Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

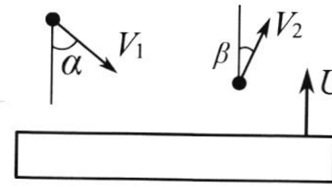
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

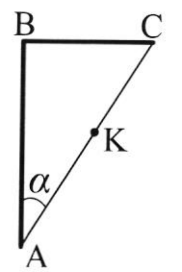
1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \frac{1}{2}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты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

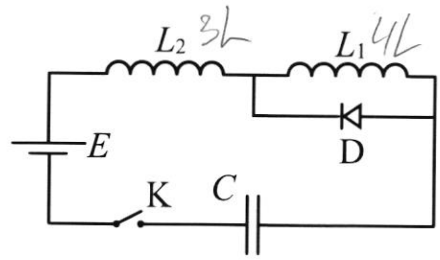
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ 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.



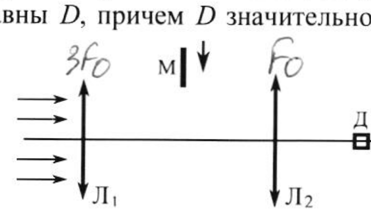
1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
2) Пластины BC и AB заряжены положительно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

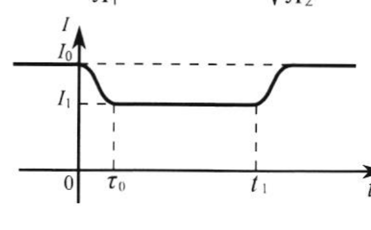
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1.



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.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

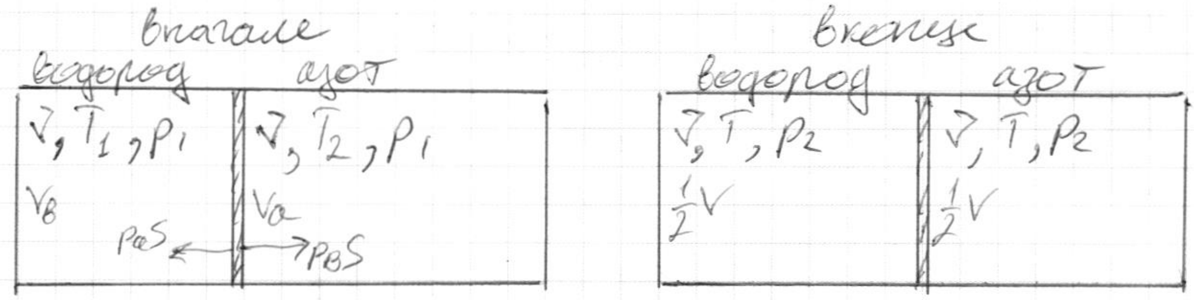
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2



1) т.к. температура газов выравнивается медленно, то процесс равновесный и ускорение поршня равно 0

2ЗН для поршня в любой момент времени:

$$p_B S - p_a S = m \cdot 0 = 0 \rightarrow p_B S = p_a S \rightarrow \boxed{p_B = p_a} \text{ всегда}$$

2) пусть V_{B1} и V_{a1} – обьемы водорода и азота вначале

ур. Менделеева - Клапейрона для водорода и азота:

$$\left.\begin{array}{l} p_1 V_{B1} = \nu R T_1 \\ p_1 V_{a1} = \nu R T_2 \end{array}\right| \Rightarrow \boxed{\frac{V_{B1}}{V_{a1}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350K}{550K} = \frac{7}{11}}$$

3) пусть V_{B2} и V_{a2} обьемы водорода и азота вконце:

ур. Менделеева - Клапейрона

$$\left.\begin{array}{l} p_2 V_{B2} = \nu R T \\ p_2 V_{a2} = \nu R T \end{array}\right| \Rightarrow \boxed{V_{B2} = V_{a2} = \frac{1}{2}V} \text{ – от исходного обьема } V$$

4) т.к. цилиндр теплоизолирован, то $Q_B = -Q_a$, где Q_B и Q_a – тепло подведенное к водороду и азоту

т.к. водород расширился на $\frac{1}{2}V - \frac{7}{18}V = \frac{2}{18}V$, а азот сжался на $\frac{11}{18}V - \frac{1}{2}V = \frac{2}{18}V$, то работы газов равны с точностью до знака $A_B = -A_a$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

записывая I начало термодинамики и складывая его, получим:

$$\left.\begin{aligned} Q_B &= \Delta U_B + A_B \\ Q_a &= \Delta U_a + A_a \end{aligned}\right| \Rightarrow \underbrace{Q_B + Q_a}_{=0} = \Delta U_B + \Delta U_a + \underbrace{A_B + A_a}_{=0} \Rightarrow 0 = \Delta U_B + \Delta U_a$$

$$0 = C_V \nu (T - T_1) + C_V \nu (T - T_2) \Rightarrow 2T = T_1 + T_2$$

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

5) азот передал водороду теплоту Q_B

найдем p_1 и p_2: $p_1 = \frac{\nu R T_1}{V_{B1}} = \frac{\nu R}{V} \cdot 350K \cdot \frac{18}{7} = \frac{\nu R}{V} \cdot 900K$

$$p_2 = \frac{\nu R T}{V_{B2}} = \frac{\nu R}{V} \cdot 450K \cdot 2 = \frac{\nu R}{V} \cdot 900K$$

получили $p_1 = p_2$ значит процесс изобарный

тогда $A_B = p_1 (V_{B2} - V_{B1}) = p_1 \cdot \frac{2}{18} V$

$$\Delta U_B = C_V \nu (T - T_1)$$

известно, что $\boxed{Q_B = C_p \nu (T - T_1)}$ при $p = const$

и $C_p = C_V + R = \frac{7}{2} R$

$$Q_B = \frac{7R}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 100 = 300 \cdot 8{,}31 = 2500 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{B1}}{V_{a1}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11}$

