Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

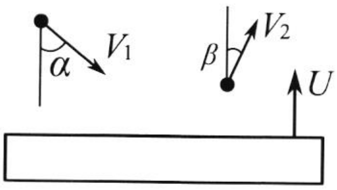
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

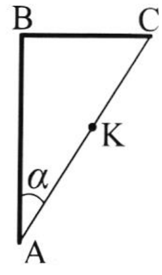
1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \dfrac{1}{2} \right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta \left(\sin\beta = \dfrac{1}{3} \right)$ 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.

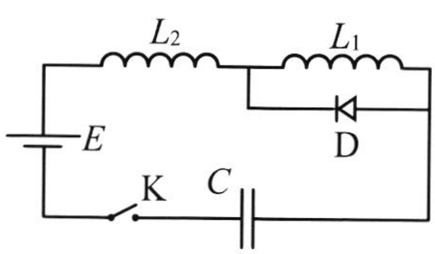
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ 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 AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



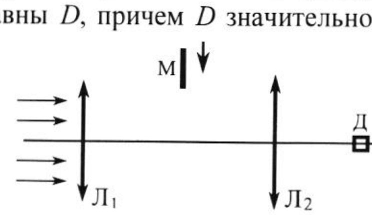
1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

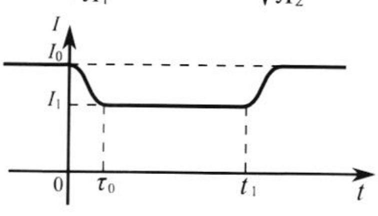
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1.



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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 Л$_1$ 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 Л$_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 5I_0/9$.





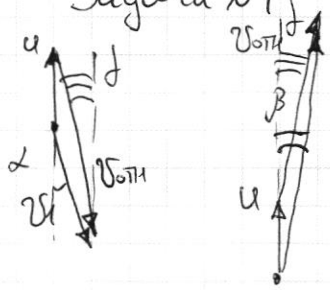
1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.
Известными считать величины F_0, D, τ_0.

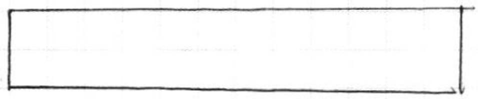
Задача №1

$v_1 = 12$ м/с

$\sin\alpha = \frac{1}{2}$

$\sin\beta = \frac{1}{3}$





① Перейдём в СО плиты так как она массивная изменением скорости в её СО можно пренебречь => она ИСО.

② В ИСО плиты шарик движется со скоростью $v_{отн}$, которая в следствие удара будет направлена под тем же углом γ к перпендикуляру к плите.

③ Из ЗСС и Δ-ка соответствующего, получаем:

$v_{отн} \cdot \sin\gamma = v_2 \cdot \sin\beta$; $v_1 \cdot \sin\alpha = v_{отн} \cdot \sin\gamma$ =>

$v_1 \cdot \sin\alpha = v_2 \cdot \sin\beta$ => $v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = v_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 = \frac{3}{2} v_1$ =>

$v_2 = 18$ м/с

④ $v_1 \cdot \cos\alpha = v_{отн} \cdot \cos\gamma - u$; $v_2 \cdot \cos\beta = v_{отн} \cdot \cos\gamma + u$

$v_{отн} = \frac{v_1 \cdot \cos\alpha + u}{\cos\gamma}$ => $v_2 \cdot \cos\beta = v_1 \cdot \cos\alpha + u + u$

$2u = v_2 \cdot \cos\beta - v_1 \cdot \cos\alpha$ => $u = \frac{v_2 \cos\beta - v_1 \cdot \cos\alpha}{2}$; $\cos\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$;

$\cos\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \frac{\sqrt{8}}{3}$ =>

$u = \frac{18 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = 3 \cdot 2 \cdot \sqrt{2} - 3\sqrt{3} = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$; ~~$\sqrt{2} \approx 1,4$, $\sqrt{3} \approx 1,7$~~

~~$u = 6 \cdot 1,4 - 3 \cdot 1,7 = 8,4 - 5,1 = 3,3$ м/с~~ $u = (6\sqrt{2} - 3\sqrt{3})$ м/с

Ответ: 1) $v_2 = 18$ м/с ; 2) $u =$ ~~3,3 м/с~~ $(6\sqrt{2} - 3\sqrt{3})$ м/с

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

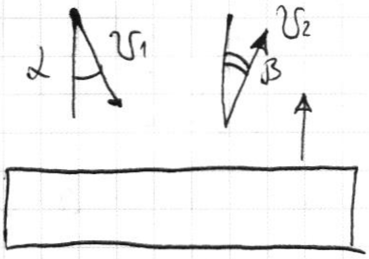
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

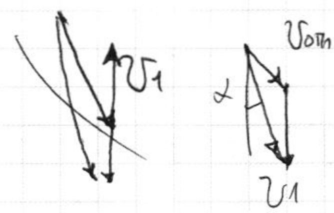
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Перейдём в СО плиты:





$mv_1 - Mv_2 = 0$

$\frac{Mv_{отн}}{2}$

2 2

1,4 1,7

6 3

8,4 5,1

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

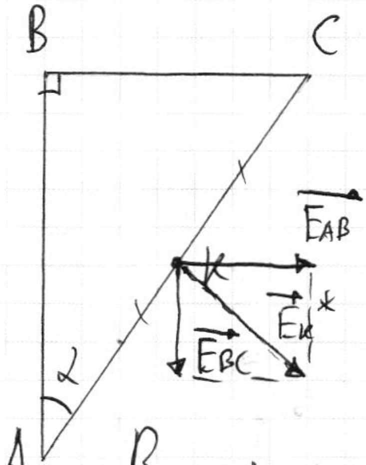
Задача №3.

а) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

б) $\sigma_1 = 3\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

$\alpha = \frac{\pi}{5}$



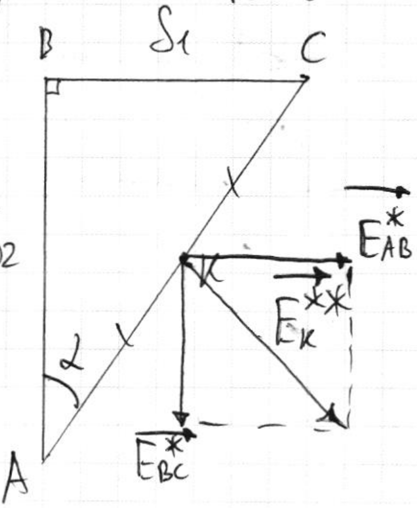
① E_{BC} в точке к $= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, где σ - поверхностная плотность заряда пластины. Поле, создаваемое бесконечной плоской пластиной однородно.

В начале $E_K = E_{BC} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, когда зарядят 2-ую пластину: $E_K^* = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2}$. Отметим, что линии силовые направлены $\perp$ поверхности пластины, то есть напряжённость создаваемая пластиной тоже.

$|\vec{E}_{AB}| = |\vec{E}_{BC}| = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \Rightarrow E_K^* = \sqrt{2\left(\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\right)^2} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \sqrt{2}\, E_K \Rightarrow$

E_K^* - напряжённость поля в точке К, когда заряжены обе пластины больше напряжённости E_K, когда заряжена только пластина BC в $\sqrt{2}$ раз.

②



Аналогично по принципу суперпозиций находим $|\vec{E}_K^{**}|$:

$E_K^{**} = \sqrt{(E_{AB}^*)^2 + (E_{BC}^*)^2}$; $E_{BC}^* = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} = \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0}$;

$E_{AB} = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

~~$E_K^{**} = \sqrt{E_1}$~~

$E_K^{**} = \sqrt{\frac{9\sigma^2}{4\varepsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2}}$

$E_K^{**} = \frac{\sqrt{10}}{2} \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

Ответ: в $\sqrt{2}$ раз; $E_K^{**} = \frac{\sqrt{10}}{2}\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

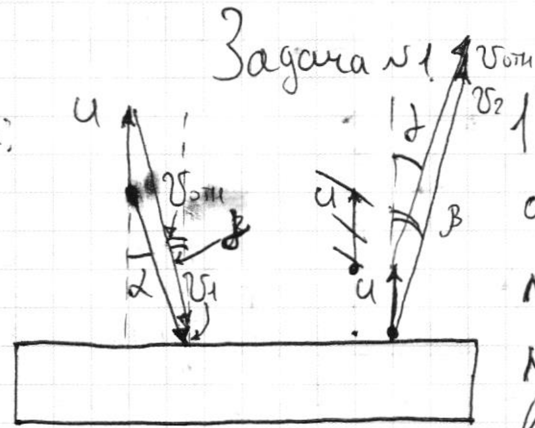
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №1

В СО плиты:



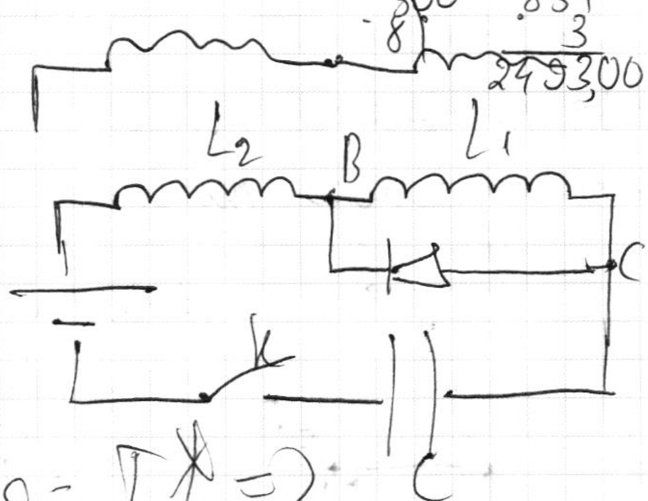
1) Плита массивная => изменением её скорости при ударе можно пренебречь. Перейдём в СО плиты.

В СО плиты при ударе относительная скорость не сохраняется. и, меняется на противоположный

$V_1 = \frac{7}{11} v_2$

$\frac{11}{9} V_2$

800 · 8   831 · 3 = 2493,00



$V_0 = \nu R T^*$

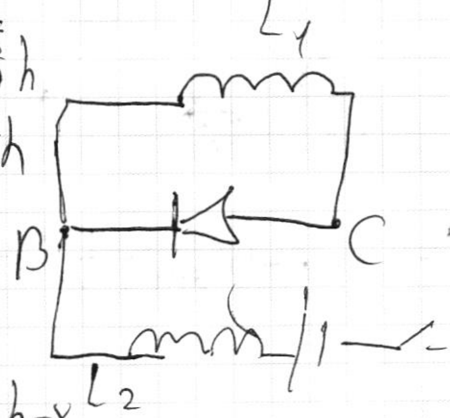
$\frac{11}{9} V_0 = \nu R T_2$

$\frac{9}{11} = \frac{T^*}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{11} \cdot 9 = T^* \Rightarrow$

$T^* = \frac{9}{11} \cdot 50 = 450K$

$9x = \frac{8}{9}h$

$x = \frac{8}{9}h$



$\Delta I = \frac{4 I_0}{9} \sim$ расстояние

$\frac{4}{9} = \frac{I_1}{I_0} = \frac{\cancel{x} \; 2h - x}{2h}$

2λ

& $\frac{5}{9} = \frac{2h-x}{2h} \Rightarrow 10h = 18h - 9x$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №2.

