

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

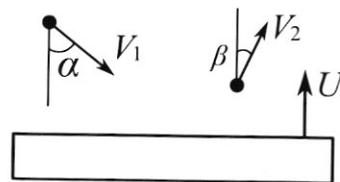
Класс 11

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 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 ($\sin \beta = \frac{3}{5}$) с вертикалью.

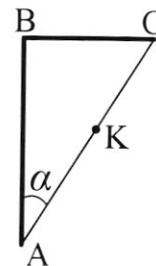


- 1) Найти скорость V_2 .
- 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

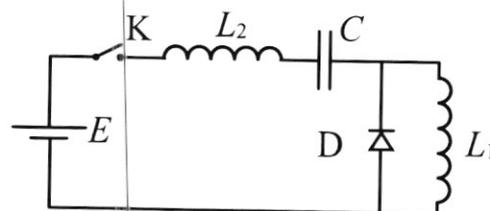
- 1) Найти отношение начальных объемов аргона и криптона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

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.



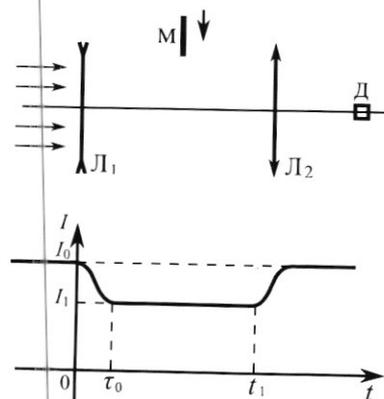
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно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

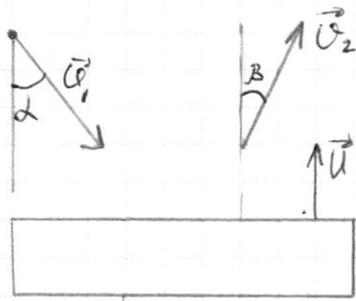
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой 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). $I_1 = 7I_0/16$



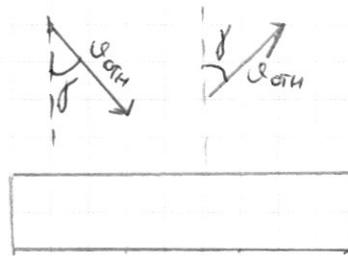
- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ш1. В СО Земли



В СО мшмта.

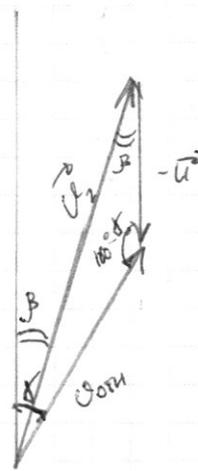


В СО мшмта шарик отскокит со скоростью равной по модулю первоначальной и угол падения равен углу "отражения".

До отскока



после отскока



По теореме синусов:

$$\frac{v_1}{\sin \gamma} = \frac{v_{отн}}{\sin(180^\circ - \alpha)}$$

$$\frac{v_2}{\sin(180^\circ - \gamma)} = \frac{v_{отн}}{\sin \beta}$$

$$\frac{v_1}{\sin \gamma} = \frac{v_{отн}}{\sin \alpha}$$

$$\frac{v_2}{\sin \gamma} = \frac{v_{отн}}{\sin \beta}$$

$$v_1 \sin \alpha = v_{отн} \sin \gamma$$

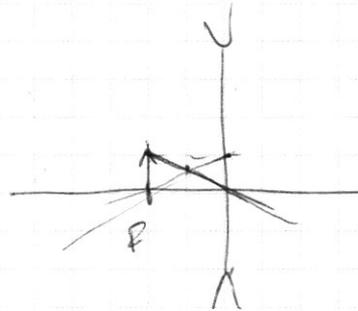
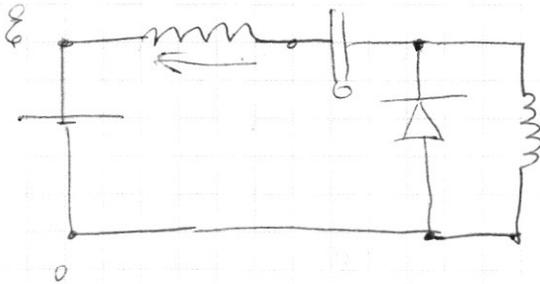
$$v_2 \sin \beta = v_{отн} \sin \gamma$$