2) $T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450K$

3) $Q_B = (C_V + R)\nu (T - T_1) = 2500 \text{ Дж}$

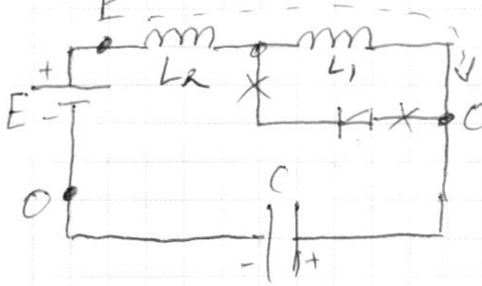
☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4

1) т.к. в цепи есть диод (считаем его идеальным), то колебания будут состоять из двух частей — когда диод закрыт и открыт

2) Рассмотрим цепь в начальный момент сразу после замыкания ключа



• напряжение скачком на конденсаторе не изменится т.е. $U_C(0)=0$

• ток через катушки скачком не изменится, т.е. $I_{L_1}(0)=I_{L_2}(0)=0$

• расставив потенциалы в цепи поймём, что ток потечёт по часовой стрелки и диод в этом случае закрыт

• т.е. цепь состоит из последовательно соединенных индуктивностей $L_1+L_2=7L$ и конденсатора C

тогда по формуле Томсона $\boxed{T_1=2\pi\sqrt{7LC}}$

• ток будет течь по часовой стрелки полпериода — $\frac{1}{2}T_1$, а затем, став равным нулю, сменит направление

3) Рассмотрим цепь в момент времени $\frac{1}{2}T_1$

• ЗСЭ от 0 до $\frac{1}{2}T_1$: $A_б=\Delta W_C+\Delta W_L+A_D$

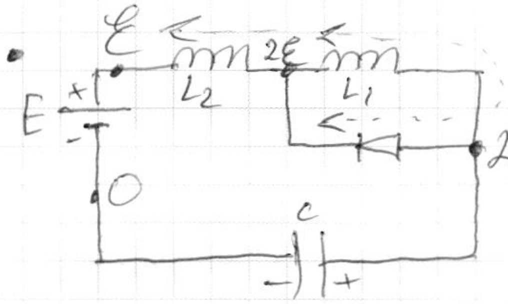
$A_б=(+\mathcal{E})(q-0)$, q — протекший на конденсатор заряд

$\Delta W_C=\frac{1}{2}\cdot\frac{q^2}{C}-0=\frac{q^2}{2C}$, $\Delta W_L=0$ т.к. ток в эти моменты нулевой

$A_D=0$ — работа тока на диоде т.к. он закрыт

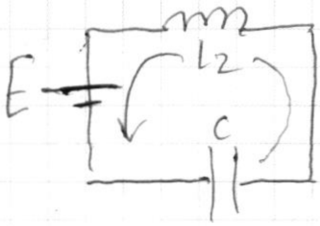
$\mathcal{E}q = \frac{q^2}{2C} \to \boxed{q = 2\mathcal{E}C}$ - заряд на конденсаторе в момент $\frac{1}{2}T_1$

тогда $U_C(\frac{1}{2}T_1) = \frac{q}{C} = 2\mathcal{E}$, где $\mathcal{E} = E$



- расставим потенциалы понимаем, что ток течет против часовой стрелки диод будет открыт
- отметим что на L_2 $U_2^* = 0$

т.е. $L(I_2^*)' = 0 \to I_2^* = const$, а т.к. тока в момент $\frac{1}{2}T_1$ в L_2 не было, то $\boxed{I_2^* = 0}$, т.е. при открытом диоде цепь эквивалентна следующей цепи, состоящей из послед. соединенных индуктивности $L_2 = 3L$ и конден. C



формула Томсона $\boxed{T_2 = 2\pi\sqrt{3LC}}$

- ток будет течь в таком направлении $\frac{1}{2}T_2$

- полный период колебаний

$$\boxed{T = \frac{1}{2}T_1 + \frac{1}{2}T_2 = \pi\sqrt{7LC} + \pi\sqrt{3LC}}.$$

4) рассмотрим момент времени от 0 до $\tau \in T_1$ когда ток через катушки максимален, т.к. они соединены последовательно, то общий ток I_1

если $I_1 = I_{m1}$, то $I_1' = 0$, т.е. $U_{L1}(\tau) = U_{L2}(\tau) = 0$, т.е.

$U_C(\tau) = \mathcal{E} \to q(\tau) = CE$

ЗСЭ. от 0 до τ: $A_б = \Delta W_C + \Delta W_L + A_Д$

$A_б = +\mathcal{E}(C\mathcal{E} - 0)$ $\quad \Delta W_C = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 - 0$ $\quad \Delta W_L = \frac{1}{2}(L_1 + L_2)I_{M1}^2$

$A_Д = 0$

$\mathcal{E}^2 C = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 + \frac{1}{2}7L I_{M1}^2$

$\mathcal{E}^2 C = 7L I_{M1}^2 \to \boxed{I_{M1} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{7L}}}$ - максимальный ток на L_1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) Рассмотрим цепь от момента $\frac{1}{2}T_1$ до τ', когда ток через катушку L_2 максимален (в это время через первую L_1 ток не течет), т.к. $I_2 = I_{m2} \to I_2' = 0 \to U_{L2}^{(\tau')} = 0$
$\to U_C^{(\tau')} = \mathcal{E}$

ЗСЭ от $\frac{1}{2}T_1$ до τ': $A_б' = \Delta W_C' + \Delta W_L' + A_Q'$

$A_б' = +\mathcal{E}(2C\mathcal{E} - 2C\mathcal{E}) = -\mathcal{E}^2 C$ т.к. заряд утекал с правой обкладки

$\Delta W_C' = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 - \frac{1}{2}C(2\mathcal{E})^2 = \frac{-3C\mathcal{E}^2}{2}$

