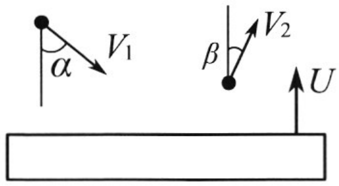
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

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 $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ 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.



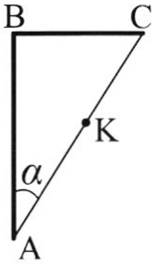
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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 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?

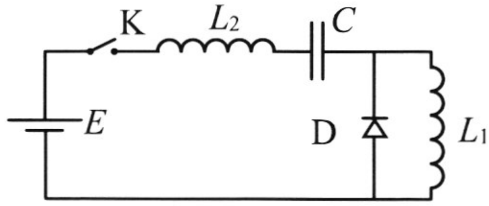
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



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?

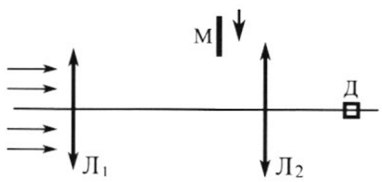
2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

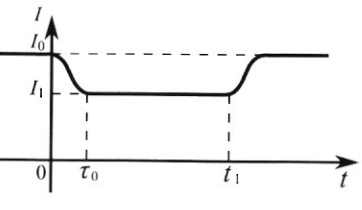
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.



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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 $Л_1$ 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 $5F_0/4$ от Л$_1$. 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 Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

Дано

$\sin\alpha = \frac{2}{3}$

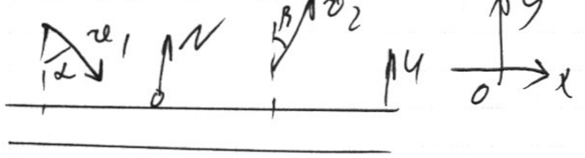
$v_1 = 6\ \frac{м}{с}$

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

$v_2 - ?$

$μ - ?$

Решение



Т.к. по Ox никакие силы не действуют запишем ЗСИ

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

$v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = 6 \cdot 2 = 12\ (\frac{м}{с})$

На Оy действует сила N - реакция опоры

ЗСИ будет иметь вид

$N \cdot t = m v_1 \cos\alpha + m v_2 \cos\beta$ (2)

где t - время удара

ЗСЭ:

$\Delta W = A$

где A - работа силы N

$\frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = N \cdot S$ (1)

S - расстояние, пройденное пластинкой за время удара поделим (1) на (2)

$$\frac{S}{t} = \frac{m v_2^2 - m v_1^2}{2m(v_2\cos\beta + v_1 \cancel{\sin\alpha}^{\cos})} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(v_2\cos\beta + v_1\cos\alpha)} = u$$

$$u = \frac{108\cdot 9}{12(2\sqrt{8}+\sqrt{5})} = \frac{99}{2\sqrt{8}+\sqrt{5}}$$

Ответ: $12\,\frac{м}{с}$; $\frac{99}{2\sqrt{8}+\sqrt{5}}\,\frac{м}{с}$

№2

Дано

$\nu = \frac{6}{25}$ моль

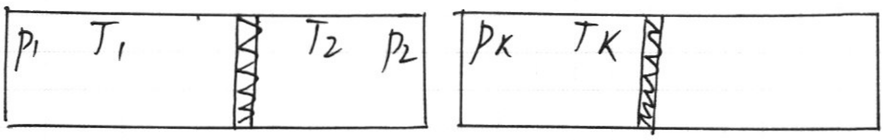
$T_1 = 330\,K$

$T_2 = 440\,K$

$i = 3$

$R = 8{,}31\,\frac{Дж}{моль\cdot K}$

Решение



т.к. до теплообмена поршень был в покое, то $p_1 = p_2$ и после обмена p_K – у обоих газов.

во время движения поршень двигался за счет разницы давлений. т.к. он двигался медленно то $p = const$ в обоих отсеках.

Закон Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\cancel{\nu R} T_1}{\cancel{\nu R} T_2} = 0{,}75$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 (продолжение)

Т.к. сосуд теплоизолированный, то $Q_1 = Q_2$

$\Delta U_1 + A_1 = \Delta U_2 + A_2$

т.к. процесс изобарный, то

$Q_1 = \frac{5}{2}\nu R \Delta T_1 = \frac{5}{2}\nu R \Delta T_2$

$T_K - T_1 = \Delta T_1$

$T_2 - T_K = \Delta T_1$

$T_K - T_1 = T_2 - T_K$

$T_K = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 (K)$

$Q_2 = \frac{5}{2}\nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \frac{6}{25} \cdot \cancel{385} (440 - 385) =$

$= 8,31 \cdot 3 \cdot 11 = 274,23 (Дж)$

Ответ: 0,75; 385 K; 274,23 Дж.

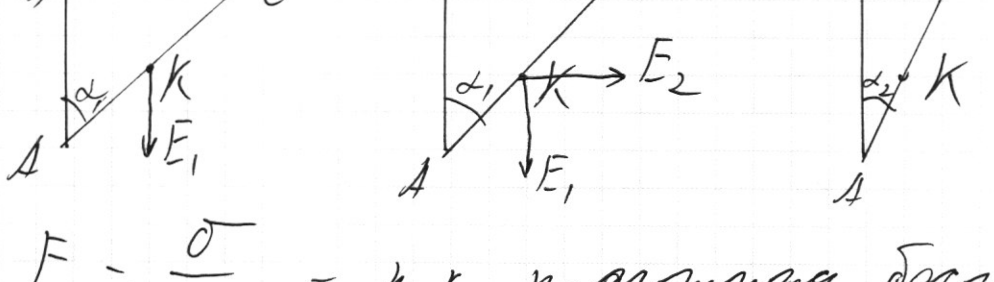
№3

Дано

$\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$

$\alpha_2 = \frac{\pi}{8}$

Решение



$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ – т.к. пластина бесконечная.