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

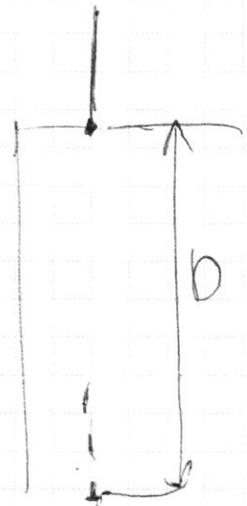
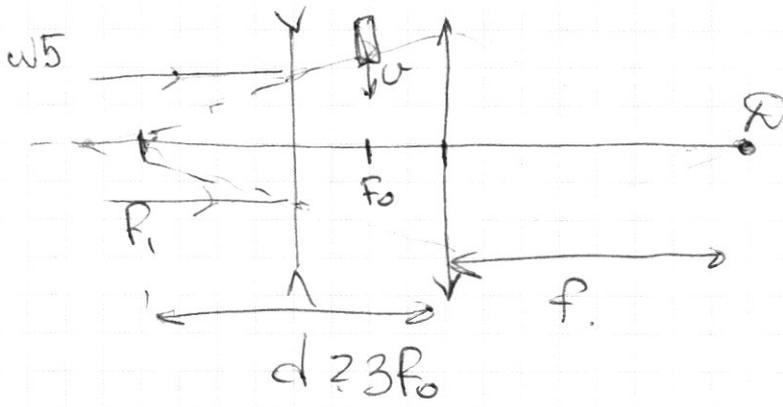
$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$CE^2 = 9LI_{\max}^2 \quad I_{\max} = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{C}{L}}$$



$$f_1 = -2f_0$$



$$D = h \cdot \frac{f}{d-f}$$

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{3f_0} + \frac{1}{f} \quad \frac{1}{f_0} - \frac{1}{3f_0} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{2}{3f_0} = \frac{1}{f} \quad f = 1,5f_0$$

$$I_H = \frac{W}{St}$$

$$I_H \cdot S \cdot \sigma_p$$

$$x = \omega T_0$$

~~x - диаметр~~ x - диаметр мшениф.

$$P \sim S \sim x^2$$

$$I_0 \sim D^2$$

$$\frac{4I_0}{16} = D^2 - x^2$$

$$\frac{16}{7} = \frac{D^2}{D^2 - x^2}$$

$$\frac{4}{16} = \frac{x^2}{D^2}$$

$$U_2 = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{3} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

По теореме косинусов:

$$U_{\text{отн}}^2 = U_1^2 + U^2 - 2U_1 U \cos(180^\circ - \alpha)$$

$$U_{\text{отн}}^2 = U_2^2 + U^2 - 2U_2 U \cos \beta$$

$$U_1^2 + U^2 + 2U_1 U \cos \alpha = U_2^2 + U^2 - 2U_2 U \cos \beta$$

$$2U(U_1 \cos \alpha + U_2 \cos \beta) = U_2^2 - U_1^2$$

$$U = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2(U_1 \cos \alpha + U_2 \cos \beta)}$$

α и β острые углы, значит

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$U = \frac{(U_2 - U_1)(U_2 + U_1)}{2(U_1 \cos \alpha + U_2 \cos \beta)}$$

$$U = \frac{2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 38 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2 \cdot \left(\frac{\sqrt{5}}{3} \cdot 18 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 20 \cdot \frac{4}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)} = \frac{38}{6\sqrt{5} + 16} \frac{\text{м}}{\text{с}} = (8 - 3\sqrt{5}) \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: $U_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $U = 8 - 3\sqrt{5} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{4}{16} = 1 - \frac{x^2}{D^2} \quad 1 - \frac{4}{16} = \frac{x^2}{D^2}$$