$\Delta W_L' = \frac{1}{2}L_2 I_{m2}^2 \qquad A_Q = 0$

$-\mathcal{E}^2 C = \frac{-3C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{1}{2}3L I_{m2}^2$

$\mathcal{E}^2 C = 3L I_{m2}^2 \to \boxed{I_{m2} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}} > I_{m1}$ — значит максимальный ток на L_2

Ответ: 1) $T = \pi(\sqrt{7LC} + \sqrt{3LC})$

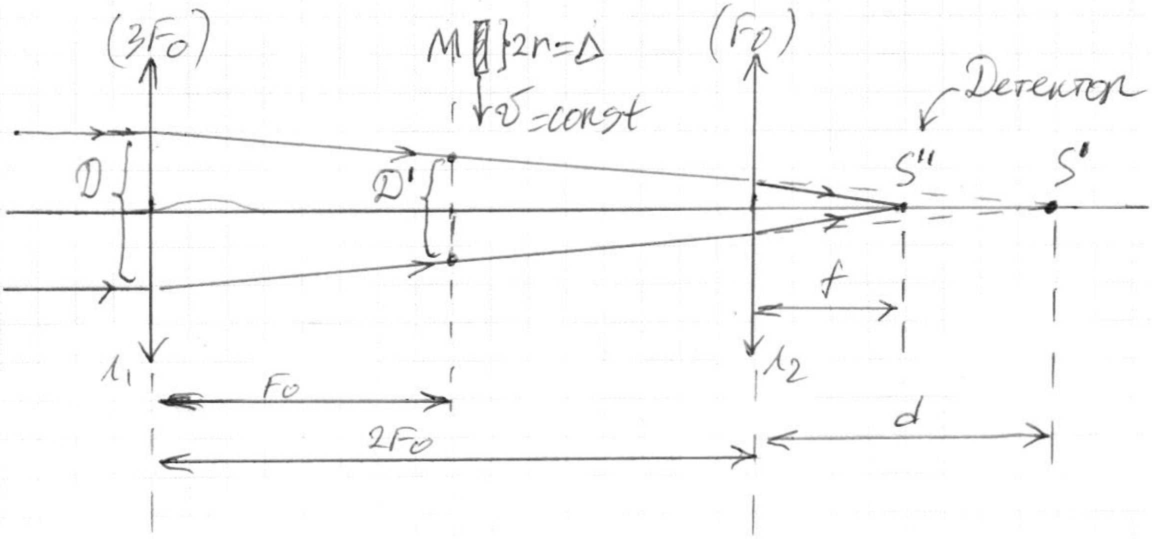
2) $I_{m1} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{7L}}$

3) $I_{m2} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}$

$\boxed{5}$

F_0, D, τ_0

$I_1 = \frac{5}{9}I_0$



1) • параллельный пучок подающий на λ_1 ~~проход~~ соберется в ее фокусе $3F_0$ за линзой λ_2 в точке S'

• Теперь S' - мнимый предмет для λ_2, т.к. на λ_2 падает сходящийся пучок света; $d = 3F_0 - 2F_0 = F_0$

• λ_2 соберет этот пучок в точке S'' - изображение S' в линзе λ_2, оно будет действительным

• по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F_0} = \frac{-1}{F_0} + \frac{1}{f} \rightarrow \boxed{f = \frac{F_0}{2}}$$ - расстояние от λ_2 до S''

• S'' - изображение полученное в системе „$\lambda_1 + \lambda_2$" следовательно на расстоянии $f = \frac{F_0}{2}$ от λ_2

находится фотодетектор

2) • т.к. интенсивность света в сечении пучка одинакова, то мощность света пропорциональна поверхностной плотности пучка в сечении

• Рассмотрим сечение пучка на расстоянии F_0 от λ_1, пусть его площадь S

• диаметр пучка перед линзой λ_1 равен D; из геометрии в сечении S $\boxed{D' = \frac{2}{3}D}$

тогда $S = \pi\left(\frac{D'}{2}\right)^2 = \pi\left(\frac{D}{3}\right)^2 = \frac{\pi D^2}{9}$

• пусть монета имеет диаметр Δ, тогда ее площадь $S_M = \pi\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2$

• Из условия мощность равна: $P = P(S) = S\rho$, где ρ - некий коэффициент

также из условия $I = I(P) = P(S)k = S\rho k$, где k - некий коэффициент

тогда

$$\begin{cases} I_0 = S\rho k \\ I_1 = (S - S_M)\rho k \end{cases} \Rightarrow \frac{I_0}{I_1} = \frac{S}{S - S_M} = \frac{9}{5} \rightarrow \boxed{9S_M = 4S}$$

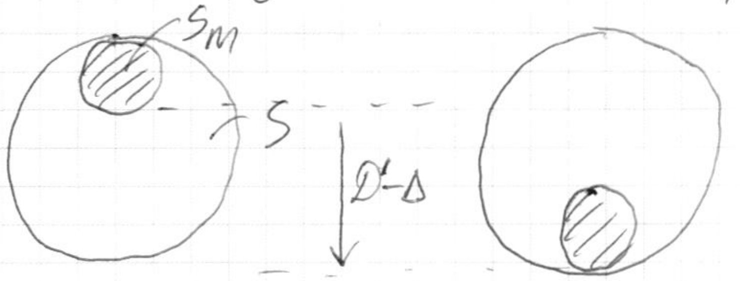
☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$9\pi\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 = 4\pi\left(\frac{D'}{2}\right)^2 \rightarrow 9\Delta^2 = 4(D')^2$ $\boxed{\Delta = \frac{2D'}{3} = \frac{4D}{9}} < D$

