vec{E}_n = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

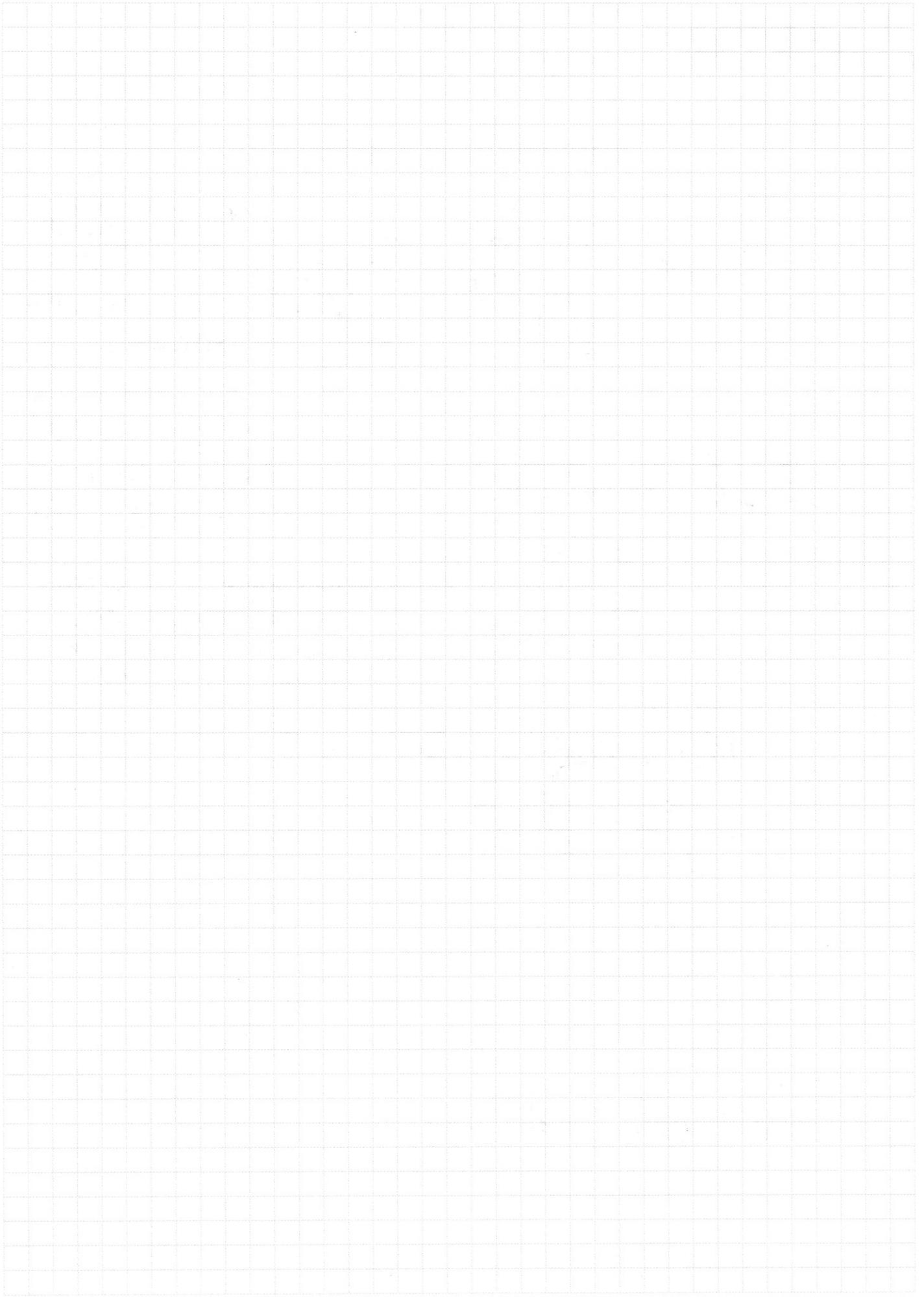
E_n - напр. в точке K после заряда AB

$$|\vec{E}_0| = E$$

$$|\vec{E}_n| = \sqrt{|\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2} = \sqrt{2E^2} = E\sqrt{2}$$

$$\Rightarrow \frac{|\vec{E}_n|}{|\vec{E}_0|} = \frac{E\sqrt{2}}{E} = \sqrt{2} \approx 1,41$$