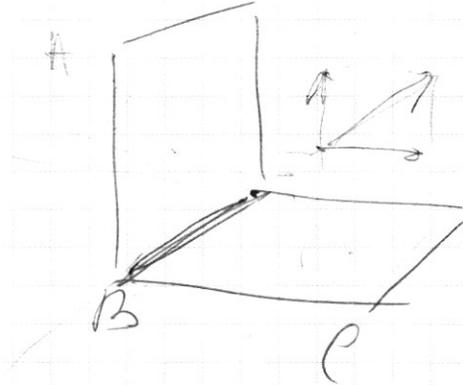
$$\frac{9}{16} = \frac{x^2}{D^2} \quad \frac{3}{4} = \frac{x}{D}$$

$$x = \frac{3}{4} D \quad \frac{3}{4} D = U \tau_0$$

$$U = \frac{3 D}{4 \tau_0}$$

$$D = t_1 \cdot \frac{3}{4} D \tau_0$$

$$t_1 = \frac{4}{3} \tau_0$$



$$9.5 \sim 64$$

$$8^2 = 64$$

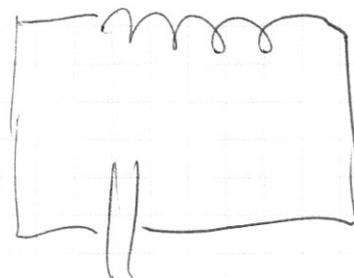
$$\frac{64}{45} = \frac{19}{19}$$

$$\frac{38}{6\sqrt{5} + 16} = \frac{19}{3\sqrt{5} + 8} = \frac{19(3\sqrt{5} - 8)}{19}$$

$$8 - 3\sqrt{5}$$

$$I = C U' =$$

$$I = 0$$



$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} = L I'$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ω2

V_2	P	P	V_1
T_2	T	T	T_1
n_2			n_1

Т.к. температура газов
выравнивается медленно, и
поршень движется медленно,
то ускорение поршня равно
значит давление с

двух сторон от поршня одинаковое.
В начальный момент времени:

$$pV_2 = nRT_2 \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$pV_1 = nRT_1$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{400}{320} = \frac{5}{4}$$

Т.к. кол-во газа одинаковое, конечное давление и
температура тоже одинаковые, то газы будут
занимать одинаковый объем после окончательного
выравнивания температур.

T - конечная температура газов.

V - конечный объем, который занимают газы
вместе. $V = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{V_1 + \frac{5}{4}V_1}{2} = \frac{9}{8}V_1$

$$pV = nRT$$

$$pV_1 = nRT_1$$

$$\frac{V}{V_1} = \frac{T}{T_1}; \quad T = T_1 \cdot \frac{V}{V_1} = \frac{9}{8}T_1; \quad T = \frac{9}{8} \cdot 320\text{K} = 360\text{K}$$

Т.к. процесс происходит изобарно, то кол-во
теплоты, полученное аргоном (отданное криптоном)
можно найти как $Q = C_p \nu \Delta T$

где $\Delta T = T - T_1$; $\nu = \frac{3}{5}$ моль

$C_p = \frac{5}{2} R$ т.к. газ одноатомный.

$$Q = \frac{5}{2} R \nu (T - T_1)$$

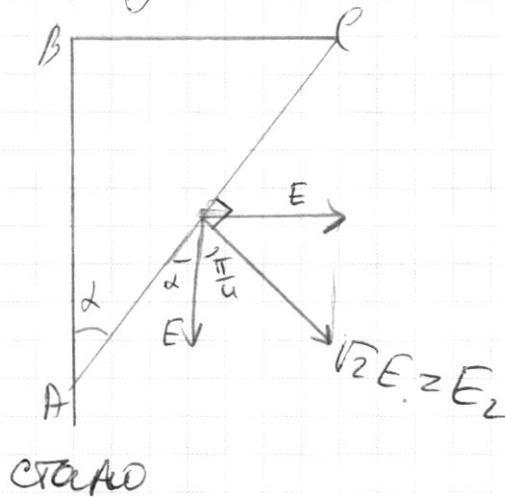
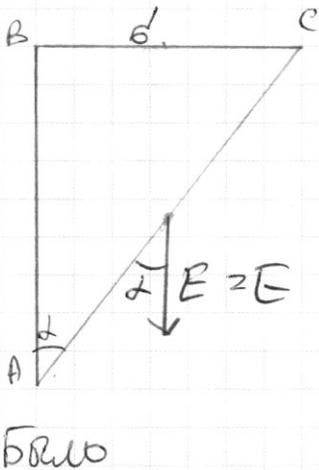
$$Q = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \frac{3}{5} \text{ моль} \cdot (360\text{К} - 320\text{К})$$

$$Q = 8,31 \cdot 3 \cdot 20 \text{ Дж} = 498,6 \text{ Дж}$$

Такое количество теплоты передано от криптона
аргону.