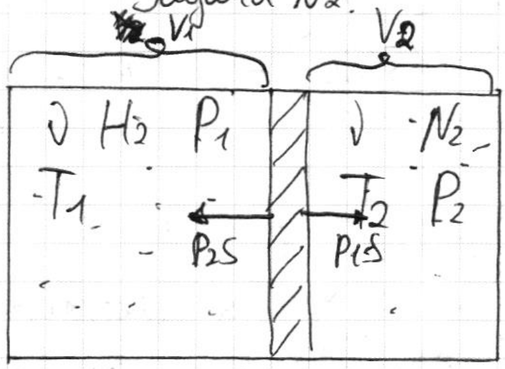
$\nu = \frac{6}{7}$ моль

$T_2 = 550\,K$

$T_1 = 350\,K$

$C_V = \frac{5R}{2}$

$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$

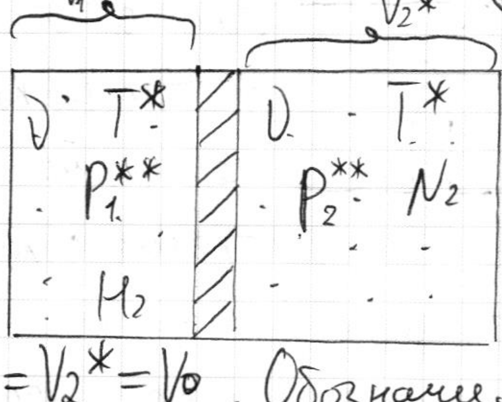


① В начале на поршень действуют две силы, т.к. он начинает в следующий момент времени $\Delta t \to 0$ медленно двигаться, то процесс равновесный $\Rightarrow$ его ускорение $a = 0$. $\Rightarrow$ из 2ЗН следует, что $P_1S = P_2S \Rightarrow$ $P_1 = P_2 \Rightarrow$ давления обоих газов в начале равны.

② Запишем уравнения М-К:

$P_1 = P_2 = P^*$; $P^* \cdot V_2 = \nu \cdot R \cdot T_2$; $P^* \cdot V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow$ искомое отношение объёмов: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{7 \cdot 50}{11 \cdot 50} = \frac{7}{11}$

③



В конце:

$P_1^{**} = P_2^{**} = P^{**}$ – условие равновесия поршня ~~(аналогично из 2ЗН)~~

$P^{**} \cdot V_1^* = \nu R T^*$ и $P^{**} \cdot V_2^* = \nu R T^* \Rightarrow$

$V_1^* = V_2^* = V_0$. Обозначим за $2V_0$ – объём всего сосуда.

Тогда: $V_1^* + V_2^* = 2V_0$; $V_1 + V_2 = 2V_0$; $V_1 = \frac{7}{11} V_2 \Rightarrow$

$\frac{7}{11} V_2 + V_2 = 2V_0 \Rightarrow \frac{18}{11} V_2 = 2V_0 \Rightarrow V_2 = \frac{22}{18} V_0 \Rightarrow V_2 = \frac{11}{9} V_0$

$V_2 = \frac{11}{9} V_1^* = \frac{11}{9} V_2^*$

④ Так как для $\forall t$ верно, что $P_1=P_2$, то процесс можно считать изобарным (учтено, что он равновесный и поршень перемещается медленно)

Тогда: $\frac{11}{9}V_0\cdot P=\nu R T_2$, где P — давление каждого из газов, $P=const$; $P\cdot V_0=\nu R T^* \Rightarrow$

$T^*=\frac{9}{11}T_2=\frac{9}{11}\cdot 550=450K$ — установившаяся температура в сосуде.

⑤. Так как процесс изобарный, то кол-во теплоты полученное ~~азотом~~ водородом от ~~тепла~~ азота можно посчитать по формуле: $Q=C_P\cdot\nu\cdot\Delta T_{H_2}$, где ΔT_{H_2} — изменение температуры ~~азота~~ водорода за весь процесс: $C_P=C_V+R=\frac{5}{2}R+R=\frac{7}{2}R \Rightarrow$

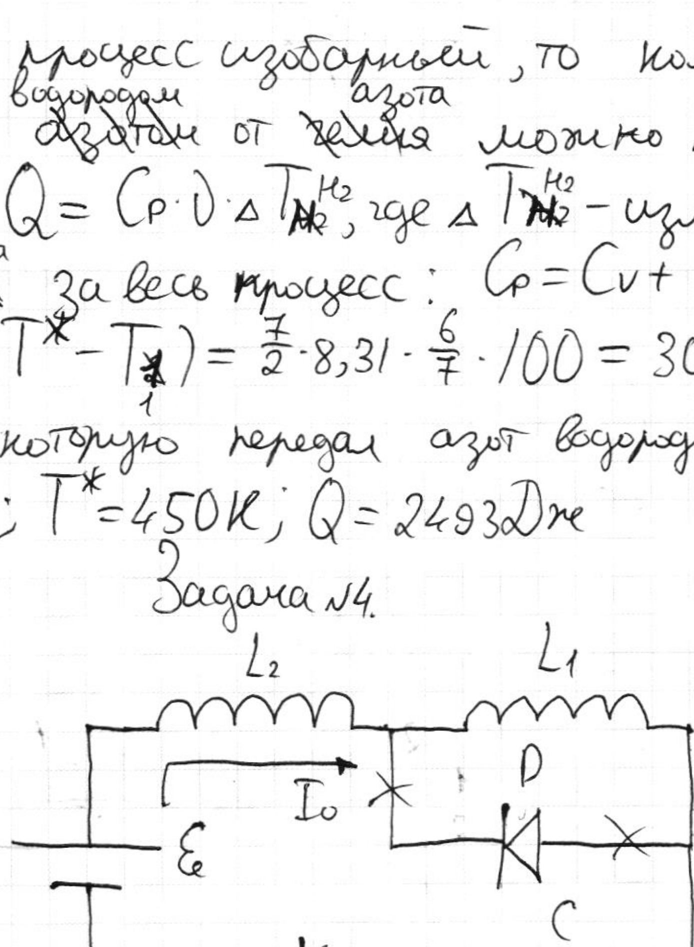
$Q=\frac{7}{2}R\cdot\nu(T^*-T_1)=\frac{7}{2}\cdot 8{,}31\cdot\frac{6}{7}\cdot 100=300\cdot 8{,}31=\underline{2493 Дж}$,

Q — теплота, которую передал азот водороду

Ответ: $\frac{V_1}{V_2}=\frac{7}{11}$; $T^*=450K$; $Q=2493 Дж$

Задача №4.