• т.к. после τ_0 ток не меняется некоторое время, то значит монета перекрыла часть пучка и его площадь от τ_0 до t_1 равна $S - S_m$
следовательно за τ_0 монета прошла расстояние
$\Delta = \frac{4D}{9} \Longrightarrow \boxed{v = \frac{\Delta}{\tau_0} = \frac{4D}{9\tau_0}}$

3) момент τ_0 момент t_1



в момент t_1 ток снова меняется значит монета "выходит" из ~~пуч~~ сечения пучка, для этого ей надо пройти ещё расстояние $D' - \Delta$
а всего от $t = 0$ до t_1 она пройдет расстояние D'
т.е. $\boxed{t_1 = \frac{D'}{v} = \frac{2D}{3} \cdot \frac{9\tau_0}{4D} = \frac{3\tau_0}{2}}$

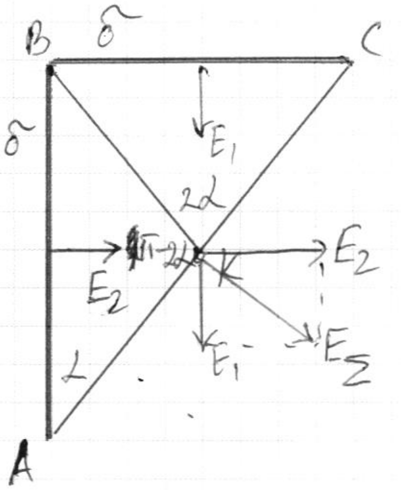
Ответ: 1) $f = \frac{F_0}{2}$

2) $v = \frac{4D}{9\tau_0}$

3) $t_1 = \frac{3\tau_0}{2}$

3

1) пусть пластина BC заряжена поверхностным зарядом $\sigma > 0$



• по теореме Гаусса

$$E = \frac{\sigma\Omega}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}, \ \Omega \text{ - телесный угол}$$

для замкнутой поверхности

$\Omega = 4\pi$

для бесконечной пластины

$\Omega = 2\pi$

т.е. $\Omega = 2\Theta$, где Θ - плоский угол из планиметрии

• пусть E_1 и E_2 - напряженности пластин BC и AB с поверхностным зарядом σ, тогда

$$E_1 = \frac{\sigma(2\cdot 2\alpha)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma\cdot 4\cdot\frac{1}{4}\pi}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma(2(\pi-2\alpha))}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma(2\pi - 4\cdot\frac{1}{4}\pi)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0} = E_1$$

• по принципу суперпозиции ~~электростатических полей~~

$$\vec{E_\Sigma} = \vec{E_1} + \vec{E_2}, \quad E_\Sigma = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2}\,E_1 = \frac{\sqrt{2}\,\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0}$$

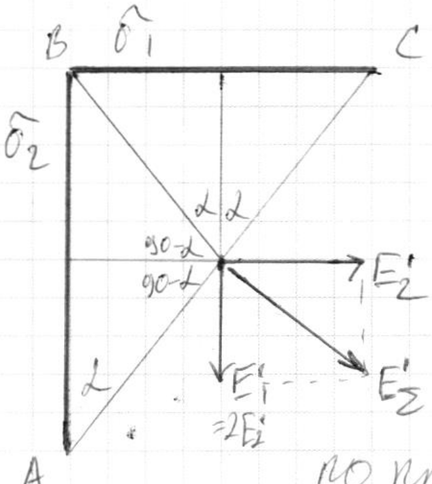
суммарная
новая напряженность в точке K

была $E_1 = \frac{\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0}$

$$\boxed{\frac{E_\Sigma}{E_1} = \frac{\sqrt{2}\,\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{4\varepsilon\varepsilon_0}{\sigma} = \sqrt{2}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) $\sigma_1 = 3\sigma > 0$, $\sigma_2 = \sigma > 0$, $\alpha = \frac{\pi}{5}$



$$E_1 = \frac{\sigma_1 2\cdot 2\alpha}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\sigma 4\cdot\frac{1}{5}\pi}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\sigma}{5\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{6\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma_2\cdot 2(\pi-2\alpha)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma(2\pi - 4\cdot\frac{1}{5}\pi)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{6\sigma}{20\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{1}{2}E_1$$

по принципу суперпозиции

$$\vec{E'_\Sigma} = \vec{E'_1} + \vec{E'_2}$$

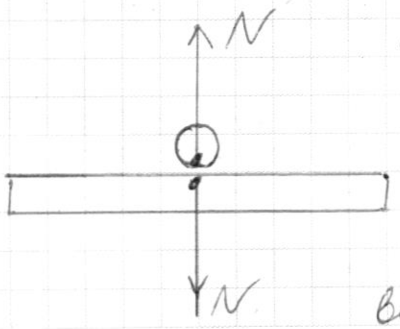
$$E'_\Sigma = \sqrt{(E_1')^2 + (E_2')^2} = \sqrt{5(E_2')^2} = \sqrt{5}\,E_2' =$$

$$= \cancel{\frac{3\sqrt{5}}{\varepsilon\varepsilon_0}} = \frac{3\sqrt{5}\,\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$

Ответ: 1) $\frac{E_\Sigma}{E_1} = \sqrt{2}$

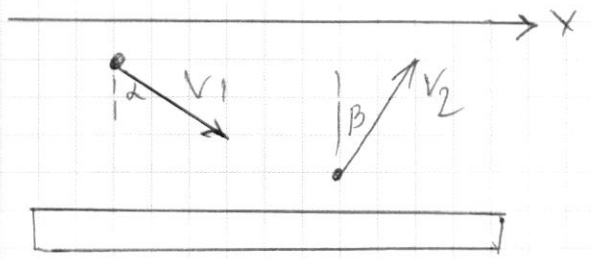
2) $E'_\Sigma = \frac{3\sqrt{5}\,\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$

$\boxed{1}$ 1) Рассмотрим момент удара шарика о плиту



- при ударе, пренебрегая силой тяжести, на шарик и плиту действуют вертикальные силы реакции опоры N
- т.к. горизонтальная поверхность плиты гладкая, то горизонтальных сил взаимодействия во время удара нету