Ответ: ~~1,41~~ $\sqrt{2} \approx 1,41$

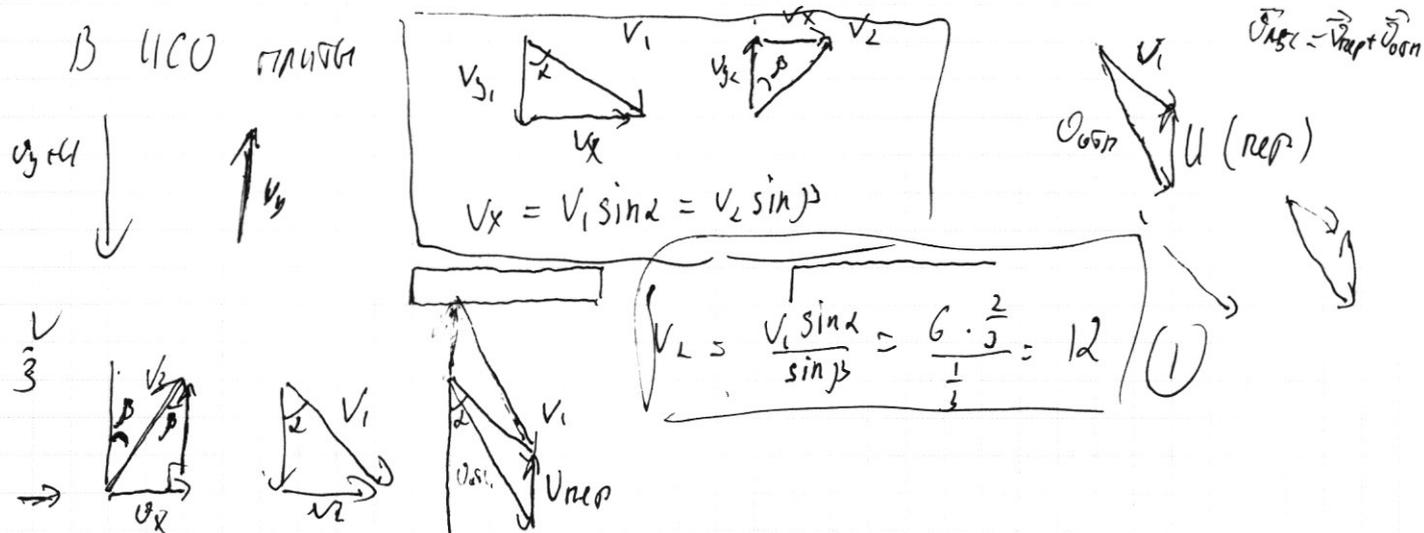


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

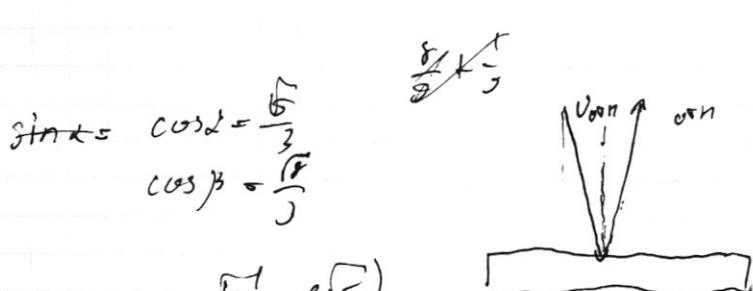
Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

Handwritten scribbles on a grid background, consisting of several wavy lines and a more complex, stylized mark.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$V_x = V_2 \sin \beta$
 $V_x = V_1 \sin \alpha$
 $V_2 \sin \beta = V_1 \sin \alpha$
 $V_2 = \frac{V_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{6 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12$ (1)



$U = \frac{1}{6} (12 \sqrt{3} - 6 \sqrt{5})$
 $U = \frac{2\sqrt{3} - \sqrt{5}}{2 \cdot 2 \cdot 12} = \frac{2\sqrt{3} - \sqrt{5}}{24}$

2) $V_{\text{ИСО}} = \sqrt{(V_1 \cos \alpha + U)^2 + V_x^2} = \sqrt{(V_2 \cos \beta - U)^2 + V_x^2}$

$2U (V_1 \cos \alpha + V_2 \cos \beta) = (V_2 \cos \beta)^2 - (V_1 \cos \alpha)^2$