$\mathcal{E}$, $L_1=4L$,
$L_2=3L$
C



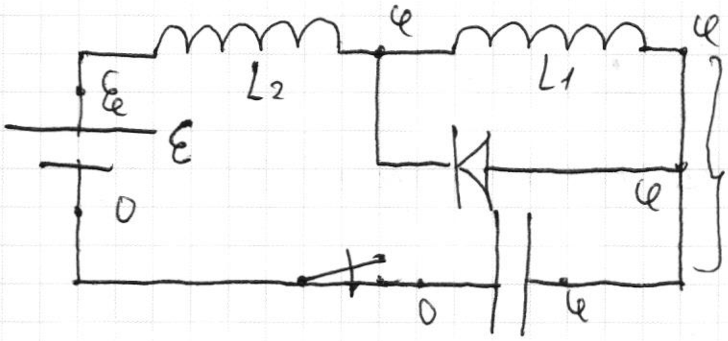
① Сразу после замыкания ключа $U_C=0$, а ток направлен по часовой стрелке и равен I_0. Так как диод идеальный, то до того момента пока конденсатор не зарядится полностью ток через него течь не будет $\Rightarrow$ ток пойдёт через катушку L_1.

Тогда ~~по формуле Томсона период колебаний тока~~ ~~$T=2\pi\sqrt{L_{экв}\cdot C_{экв}}$; $L_{экв}=L_1+L_2$ — последовательное соедине-~~

$T=2\pi\sqrt{(L_1+L_2)\cdot C}$, так как $L_{экв}=L_1+L_2$ – катушки соединены последовательно.

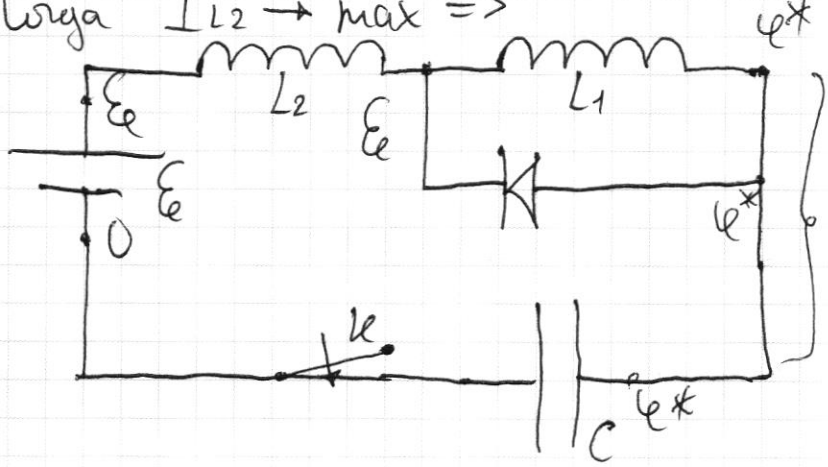
$T=2\pi\sqrt{7LC}$

② Когда $I_{L1}\to max \Rightarrow U_{L1}=L_1\cdot\frac{\Delta I_{L1}}{\Delta t}$; $I'_{L1}=0 \Rightarrow U_{L1}=0$



Как мы видим ~~диод~~ $U_D=0 \Rightarrow$ через него течёт ток, а значит конденсатор разряжается (*)

Когда $I_{L2}\to max \Rightarrow$



$\varphi^*=\mathcal{E}_e$ или $\varphi^*<\mathcal{E}_e$

~~Заметим~~, что Предположение: при зарядке конденсатора $\varphi^*=\mathcal{E}_e$ и $q_{ист}=q_c$, где $q_{ист}$ – заряд протёкший через конденсатор, а q_c – заряд конденсатора. $\Rightarrow$ в этом случае: $\mathcal{E}$. По ЗС (ЗИМЭ):

$$\mathcal{E}\cdot q_{ист}=\left(\frac{L_1I_{L1}^2}{2}+\frac{L_2I_{L2}^2}{2}+\frac{q_c^2}{2C}\right)-(0+0+0)$$ – для от момента $t=0$ до $t\ (t<\frac{T}{4}) \Rightarrow$

$$\mathcal{E}\cdot q_{ист}-\frac{q_{ист}^2}{2C}=\frac{(L_1+L_2)}{2}\cdot I^{*}$$, где $I^*=I_{L1}=I_{L2}$ (ток через диод не течёт) $\Rightarrow I^*\to max$ при $\left(\mathcal{E}\cdot q_{ист}-\frac{q_{ист}^2}{2C}\right)\to max \Rightarrow$

$$\left(\mathcal{E}\cdot q_{ист}-\frac{q_{ист}^2}{2C}\right)'=0 \Rightarrow \mathcal{E}-\frac{q_{ист}}{C}=0 \Rightarrow q_{ист}=C\mathcal{E}_e$$

при разрядке конденсатора $U_D=0 \Rightarrow \varphi^*=\mathcal{E}_e$, когда $I_{L2}\to max \Rightarrow$ в этот момент $I_{L1}\to max$ так как $U_{L1}=0$, а $U_{L1}=L_1\cdot\frac{\Delta I_{L1}}{\Delta t}$, то есть $I'_{L1}=0$ (или min). По ЗСЭ (ЗИМЭ) ~~в этом~~ случае:

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$t_1 = \frac{27}{12}\tau_0 \Rightarrow t_1 = \frac{9}{4}\tau_0$

Ответ: $x = \frac{F_0}{2}$; $V = \frac{8}{27}\frac{l}{\tau_0}$; $\cancel{t_1 = \frac{27}{12}\tau_0}$ $t_1 = \frac{9}{4}\tau_0$

~~Задача №4 (продолжение)~~

(X) ~~выше~~

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\cancel{\mathcal{E}\cdot q_{ист} = \left(\frac{L_1 \cdot I_{L1}^2}{2} + \frac{L_2 I_{L2}^2}{2} + \frac{C U_C^2}{2}\right) - (0+0+0)}$

$\cancel{U_C = \mathcal{E}. \Rightarrow \mathcal{E}_e \cdot q_{ист} - \frac{C\mathcal{E}_e^2}{2} = \frac{L_1}{2}\cdot I_{L1}^2 + \frac{L_2}{2} I_{L2}^2}$

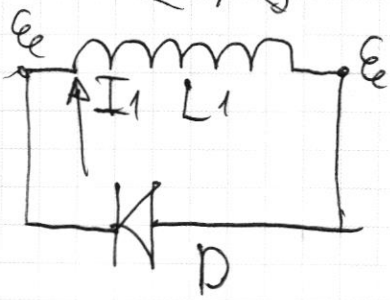
Когда $U_C \to \max \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow$ ток через катушку L_2 не течёт $\Rightarrow$ по ЗИМЭ$_{L_2}$ от $t=0$ до $t=\frac{T}{4}$:

$\mathcal{E}\cdot q_{ист} = \left(\frac{L_1 \cdot I_1^2}{2} + 0 + \frac{(q_{ист})^2}{2C}\right) - (0+0+0) \Rightarrow$

~~$\mathcal{E}\cdot q_{ист}$~~ = и $q_{ист} = q_C$, где $q_{ист}$ - заряд протёкший через источник $\Rightarrow$

$\mathcal{E}_e \cdot q_C - \frac{q_C^2}{2C} = \frac{L_1 \cdot I_{L1}^2}{2} \Rightarrow$ видно, что когда $\left(\mathcal{E}_e \cdot q_C - \frac{q_C^2}{2C}\right) \to \max$ то $I_1 \to \max \Rightarrow \left(\mathcal{E}_e \cdot q_C - \frac{q_C^2}{2C}\right)' = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_e - \frac{2q_C}{2C} = 0 \Rightarrow$

$q_C = C\mathcal{E}_e$ - при таком заряде $I_1 \to \max$. ~~Тому~~ Этому можно убедиться из соображений того, что в этот момент времени $U_C = \mathcal{E}_e$ и $U_{L1} = 0$; $U_{L2} = 0 \Rightarrow$ ~~диод~~ открыт и ~~и ток через~~ ток I_1 циркулирует по контуру в этот момент времени, ток I_2 же принимает минимальное значение $I_{L2\,min} = 0. \Rightarrow$



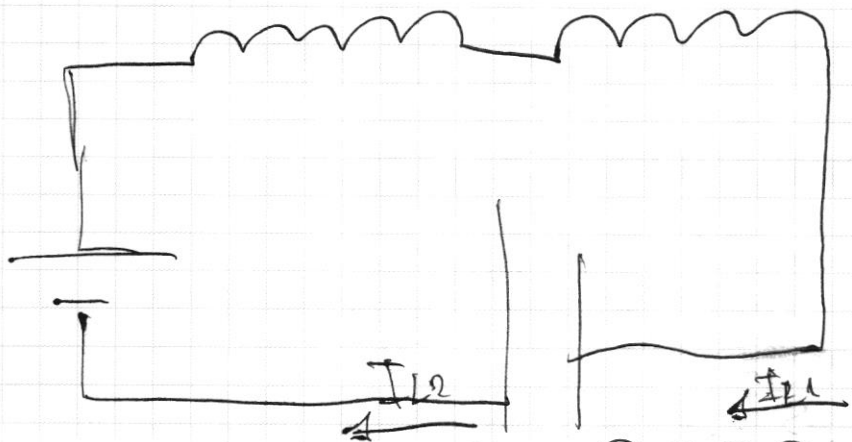
$\frac{L_1 I_{L1}^2}{2} = \frac{C\mathcal{E}_e^2}{2} \Rightarrow I_{L1\,max} = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}_e^2}{L_1}}$ - максимальные значение силы тока через катушку L_1.

Записав в общем случае ЗИМЭ также видно, что:

$\frac{L_1 I_1^2}{2} = \mathcal{E}_e \cdot q_{ист} - \frac{(q_{ист})^2}{2C} - \frac{L_1 I_2^2}{2}$ и $\left(\mathcal{E}\cdot q_{ист} - \frac{(q_{ист})^2}{2C}\right) \to \max$ и $\frac{L_1 I_2^2}{2} \to \min$, чтобы $I_1 \to \max$.

(*)

Так как случаю, когда $\varphi^* = \mathcal{E}$ соответствует рассмотренный



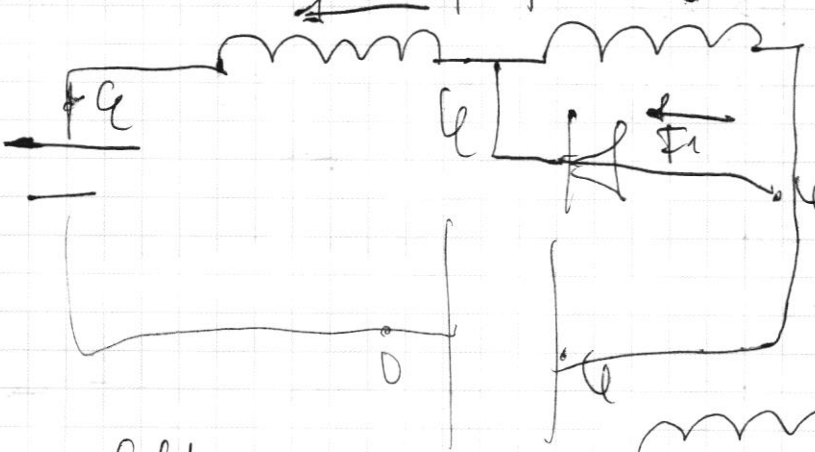
$\mathcal{E}_e - \varphi = L_1 \cdot \frac{\Delta I_{L2}}{\Delta t}$