это значит, что импульс системы сохраняется по горизонтали, в частности шарика отдельно



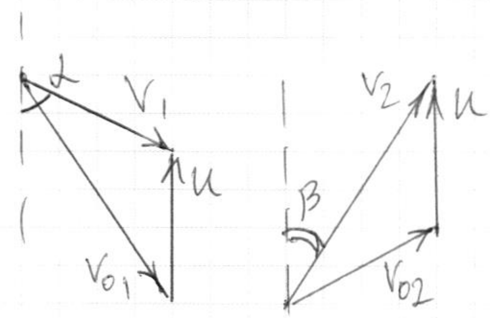
ЗСИ для шарика на ось X:

$V_1 \sin\alpha = V_2 \sin\beta$

$$\boxed{V_2 = V_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 12 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{1} = \boxed{18\frac{м}{с}}}$$

2) • по условию плита массивная, значит имеет место быть парадокс большого тела: перейдя в СО плиты можно пренебречь изменением ее скорости

• запишем закон сложения скоростей для шарика до и после удара:



$\vec{V_{01}} = \vec{V_1} - \vec{u}$

$\vec{V_{02}} = \vec{V_2} - \vec{u}$

• возвращаясь к пункту 1 к силе N — неизвестная сила возникающая и резко изменяющаяся во время удара

Если бы удар был упругим, то угол падения равнялся бы углу отражения (отскока) в СО плиты

Но по условию удар неупругий, а значит $\vec{V_{01}}$ и $\vec{V_{02}}$ составляют разный угол с нормалью

• также при неупругом ударе сумма работ внутренних сил не равна нулю $A_I + A_{II} \neq 0$

F_I и F_{II} внутренние силы, A_I и A_{II} их работы

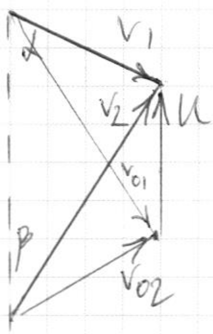
можно предположить, что плита покрыта пружинящим слоем, который „разгоняет" шарик при ударе и такое взаимодействие будет неупругим

или „замедляет"

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) изобразим комбинированный треугольник скоростей для закона сложения скоростей



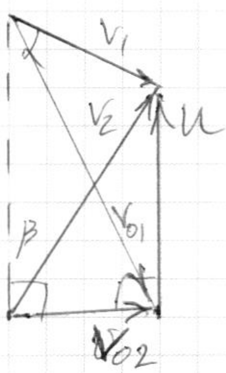
• Из логики V_{02} не может опуститься ниже горизонтального уровня — иначе она была бы направлена в плиту

• крайний случай — $\vec{u} \perp \vec{V}_{02}$

из геометрии в этом случае

$$u = V_2\cos\beta = 18\frac{м}{с}\cdot\sqrt{1-\frac{1}{9}} = 18\cdot\sqrt{\frac{8}{9}} =$$

$$= \frac{18\cdot 2\sqrt{2}}{3} = 12\sqrt{2}\,\frac{м}{с}$$



• по условию скорость у плиты есть, т.е. $u>0$

поэтому $0<u<12\sqrt{2}\,\frac{м}{с}$

Ответ: 1) $V_2 = V_1\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 18\frac{м}{с}$

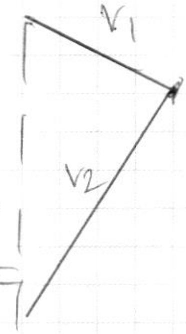
2) $0\frac{м}{с} < u < 12\sqrt{2}\,\frac{м}{с}$

3σ

σ

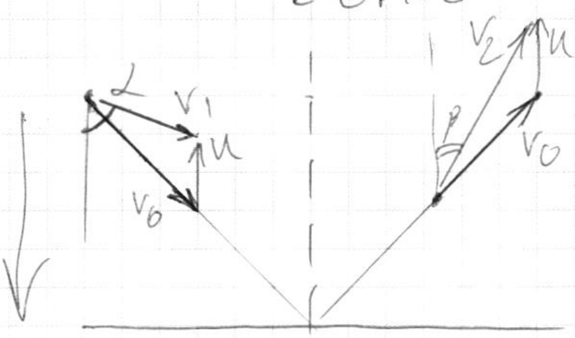
$$\frac{3\sigma\cdot\frac{4}{5}\pi}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}=\frac{3\sigma}{5\varepsilon\varepsilon_0}$$

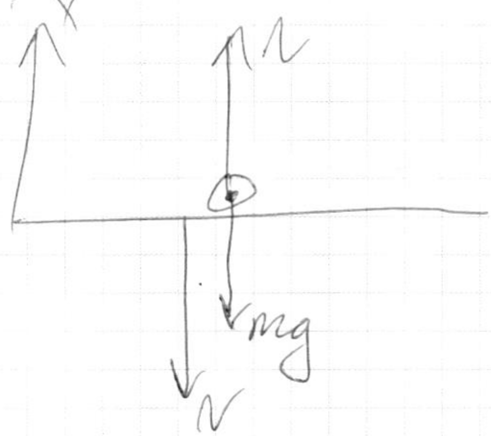
$$\frac{\sigma\cdot\left(2\pi-\frac{4}{5}\pi\right)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}=\frac{3\cdot 6\pi\sigma}{5_2\, 4\pi\varepsilon\varepsilon_0}=\frac{3\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$



$$\sqrt{\left(\frac{3\sigma}{5\varepsilon\varepsilon_0}\right)^2+\left(\frac{3\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}\right)^2}=\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\sqrt{\frac{9}{25}+\frac{9}{100}}=$$

$$=\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\sqrt{\frac{45}{100}}=\frac{3\sqrt{5}\,\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$