Объём: $V_2 : V_1 = 5 : 4$; $T = 360\text{К}$; $Q = 498,6 \text{ Дж}$

УЗ. 1) Напряжённость поле бесконечной заряженной пластины $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ где σ - поверхностная плотность заряда пластины.

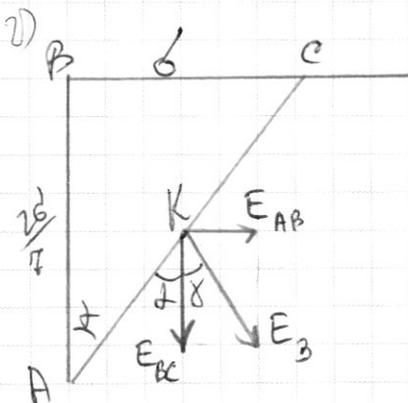


Когда бока заряжены только BC она создавала напряжённость $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, когда зарядили вторую пластину она, создавала такую же по модулю напряжённость, но направленную \perp к гипотенузой.

$$E_1 = E; \quad E_2 = \sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2}E$$

E_2 найдено из принципа суперпозиции.

$\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}$. Напряжённость увеличилась в $\sqrt{2}$ раз. E_2 направлена под углом 45° к AC.



$$E_{AB} = \frac{2\sigma}{7 \cdot 2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{7\epsilon_0}$$

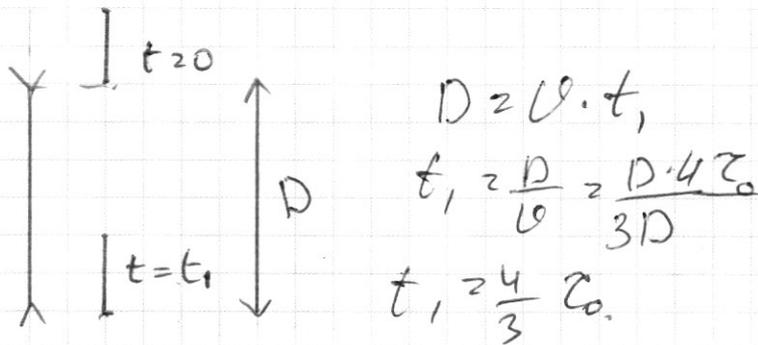
$$E_{BC} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_3 = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{49}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{3}{4} D = v \tau_0 ; v = \frac{3D}{4\tau_0}$$

Но сила тока может расти, когда магнит войдет за границу слез.



Ответ: $f = \frac{4}{3} f_0$; $v = \frac{3D}{4\tau_0}$; $t_1 = \frac{4}{3} \tau_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

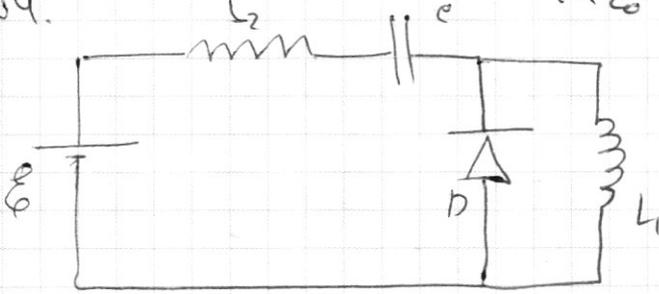
$$E_3 = \frac{\sqrt{53} \cdot \epsilon}{14 \cdot \epsilon_0}; \quad \varphi_{\text{ср}} = \frac{E_{AB}}{E_{BC}} = \frac{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}{7 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} = \frac{2}{7}$$

E_3 направлены по отношению к АС
по углам $\varphi = \alpha + \arctg(\frac{2}{7})$

$$\varphi = \frac{\pi}{9} + \arctg(\frac{2}{7})$$

Ответ: 1) в 52 раз; 2) $E_3 = \frac{\sqrt{53} \cdot \epsilon}{14 \cdot \epsilon_0}$ по углом $\varphi = \frac{\pi}{9} + \arctg(\frac{2}{7})$ к АС.

щч.



Пока конденсатор будет заряжаться до E через диод не будет течь ток, т.к. он будет закрыт.

Через катушку течёт максимальный ток ~~тогда~~ когда напряжение на ней равно нулю. Когда диод открыт, то напряжение на нём равно нулю, значит в эти моменты и на катушке L_1 напряжение равно нулю.