$(\mathcal{E}_e - \varphi)\Delta t$

$\mathcal{E}\Delta t$

$\varphi = \frac{q}{C}$

$\mathcal{E}_e - \frac{q\Delta t}{C} = L_1 \cdot \Delta I_{L2}$ ΔI_c



$\mathcal{E}_e\Delta t - \frac{q\Delta t}{C} = L_1 \cdot \Delta I$

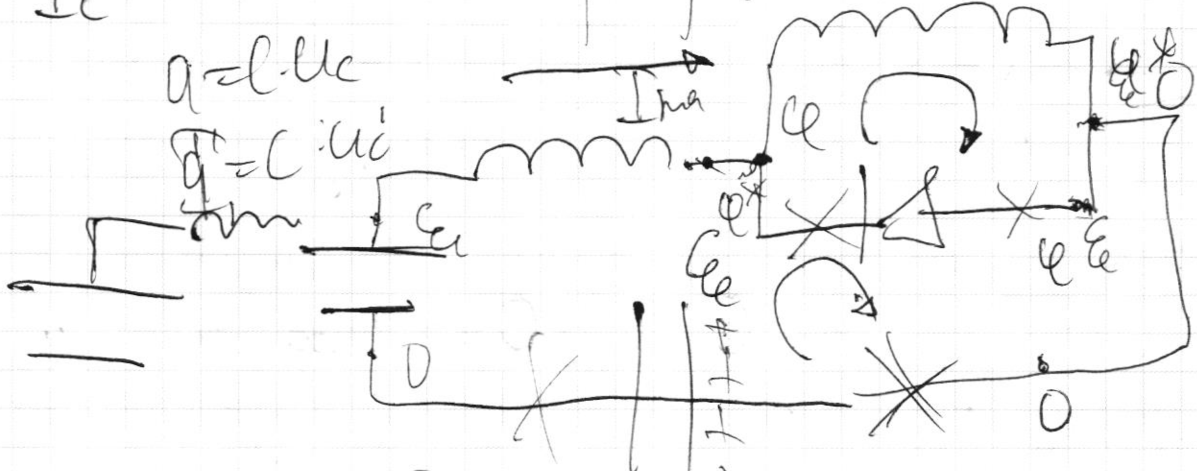
$\mathcal{E} - \frac{\Delta I_c}{C} = L_1 \cdot \Delta I_{L2}$

$\frac{\Delta I_c}{C} - \mathcal{E} = L_1 \cdot \Delta I_{L2}$

I_c

$q = C \cdot U_c$

$q' = C \cdot U_c'$



$$\mathcal{E} = L_2\frac{\Delta I_2}{\Delta t} + \cancel{\varphi^*_e - \mathcal{E}^*_e} + \varphi^* - (\mathcal{E} - \varphi^*) + \varphi^*$$

$$\cancel{\mathcal{E}_e - \mathcal{E}_e = \mathcal{E}_e - \varphi^* x - \mathcal{E}_e + \varphi^* x}$$

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_e - \varphi^* + \underbrace{\varphi^* - \varphi}_{U_D} + \varphi$$

$$\mathcal{E}_e = L\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + \varphi^*$$

$$\mathcal{E}_e \Delta t = L \cdot \Delta I_1 + \varphi^*$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_e - \mathcal{E}_e + \mathcal{E} - \varphi^* + \varphi^*$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

выше, то $I_{L2} \to max$, когда $U_D < 0$ => ток через него не течёт (~~или~~ $U_D = \varphi^* - \mathcal{E}$) $\varphi^* < \mathcal{E}$.

По ЗИМЭ от $t=0$ до $t < \frac{T}{4}$:

$\mathcal{E} \cdot q_{ист} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 \cdot I_2^2}{2} + \frac{q_c^2}{2C}$ => $q_{ист} = q_C$ (происходит зарядка конденсатора) и $I_{L1} = I_{L2}$.

$\mathcal{E} \cdot q_{ист} - \frac{q_{ист}^2}{2C} = \frac{(L_1+L_2)}{2} \cdot I_{L2}^2$ => $I_{L2} \to max$, когда ~~q~~ $\left(\mathcal{E} \cdot q_{ист} - \frac{q_{ист}^2}{2C}\right) \to max$ но это верно при $\varphi^* = \mathcal{E}$ — противоречие => ток в катушке I_{L2} максимален, когда ток в катушке I_{L1} максимален (наше предположение было неверно) => $I_{L1max} = I_{L2max} = I^*$

I^* ~~=~~ $q_{ист} = C\mathcal{E}$ (находили ранее при таком значении ток максимален) => $\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{(L_1+L_2)}{2} \cdot I^{*2}$ =>

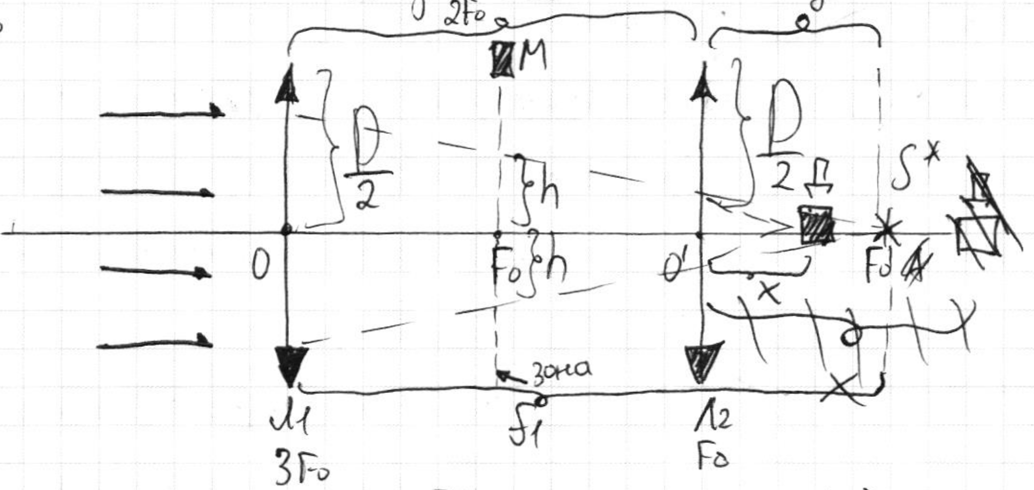
$I^* = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{L_1+L_2}}$ => $I_{L1max} = I_{L2max} = \sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}} \cdot \mathcal{E}$

Ответ: $T = 2\pi\sqrt{7LC}$; $I_{L1max} = I_{L2max} = \sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}} \cdot \mathcal{E}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №5.