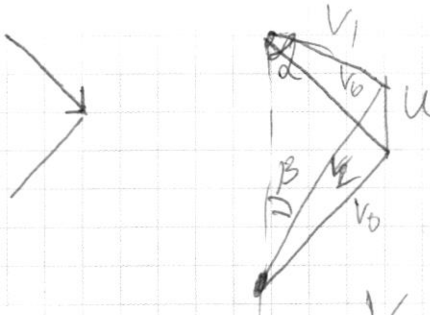
$v_1\cos\alpha+u=v_0$

$v_2\cos\beta-u=v_0$

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

$v_2=v_1\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=v_1\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{1}=\cancel{12}^{6}\cdot\frac{3}{\cancel{2}}=18$

$x:\ N\Delta t=\Delta p=-v_{0x}m+mV$



$\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mu^2=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}M(u-\Delta u)^2$

$m(v_2^2-v_1^2)=M(u^2-(u-\Delta u)^2)$

$\Delta u(2u-\Delta u)$

$m(v_2^2-v_1^2)=2Mu\Delta u$

$v_1\cos\alpha-u=-v_2\cos\beta-(u-\Delta u)$

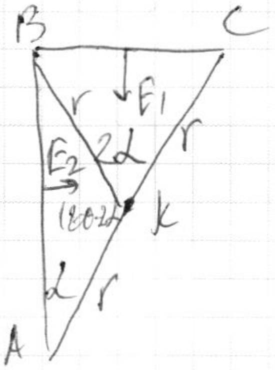
$v_1\cos\alpha+v_2\cos\beta=\Delta u$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3



$$E = \frac{\sigma \Omega}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}$$

$S_{всей} = 4\pi r^2$

$$\Omega = \frac{S_{часть}}{S_{всей}} =$$

$S_{часть}$ для плоскости $= 2\pi r^2$

$$= \frac{2\pi r^2}{4\pi r^2}$$

плоскости 2π

$\Omega = 2\pi$

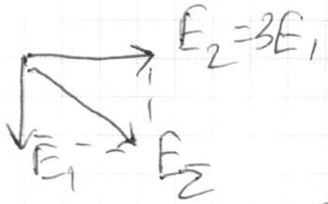
$\Omega_{BC} = 2\alpha$

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

$\Omega = 4\alpha$ $\quad S = \pi r^2 \cdot 4$ $\quad \alpha = \frac{\pi}{4}$

$$E_1 = \frac{\sigma \cdot 4\alpha}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma \cdot 4 \cdot \frac{\pi}{4}}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma(\cancel{360}^{4\pi} - 4\alpha)}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma(4\pi - 4\cdot\frac{\pi}{4})}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma 3\pi}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0} = 3E_1$$



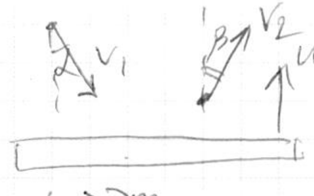
$$E_\Sigma = \sqrt{3E_1^2 + E_1^2} = 2E_1 = \frac{2\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$E_1 = \frac{3\sigma \cdot 4 \cdot \frac{\pi}{5}}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\sigma}{5\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{6\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma \cdot 2 \cdot (\pi - \frac{2\pi}{5})}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{2\sigma \cdot 3\pi}{2 \cdot 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 5} = \frac{3\sigma}{10\varepsilon\varepsilon_0}$$

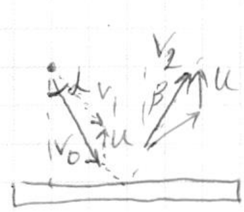
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) со Земли

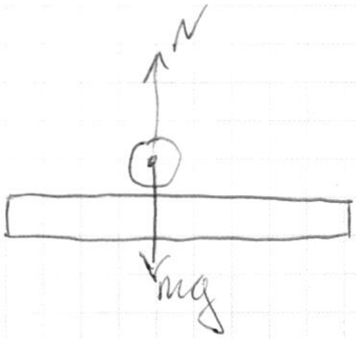


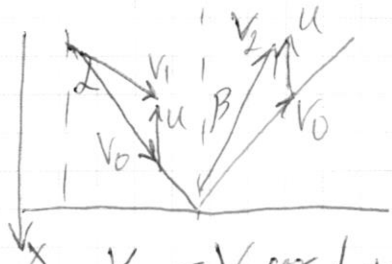
$M \gg m$

со плиты



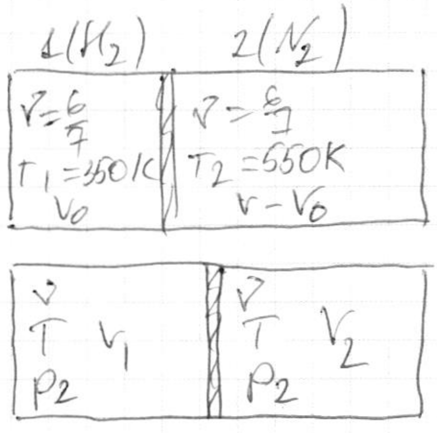
неупр. взаимодействие
$A_I + A_{II} \neq 0$





$V_{0x} = V_1\cos\alpha + u$
$V_{0x} = V_2\cos\beta - u$

2)



начало

~~г.к.т~~ $Q_{поршня} = 0$

$P_г = P_a$

М-К

$P_{г1}V_{г1} = \nu R T_1$ $\quad P_2 V_{г2} = \nu R T$ $\quad V_{г2} = V_{a2}$

$P_{a1}V_{a1} = \nu R T_2$ $\quad P_2 V_{a2} = \nu R T$

т.е. $V_{г2} = V_{a2} = \frac{1}{2}V$

$Q_в = \Delta U_г + A_г > 0$ нагревался

$Q_a = \Delta U_a + A_a < 0$ охлаждался

$\Delta U_г + A_г = \Delta U_a + A_a$ $\quad A_г = -A_a$

~~$\Delta U_г = \Delta U_a$~~

~~$C_V \nu (T - T_1) = C_V \nu (T - T_2)$~~

$0 = \Delta U_г + \Delta U_a$

$0 = T - T_1 + T - T_2$

$T_1 + T_2 = 2T$

$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450K$

$Q_B = \Delta U_B + A_B$ $\qquad \frac{V_{r1}}{V_{a1}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{35}{55} = \frac{7}{11}$