Конденсатор зарядится первый раз до E через время $\tau_1 = \frac{1}{4} \cdot 2\pi \sqrt{9L \cdot C} = \frac{3}{2} \pi \sqrt{LC}$.

Когда конденсатор зарядится до E через катушки будет течь максимальный ток,

т.к. напряжение на мике будет равно нулю.
 Ток через диод еще идет по дуге. Можно
 записать ЗСЭ две цепи:

$$W_1 + A_0 = W_2 + Q \quad W_1 = 20$$

$$\varepsilon \cdot \varepsilon C = \frac{g L I_{\max}^2}{2}$$

$$Q = 0.$$

$$\sqrt{\frac{2 \varepsilon^2 C}{g L}} = I_{\max} \quad I_{\max} = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{2 C}{L}}$$

Всегда, когда диод открыт через L_1 идет
 максимальный ток.

$$\text{Через } C_2 = \frac{1}{4} \text{ яд } \sqrt{L_2 C} = \frac{\pi}{2} 2 \sqrt{L C} = \pi \sqrt{L C}$$

напряжение на конденсаторе будет равному
 2ε , тогда первая колебания ток в L_2
 будет $I = 2(\varepsilon, \pm \varepsilon) = 2\left(\frac{3}{2} \pi \sqrt{L C} + \pi \sqrt{L C}\right) = 5 \pi \sqrt{L C}$

т.к. после этого будет происходить
 разрядки, которая в точности "симметрична"
 разрядке.

$$\text{ответ: } I = 5 \pi \sqrt{L C} \quad I_{01} = I_{02} = \frac{\varepsilon}{3} \sqrt{\frac{2 C}{L}}$$

Пусть интенсивность лучей падающих на Л, Э.
 Из-за того что линза также преобразовывает
 изменив интенсивности поле проходящее
 через линзу.

$\dot{W} = \frac{\Delta W}{\Delta S \Delta t}$ ΔW - энергию, которую несет пучок света

$\dot{W} \Delta S = \frac{\Delta W}{\Delta t} = P$. P - мощность падающего света.

$$P \sim S$$

$P \sim I$; $I \sim S$; x - диаметр линзы.

Когда из фотодетектора выходит сила тока I_0
 освещена вся поверхность линзы.

$$S_n \sim D^2; \quad S_m \sim x^2.$$

Когда линза полностью перекрывает линзу
 из фотодетектора выходит ток I_1 .

$$\dot{W} \cdot S_n = k \cdot I_0$$

$$\frac{S_n - S_m}{S_n} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$\dot{W} \cdot (S_n - S_m) = k \cdot I_1$$

$$1 - \frac{S_m}{S_n} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{S_m}{S_n} = 1 - \frac{I_1}{I_0}$$

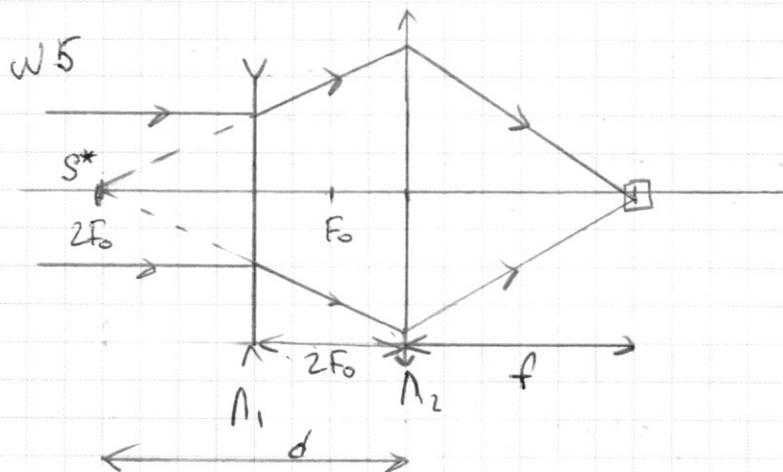
$$\frac{x^2}{D^2} = 1 - \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{x^2}{D^2} = 1 - \frac{4}{16} = \frac{8}{16}$$

$$\frac{x}{D} = \sqrt{\frac{8}{16}} = \frac{\sqrt{8}}{4} \quad x = \frac{\sqrt{8}}{4} D.$$

Мощность уменьшается до того момента, как все
 линзы не перекроет линзу. т.е. $x = 0.5 \cdot D$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



f - расстояние от L_2
до фотодетектора.
Все расстояния в
решении остаются
положительными.