F, D, τ_0



① По формуле тонкой линзы: ~~для Л~~ для Л1:

$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f}=\frac{1}{3F_0}$ т.к. пучок света падает параллельно, то $d_1\to\infty \Rightarrow f_1=3F_0$ – в этой точке сошлись бы лучи после прохождения 1-ой линзы, если бы не было 2-ой линзы

② Пусть S^* – мнимый предмет для Л2: тогда по формуле тонкой линзы для предмета S^*:

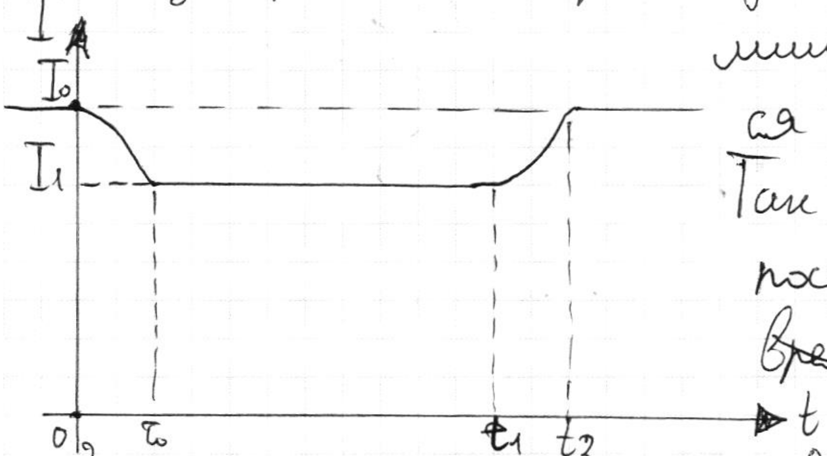
$-\frac{1}{y}+\frac{1}{x}=\frac{1}{F_0}$, $y=F_0$, так как расстояние от т. O до т. где S^* располагается $3F_0=f_1$

$\frac{1}{x}=\frac{1}{F_0}+\frac{1}{y} \Rightarrow x=\frac{F_0\cdot y}{F_0+y}=\frac{F_0\cdot F_0}{2F_0}=\frac{F_0}{2}$ – точка где располагается фотодетектор (искомое расстояние от него до Л2)

③ Найдём h – высоту на которой мишень начинает перекрывать пучок. Из подобия Δ-ков:

$\frac{D}{2\cdot 3F_0}=\frac{h}{2F_0} \Rightarrow h=\frac{D}{3}$ => как видно из графика от момента 0 до τ_0 мишень не полностью заехала в зону

распространения пучка света, ~~после~~ вышедшего после $Л_1$ на расстоянии F_0 от неё. Толщина пучка света в этой зоне равна $2h$.
В момент времени от t_1 до t_2, где t_2 - время, когда мишень полностью выехала из этой зоны, мишень начинает покидать ~~зону~~ указанную зону.
Время, которое мишень перекрывала часть лучей в этой зоне равно t_2. В промежуток времени от τ_0 до t_1 мишень целиком находится в зоне.



Так как скорость мишени постоянна и равна V, что ~~время~~ $t_2 - t_1 = \tau_0$ ~~(к)~~ $\Rightarrow$ $t_2 = t_1 + \tau_0$

~~В~~ За промежуток времени от ~~t_2~~ ~~τ_0~~ 0 до t_1 мишень прошла ~~расстояние~~ $S_1 = 2h = \frac{2D}{3}$: ~~$V = \frac{S_1}{t_1 - \tau_0}$~~ ~~$\frac{S_1}{\tau_0} = \frac{2D}{3\tau_0}$~~ $V = \frac{S_1}{t_1}$
$V = \frac{2D}{3 \cdot t_1}$

④ Так как сила тока $\underset{\text{в детекторе}}{I} \sim P_{\text{падающего света}}$ $\Rightarrow$ а ~~$P \sim \chi y$, где~~ $P \sim z$, где z - толщина пучка света в зоне или можно сказать $P \sim N$, где N - количество лучей, падающих на детектор, а $N \sim z$. $\Rightarrow P \sim z$. $\Rightarrow$
$I \sim z \Rightarrow \frac{I_0}{2h} = \frac{I_1}{2h - i}$, где i - размер мишени, её длина конкретней. $\Rightarrow \frac{2h}{2h-i} = \frac{I_0}{I_1} = \frac{9}{5} \Rightarrow$
~~$18h = 10h + 5i$~~ $10h = 18h - 9i \Rightarrow i = \frac{8}{9}h$
За время τ_0 мишень полностью попадает в зону $\Rightarrow$
$V = \frac{i}{\tau_0} = \frac{8}{9}\frac{h}{\tau_0} = \frac{8}{27}\frac{D}{\tau_0} \Rightarrow$ ~~$t_1 = \frac{3D}{2D}$~~ $= t_1 = \frac{2D}{3V} = \frac{2D}{3} \cdot \frac{27\tau_0}{8D} \Rightarrow$

$\boxed{T = 2\pi\sqrt{L_1 C} = 2\pi\sqrt{4LC} = 4\pi\sqrt{LC}}$ — период колебаний тока в катушке L_1.

② Запишем ЗИМЭ для от момента $t=0$ сразу после замыкания ключа до момента произвольного t.

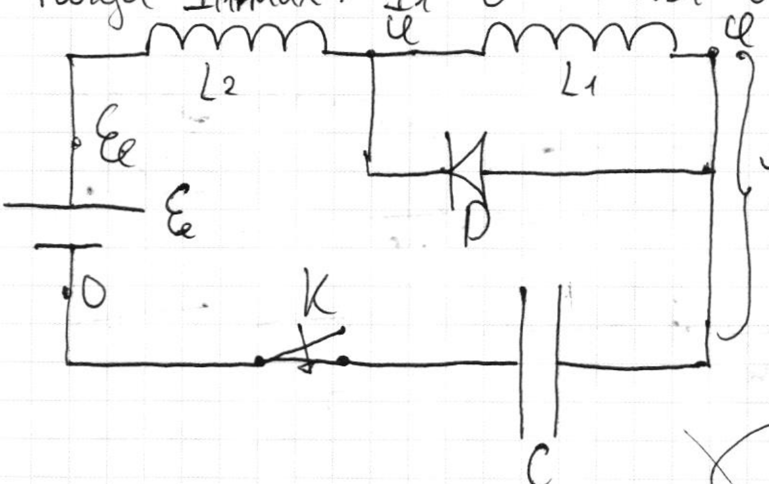
$A_{ист} = \Delta W_L + \Delta W_C$; $W_{L10}=0$; $W_{L20}=0$ — начальная энергия в катушках.