$p_1 \cdot \frac{7}{18} V = \nu R 350$ $\qquad p_2 \cdot \frac{1}{2} V = \nu R \cdot 450$

$p_1 \cdot \frac{11}{18} V = \nu R \cdot 550$ $\qquad p_2 \cdot \frac{1}{2} V = \nu R\, 450$

$p_1 = \frac{\nu R}{V} \cdot 350 \cdot \frac{18}{7} - \frac{\nu R}{V} \cdot 50 \cdot 18 = 500 + 400 = 900$

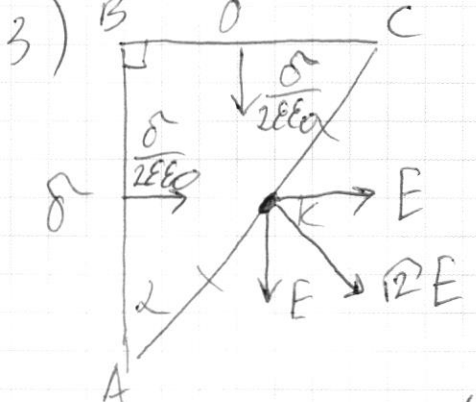
$p_2 = \frac{\nu R}{V} \cdot 450 \cdot 2 = 900$ $\qquad \frac{7}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 100 = 300$

8,31
24,93

$\frac{5R}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 100 + \frac{\nu R}{V} \cdot 900 \cdot \frac{2}{18} V =$

$= \frac{15R}{7} 100 + \frac{6R}{7} \cdot 100 = 3R \cdot 100 = 25 \cdot 100 = 2500$ Дж

3)



$\sigma > 0$

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon}$

$S = \pi R^2 = \pi \left(\frac{1}{3} D\right)^2 = \frac{\pi D}{9}$

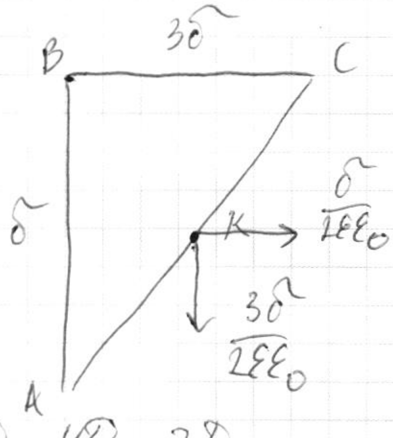
$S_M = \pi r^2$

$I_0 = P(S) k$

$P(S) = S\rho$

$4 \cdot \frac{\pi D^2}{9} = 9 \pi r^2$

$I_0 = S\rho k =$



$D^2 = \frac{81}{4} r^2$

$I_1 = (S - S_m) \rho k$

$r^2 = \frac{4D^2}{81}$

$r = \frac{2D}{9}$

$\frac{I_0}{I_1} = \frac{S}{S - S_M} = \frac{9}{5}$

$\frac{2D}{3} - \frac{4D}{9} = \frac{2D}{9}$

$\frac{9}{5} = \frac{S}{S - S_M}$

$\frac{2D}{9} \cdot \frac{9\tau_0}{4D} = \frac{\tau_0}{2}$ $\qquad \tau_0 + \frac{\tau_0}{2} = \frac{3}{2} \tau_0$

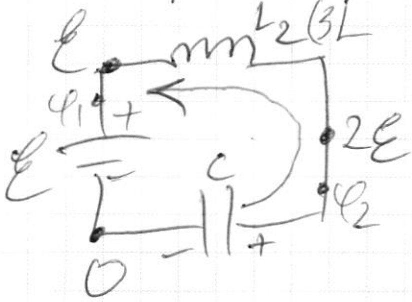
$9S - 9S_M = 5S$

$4S = 9S_M$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

т.е. при открытом диоде цепь равносильна



$$-\mathcal{E} = U_L + U_C$$
$$-\mathcal{E} = L_2 I' + \frac{q}{C}$$
$$-\mathcal{E} = 3Lq'' + \frac{q}{C}$$

$$q'' + \frac{q}{3LC} = \frac{-\mathcal{E}}{3L} \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{3LC}} \quad T_2 = 2\pi\sqrt{3LC}$$

$$\omega^2 q_0 = \frac{-\mathcal{E}}{3L} \qquad \frac{1}{3\cancel{L}C} q_0 = \frac{-\mathcal{E}}{\cancel{3L}} \Rightarrow \boxed{q_0 = -\mathcal{E}C}$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_L$$
$$\varphi_2 - \varphi_1 = -U_C + \mathcal{E}$$

$$q_0 = 2\mathcal{E}C$$
$$\frac{1}{3LC} \cdot 2\mathcal{E}C = \frac{2\mathcal{E}}{3L}$$