$2U (V_1 \cos \alpha - V_1 \cos \alpha) (V_1 \cos \alpha + V_1 \cos \alpha) = (V_2 \cos \beta)^2 - (V_1 \cos \alpha)^2$

$2U = \frac{V_2 \cos \beta - V_1 \cos \alpha}{2} = 12$

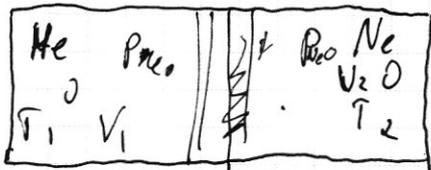
черновик чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № _____
(Нумеровать только чистовики)

P

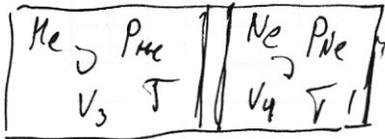
$$i_1 = i_2 = i = 3$$



$$P_{He} = P_{Ne} = P$$

$$P_{He} = \frac{\partial R T_1}{V_1}$$

$$P_{Ne} = \frac{\partial R T_2}{V_2}$$



$$\frac{\partial R T_1}{V_1} = \frac{\partial R T_2}{V_2}$$

$$\frac{330}{440} = \frac{RT}{RT}$$

$$P_{He} = P_{Ne}$$

$$P_{He} = \frac{\partial R T}{V_3}$$

$$P_{Ne} = \frac{\partial R T}{V_4}$$

$$V_3 = V_4 = V$$

$$\frac{\partial R 385}{\frac{7}{8} V_2} = \frac{\partial R 440}{V_2}$$

$$V_2 V_1 = V_1 V_2$$

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

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

$$= \frac{330 K}{440 K} = \frac{110 \cdot 3}{140 \cdot 4} = \frac{3}{4} \sqrt{50,25}$$

①

$$V_1 = \frac{330}{440} V_2 = \frac{3}{4} V_2$$

$$\frac{440}{385} = \frac{4}{5}$$

$$V_3 = V_3 + V_4 = V$$

$$V_2 = V_1 + V_2 = \frac{7}{4} V_2$$

$$2V_3 = \frac{7}{4} V_2$$

$$V = \frac{7}{8} V_2$$

$$V_2 = \frac{8}{7} V$$

$$\partial R T_1 = P_0 V_1$$

$$\partial R T = P V$$

$$\frac{P_0 V_1}{T_1} = \frac{P V}{T}$$

$$\frac{8}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 55 \cdot 8,315 =$$

$$\times 8,31$$

$$\frac{27,33}{27,423}$$

$$A_{He} = -A_{Ne}$$

$$\frac{27,93}{27,423}$$

$$\frac{27,423}{27,423}$$

$P = \text{const}$

$$Q = \Delta U_{He} + \Delta U_{Ne} + A_{He} + A_{Ne}$$

$PV = \text{const}$

$$0 = \Delta U_{He} + \Delta U_{Ne}$$

$$\Delta U_{He} = -\Delta U_{Ne}$$

$$-Q = \Delta U + A$$

$$V_2 - V_1$$

$$-Q = -\frac{3}{2} \partial R (T_2 - T_1) + P_0 V$$

$$Q = \frac{3}{2} \partial R (T_2 - T_1) + \frac{1}{8} P V_2$$

$$Q = \frac{3}{2} \partial R (T_2 - T_1) + \frac{1}{8} \partial R P_0 V_2$$

$$Q = \frac{3}{2} \partial R T_2 - \frac{3}{2} \partial R T_1 + \frac{1}{8} \partial R P_0 V_2$$

$$Q = \frac{3}{2} \partial R (T_2 - T_1) + \frac{1}{8} \partial R P_0 V_2$$

$$\Delta U_{He} = \frac{3}{2} \partial R (T - T_1) = \frac{3}{2} (\partial R T - \partial R V_1) = 27,423$$