$\cancel{\mathcal{E} q_{ист} = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{L_1 I_1^2}{2} - 0 - 0 + \frac{q^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} - 0;\ \frac{q^2}{2C} - no}$

$W_{C0}=0$ — начальная энергия конденсатора.

$\mathcal{E}\cdot q_{ист} = \frac{L_2 I_2^2}{2} + \frac{L_1 I_1^2}{2} - 0 - 0 + \frac{q^2}{2C} - 0$; заметим что $q_{ист} = q$, где q — заряд конденсатора

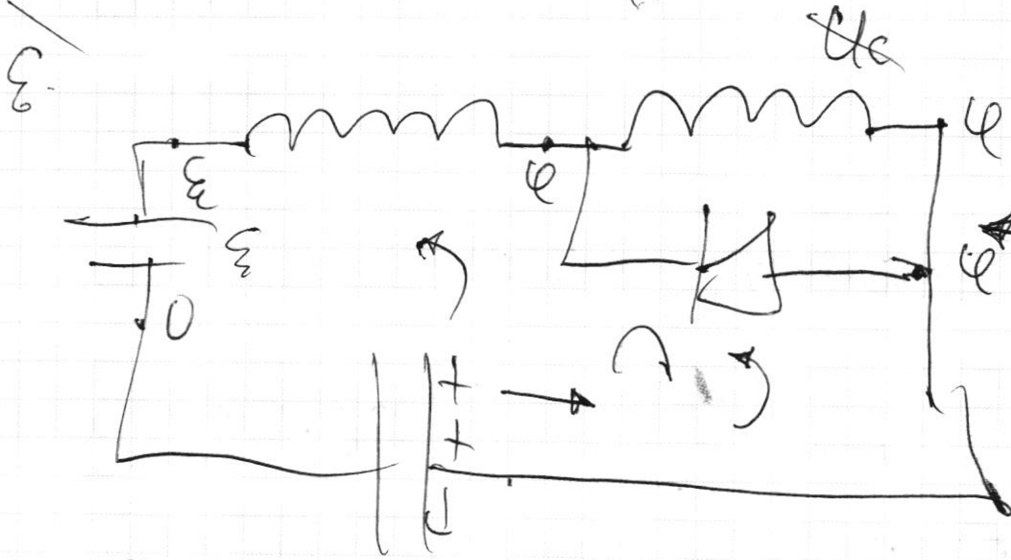
Когда I_{1max}: $I_1' = 0 \Rightarrow U_{L1} = 0$ т.к. $U_{L1} = L\cdot I_1'$:



$\cancel{\mathcal{E} = L_2\frac{\Delta I_2}{\Delta t}}$

φ $-U_C + L_1\frac{\Delta I_1}{\Delta t} +$

$\cancel{U_C}$ $+ L_2\frac{\Delta I_2}{\Delta t} = \mathcal{E}$



φ $U_C - \mathcal{E}_e =$

$L_1 \frac{\Delta I_1}{}$

$\mathcal{E} - \frac{q}{c}$

$\cancel{\mathcal{E} + L\frac{\Delta I_1}{\Delta t}}$ $C\mathcal{E}_e^2 = L_1 + L_1$

$\mathcal{E}\cdot q$ $q = C\mathcal{E}$

$C\mathcal{E}_e^2 = \frac{L_1 I_{max}^2}{2} + \frac{L_2 I_{max}^2}{2} + \frac{C\mathcal{E}^2}{2}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~ние катушек, а~~ $C_{экв} = C$.

$T = 2\pi\sqrt{7LC}$

в катушке L_1:

$T = 2\pi\sqrt{4LC} = 4\pi\sqrt{LC}$

② Запишем ЗСЭ ЗИМЭ от $t=0$ для произвольного момента

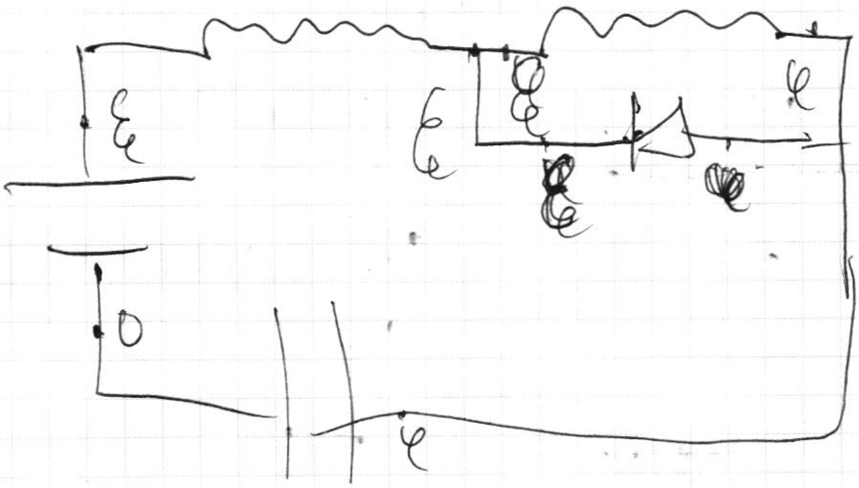
$A_{ист} =$

$\mathcal{E}(q_{ист})$

Во время зарядки

$\mathcal{E}\cdot q_{ист} = \frac{CU^2}{2} = \frac{\mathcal{E}\cdot q^2}{}$ $\quad \cancel{U} = \frac{U\cdot q_{ист}}{2} \Rightarrow q_C^* = q - q_{ист}$

$\mathcal{E}\cdot q_{ист} =$ $\quad I_1 \quad I_0$



I_{max} когда разрядка

$0 \ldots$

$$\mathcal{E} q = \frac{L_1 I_{1max}^2}{2} + \frac{L_2 I_{2max}^2}{2} + \frac{CU^2}{2} =$$

$$\frac{I_{1max}^2 (L_1+L_2)}{2} = \cancel{\mathcal{E}}\ \cancel{\mathcal{E}\cdot C\cdot U\cdot C - CU^2}$$

$$\mathcal{E}\cdot U C - \frac{CU^2}{2}$$

$$\mathcal{E}\cdot C - \frac{C\cdot 2U}{2} \Rightarrow U = \mathcal{E}$$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)