Если $I_2 = I_m$, то $U_L = 0$, $U_C = \mathcal{E}$

был $2C\mathcal{E}$
стал $C\mathcal{E}$

$$A_б = (+\mathcal{E})(C\mathcal{E} - 2C\mathcal{E}) = -C\mathcal{E}^2$$

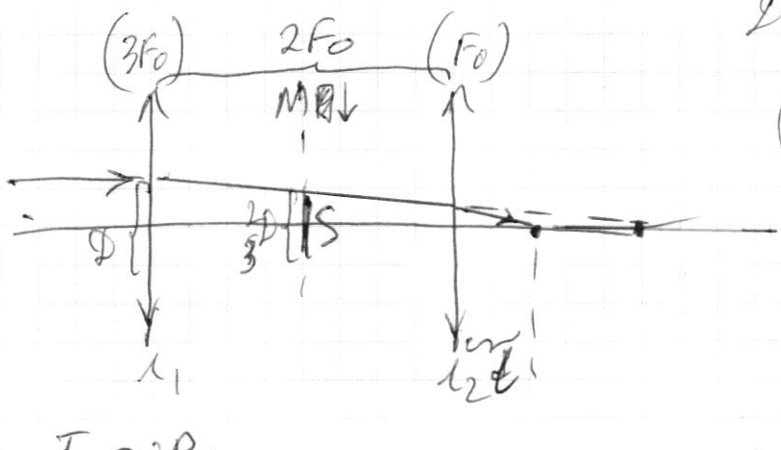
$$A_б = W_{C2} - W_{C1} + W_{L2} - \underbrace{W_{L1}}_{=0}$$

$$-C\mathcal{E}^2 = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 - \frac{1}{2}C(2\mathcal{E})^2 + \frac{1}{2}3L I_{2m}^2$$

$$\frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 = \frac{1}{2}L I_{2m}^2$$

$$I_{2m} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}$$

$$P(S) \equiv I_0$$
$$P(S - S_m) \equiv I_1 = \frac{5I_0}{9}$$



D-диаметр
$D \ll F_0$
F_0, D, I_0

$$I_1 = \frac{5I_0}{9}$$

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

$I \sim P_{света}$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__
(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

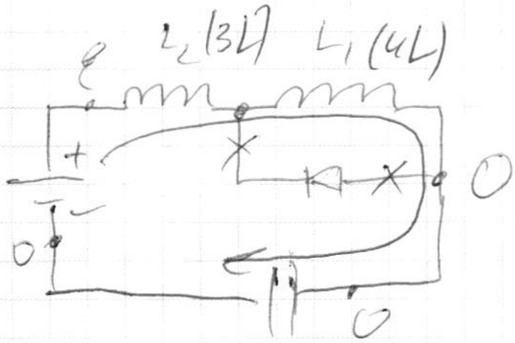
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4)

$L_1 = 4L$

$L_2 = 3L$

C



1) $\mathcal{E} = U_L + U_C$

$\mathcal{E} = (L_1 + L_2) I' + \frac{q}{C}$

$\mathcal{E} = 7Lq'' + \frac{q}{C}$

$q'' + \frac{q}{7LC} = \frac{\mathcal{E}}{7L}$ $\quad \omega = \frac{1}{\sqrt{7LC}}$ $\quad T_1 = 2\pi\sqrt{7LC}$ $\quad \mathcal{E}(q-0) = \frac{1}{2}C\mathcal{E}^2 = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

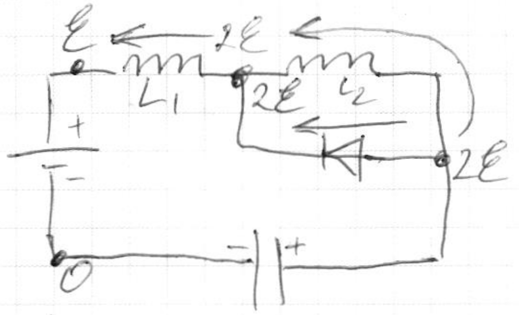
$\omega^2 q_0 = \frac{\mathcal{E}}{7L}$

$\boxed{q_0 = \mathcal{E}C}$

$2\mathcal{E}qC = q^2$

$q = 2\mathcal{E}C$

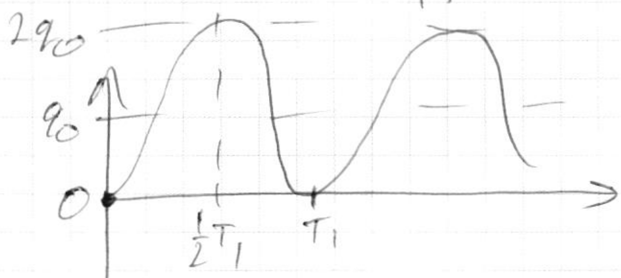
2)



$q = A\cos\omega t + B\sin\omega t + q_0$

$q(0) = 0 \rightarrow A = -q_0$

$B = 0$



$q = (-q_0)\cos\omega t + q_0$

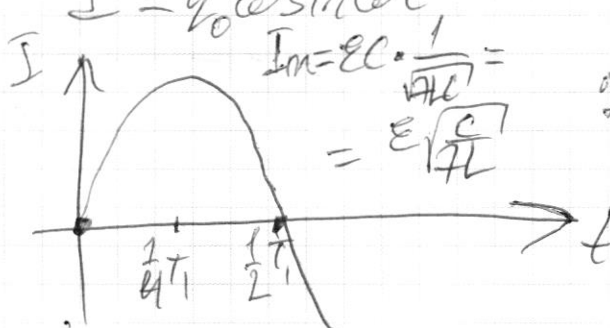
$q(t = \frac{1}{2}T_1) = (-q_0)(-1) + q_0 = 2q_0$

$U = \frac{q}{C} = \frac{2q_0}{C} = 2\mathcal{E}$

$I = q' = ((-q_0)\cos\omega t + q_0)' = ((-q_0)\omega(-\sin\omega t))' =$

$I = q_0\omega\sin\omega t$ $\quad = \cancel{(q_0\omega\sin\omega t)' = q_0\omega^2\cos\omega t}$

$I_m = \mathcal{E}C \cdot \frac{1}{\sqrt{7LC}} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{7L}}$



для L_2 $\quad U = LI'$

$U = 0 = L \cdot 0 \Rightarrow I' = 0$

$I = const$

т.к. ток скачком не меняется, то $I_{L_2} = 0$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)