$$= \frac{3}{2} (P V - P_0 V_1)$$

$$\frac{3}{2} \partial R (T - T_1) = \frac{3}{2} \partial R (T_2 - T_1)$$

$$T - T_1 = T_2 - T_1$$

$$2T = T_2 + T_1$$

$$T = \frac{T_2 + T_1}{2} = 385$$

черновик чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 2

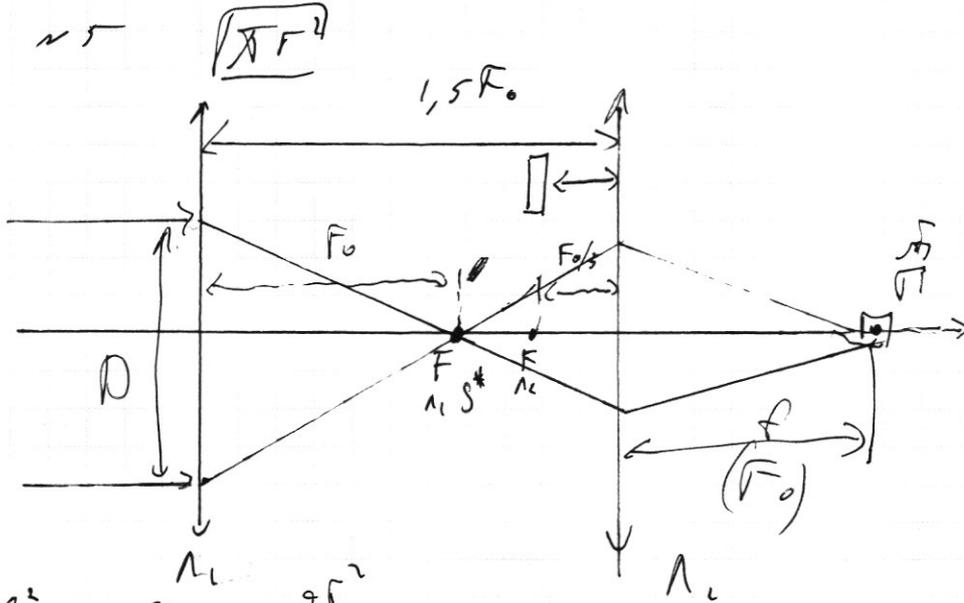
(Нумеровать только чистовики)

$$-A = P(V_2 - V_1) = P V_2 - P V_1 = \partial R P_0 V_2 - \partial R P_0 V_1$$

$$\frac{8}{2} \cdot \frac{6}{25} \cdot 55 \cdot 8,315 =$$

$$\frac{440 \cdot 385}{55}$$

$\frac{1}{\frac{1}{4}} - 2 = \frac{4}{1} - 2 = \frac{2}{1} = 2$ ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{1}{0.5F_0} + \frac{1}{f} = \frac{3}{F_0}$$

$$\frac{2}{F_0} + \frac{1}{f} = \frac{3}{F_0}$$

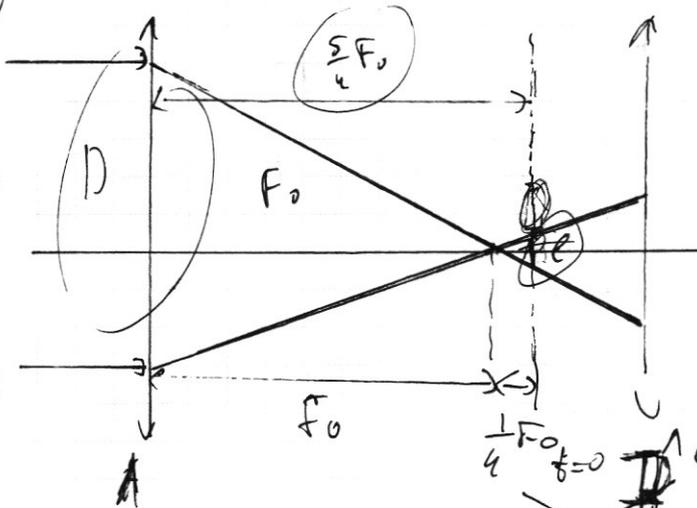
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}$$

$$\frac{l^2}{4} = \frac{l^2}{4} \cdot 9 = 9 \frac{l^2}{4}$$

$S^* \rightarrow$ действительное изображение для L_2

$$\sqrt{\frac{1}{4 \cdot 2} l^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} l = \frac{1}{6} l \quad \frac{1}{\frac{F_0}{3}} = \frac{1}{0.5F_0} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F_0}$$



$f = F_0$

$$\frac{D}{l} = \frac{F_0}{\frac{2}{4} F_0 - F_0} = \frac{2 F_0}{\frac{1}{4} F_0} = 4$$