Параллельные лучи после прохождения рассеивающей линзы L_1 расходятся, а их продолжение собирается в фокусе линзы.

S^* для L_2 будет действительным источником, т.к. от него на линзу идет расходящийся пучок лучей. d - расстояние от S^* до L_2 .
Формула тонкой линзы для L_2 :

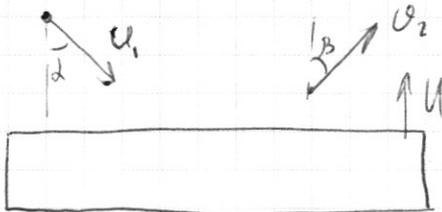
$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} ; \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0} - \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{d - F_0}{F_0 \cdot d} ; d = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4F_0 - F_0}{F_0 \cdot 4F_0} = \frac{3F_0}{4F_0^2}$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

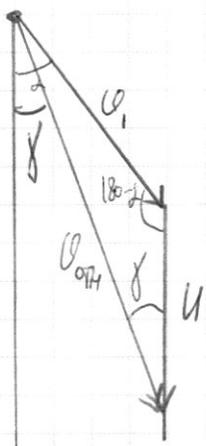


$$v_{отн}^2 = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos \alpha$$

$$v_{отн}^2 = v_2^2 + u^2 - 2v_2 u \cos \beta$$



$$\frac{v_1}{\sin \gamma} = \frac{v_{отн}}{\sin \alpha}$$



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

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$



$$\frac{v_{отн}}{\sin \beta} = \frac{v_2}{\sin \gamma}$$

$$v_2 = 18 \cdot \frac{25}{3 \cdot 3} = 20 \frac{м}{с}$$

$$v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos \alpha = v_2^2 + u^2 - 2v_2 u \cos \beta$$

$$2u(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta) = v_2^2 - v_1^2$$

$$u = \frac{(v_2 - v_1)(v_2 + v_1)}{2(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)}$$

$$u = \frac{2 \cdot 38}{2 \cdot (18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} + 20 \cdot \frac{4}{5})} = \frac{38}{6\sqrt{5} + 16} = \frac{16}{3\sqrt{5} + 8}$$

$$1 - \frac{4}{9} = \frac{5}{9}$$

$T_{exp} = 400K$		$T_{in} = 320K$
ν_2	ν_1	Ar

$$\nu = \frac{3}{5} \text{ моля}$$

$$pV_2 = \nu RT_2$$

$$pV_1 = \nu RT_1$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{400}{320} = \frac{100}{80} = \frac{5}{4}$$

$$pV_3 = \nu RT$$

$$p \frac{V_1 + V_2}{2} = \nu RT$$

$$V_1 + V_2 = 2V$$

$$V_3 = \frac{V}{2}$$

$$V_2 = \frac{5}{4} V_1$$

$$p \cdot \frac{V_1 + \frac{5}{4} V_1}{2} = \nu RT$$

$$p \frac{9V_1}{8} = \nu RT$$

$$\frac{9}{8} = \frac{T}{T_1} \quad T = \frac{9}{8} T_1$$

$$pV_1 = \nu RT_1$$

$$T_3 = 9 \cdot \frac{320}{8} = 40 \cdot 9 = 360K$$

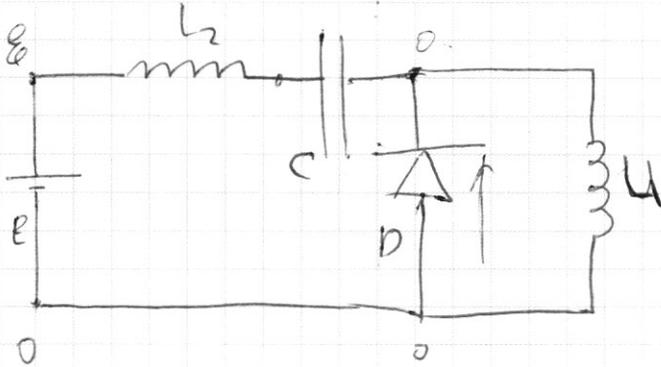
$$C_p \nu \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta T = 40K$$

$$\frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \frac{3}{5} \cdot 40 = 20 \cdot 3 \cdot 8,31 = 6 \cdot 83,1 = 498,6 \text{ Дж}$$

$$\begin{array}{r} \times 83,1 \\ \times 6 \\ \hline 498,6 \end{array}$$

$$pV_1 \quad \begin{array}{r} \times 8,31 \\ \times 60 \\ \hline 498,60 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$U_1 +$

$$\frac{38}{\sqrt{3} + 4 \cdot 4} = \frac{38 \cdot 4}{3\sqrt{5} + 8} = 9 \cdot 4 \frac{(8 - 3\sqrt{5})}{64 - 9 \cdot 5}$$

$$\frac{64}{45} = \frac{64}{19}$$

$$\pi \sqrt{4LC} + \pi \sqrt{9LC}$$

$$(2+3)\pi \sqrt{LC}$$

$$U_1 \sin \alpha = U_2 \sin \beta$$

$$U_2 \cos \beta = U_1 \cos \alpha + 2U$$

$$U_2 \cos \beta = U_1 \cos \alpha + 2U \quad \frac{20 \cdot 4}{5} = 18 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$U_2 = 8 - 3\sqrt{5}$$

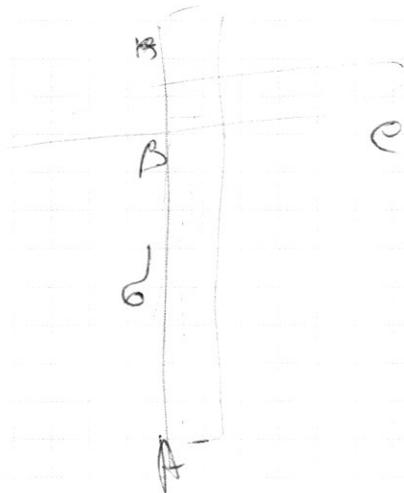


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ω3

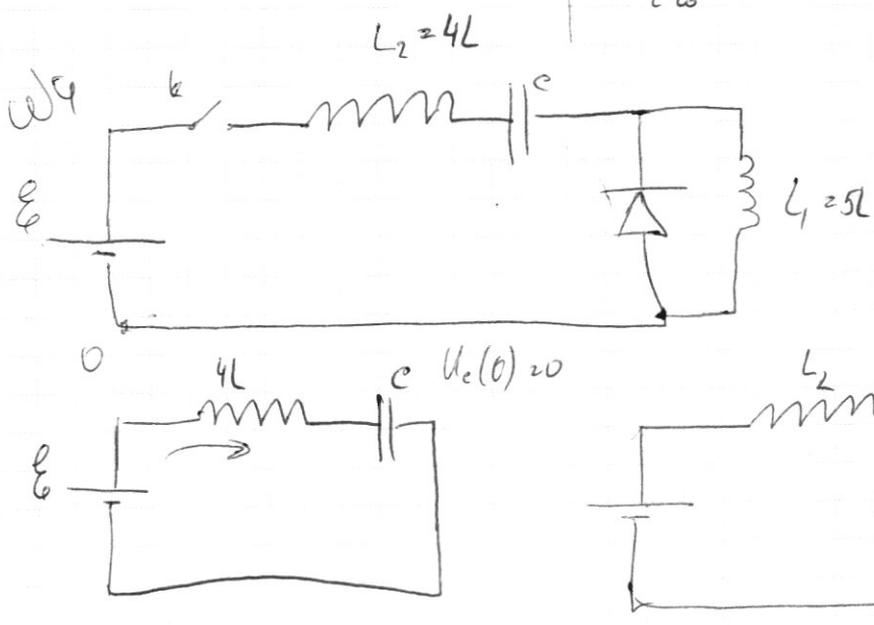
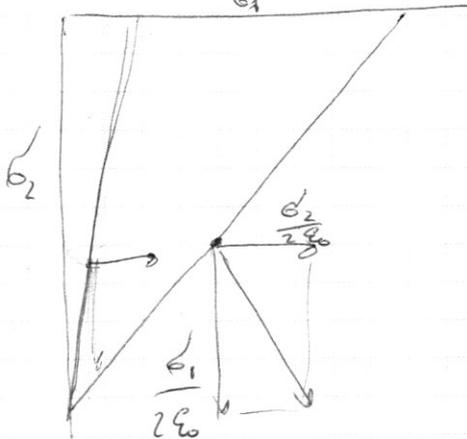
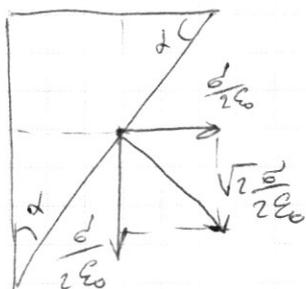