$l = \frac{1}{4} D$

$$\frac{S_{\text{в.п.}}}{S_{\text{г.п.}}} = \frac{I_0}{I_1} = \frac{S_0}{\frac{8}{5} S_0} = \frac{9}{8}$$

$S_{\text{в.п.}} \propto l^2 \quad S_{\text{г.п.}} \propto r^2$

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} D = \frac{1}{12} D$$

$$S_1 = l - r = l \left(1 - \frac{1}{3}\right)$$

$$S_2 = r$$

$$\frac{r^2}{8} = \frac{8l^2}{9} \quad r = \frac{8l}{3}$$

$$\frac{S_2}{S_0} = \frac{8}{9}$$

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

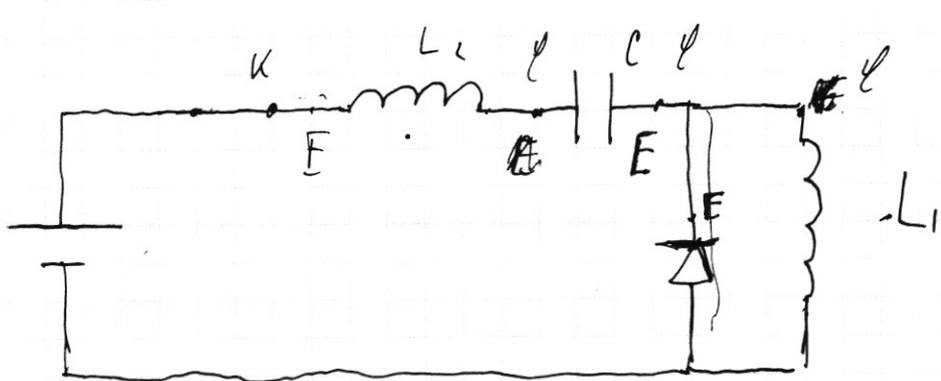
$$v_s = \frac{r}{T_0} = \frac{D\sqrt{8}}{3T_0} \approx \frac{D\sqrt{8}}{12T_0} \approx \frac{D\sqrt{2}}{12T_0} = \frac{D\sqrt{2}}{6T_0}$$

$$t_1 = \frac{S_1 + S_2}{V} = \frac{r + l - r}{V} = \frac{l}{V} = \frac{D}{4V}$$

$$= \frac{D}{4 \cdot \frac{D\sqrt{2}}{6T_0}} = \frac{6T_0}{4\sqrt{2}} = \frac{6\sqrt{2}T_0}{8} = \frac{3\sqrt{2}T_0}{4}$$

831
33
2423
2423
27423

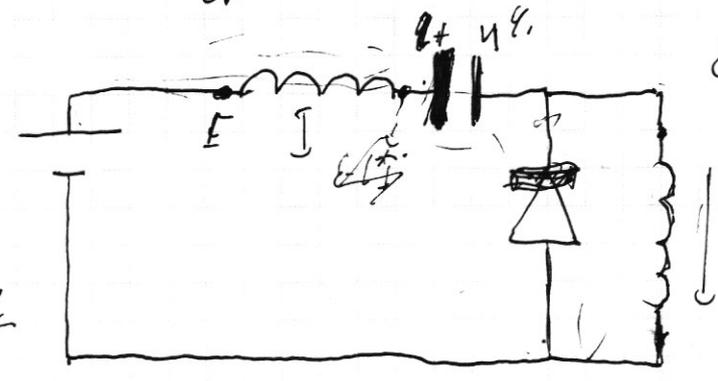
40 HST
55-3=33
E
F · 0 = 3/8



$$E_1 = -L \frac{dI}{dt}$$

4/12

35



$$E_2 = \frac{L_1 I^2}{2} + \frac{CU^2}{2} + \frac{L_2 I^2}{2}$$

$$E_{CH} = (L_1 + L_2) \frac{I^2}{2} + \frac{CU^2}{2}$$

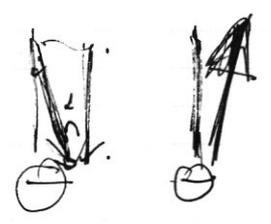
$$B = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU)}{dt}$$

$$U = LI'$$

$$q = CU$$

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

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



т.к. сумма сил не равна нулю
используем все обозначения
образуется в нормаль
вертикали в сторону