$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{2}\sigma}{2\epsilon_0}$$

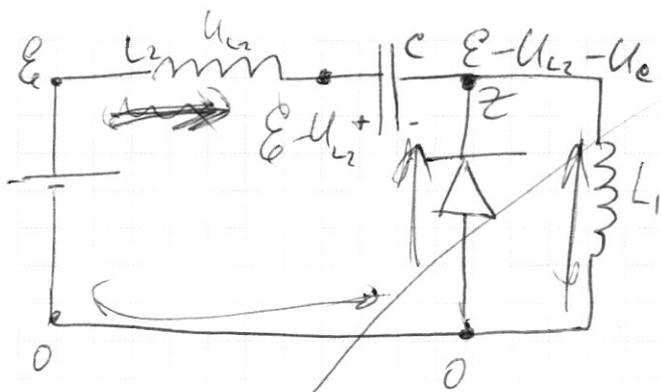
$$\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}$$



$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C}$$

$$\mathcal{E} = L q'' + \frac{q}{C}$$

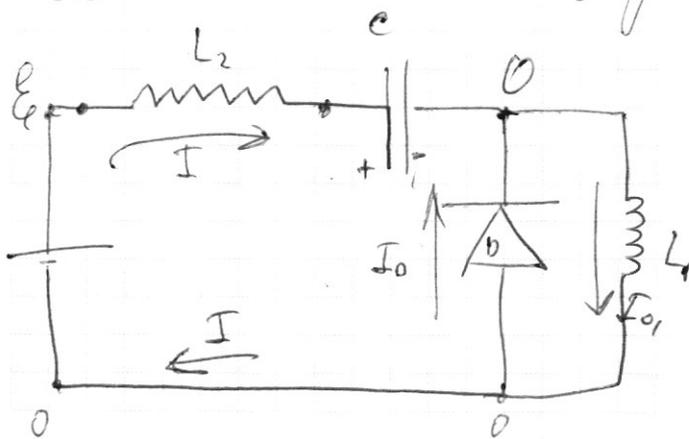
$$q'' + \frac{q}{LC} = \frac{\mathcal{E}}{L}$$



$$E - U_{L2} - U_c \leq 0$$

$$E < U_{L2} + U_c$$

Но такая ситуация не возможна! Т.к. в т. з будет накапливаться заряд.



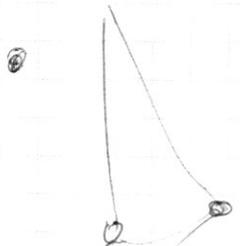
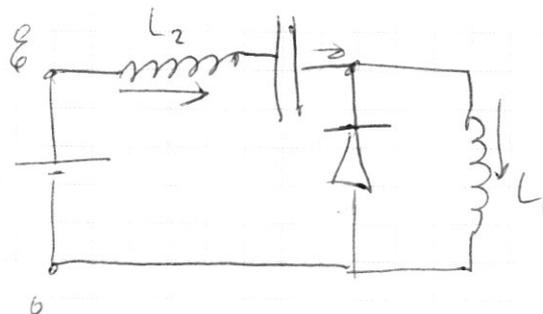
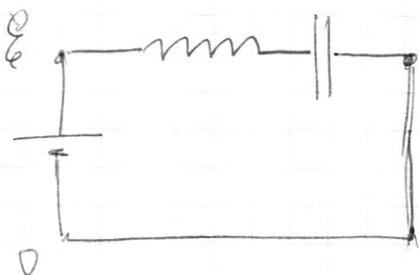
$$E = U_{L2} + U_c$$

$$I + I_0 = I_{01}$$

$$I = CU'$$

$$E = U_{L2} + U_c$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



$$T_1 = \frac{T}{4} \quad T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$T_1 = \frac{6}{4} \pi \sqrt{LC} = 0.75 \pi \sqrt{LC}$$

$$W_1 = 20$$

$$W_1 + A = W_2$$

$$0 + E^2 C = \frac{CE^2}{2} + \frac{5I_{max}^2}{2} + \frac{4LI_{max}^2}{2}$$