Т.к. поверхностная плотность заряда в первом случае у обеих пластин одинакова, то $E_1 = E_2$

$E_{общ} = \sqrt{2}\, E_1$

$\frac{E_{общ}}{E_1} = \sqrt{2}$ (в $\sqrt{2}$ раз увеличится)

2) $E_1 = \frac{4\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ $E_2 = \frac{4\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$

$E_{общ} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{17}\, \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$

Ответ: в $\sqrt{2}$ раз

$\sqrt{17}\, \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$

№5

Дано

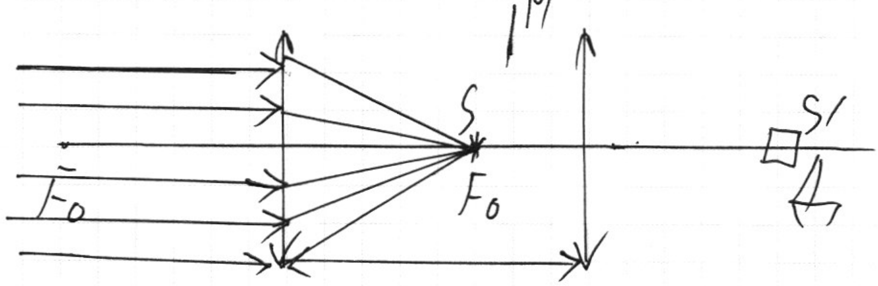
$x = 1{,}5 F_0$

F_0, $F_0/3$

$x_1 = \frac{5F_0}{4}$

$I_1 = 8I_0/9$

Решение



Изображение параллельного пучка света при прохождении линзы будет в фокусе F_0.

Для второй линзы рассмотрим его как предмет S, тогда его изображение S' находится в Д

По формуле тонкой линзы

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5 (продолжение)

$$\frac{1}{F_0/3} = \frac{1}{(x-F_0)} + \frac{1}{f}$$

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

f – и есть расстояние от $Л_2$ до Д

2) Мишень двигается между фокусом первой линзы и второй линзой.

Т.к. мощность прямо пропорциональна потоку и прямо пропорционально сила тока ~~то~~ то сила тока прямо пропорциональна площади сечения ~~в~~ светового пучка.

По графику:

$\tau_0 - t_1$: мишень полностью в световом пучке.

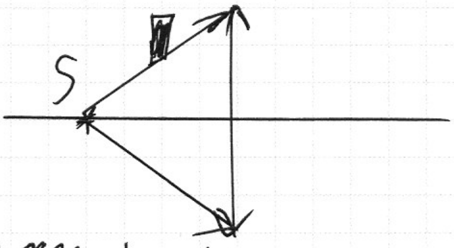
$0 - \tau_0$: мишень заходит в световой пучок. т.е. проходит путь равный своему диаметру.

Пусть диаметр мишени $= D_м$

Т.к. $I_1 = \frac{8I_0}{9}$ то $\Delta I = \frac{I_0}{9}$ – падение силы тока когда мишень заслонила часть по-тока. Т.е. $S_М = \frac{1}{9} S_П$ $\quad D_М = \frac{1}{3} D_П$

$S_М$ – площадь мишени

$S_П$ – площадь пучка

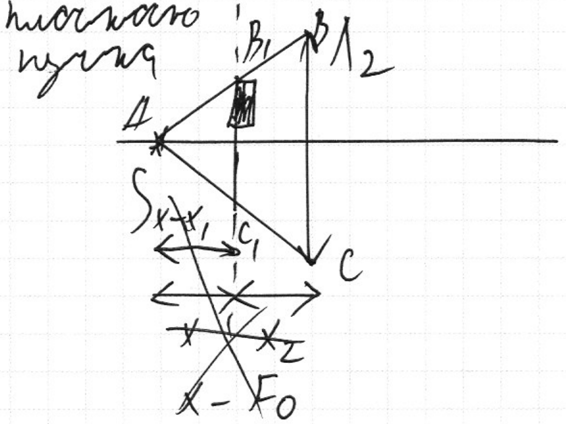


По подобию

$\Delta ABC \sim \Delta AB_1C_1$

BC – плоскость линзы

B_1C_1 – плоскость пучка



$S_Л = \frac{\pi D^2}{4}$ $\quad S_П = \frac{\pi D_П^2}{4}$

$\frac{S_Л}{S_П} = \left(\frac{x-F_0}{x_1-F_0}\right)^2 = \left(\frac{0,5F_0}{0,25F_0}\right)^2$

Следовательно $S_Л = 4 S_П$

$D = \cancel{4}2D_П$

Т.к. $D_М = \frac{1}{3} D_П = \frac{1}{\cancel{12}6} D$

Значит $v = \frac{D_М}{\tau_0} = \frac{D}{6\tau_0}$

$\Delta t = t_1 - \tau_0$ – ~~все~~ время когда ~~пушка~~ мишень находилась в пучке, т.е. проходит путь $D_П - D_М = \frac{D}{2} - \frac{D}{6} = \frac{D}{3}$

$\Delta t = \frac{D}{3v} = t_1 - \tau_0$

$t_1 = \frac{D}{3v} + \tau_0 = 3\tau_0$

Ответ: $f = F_0$; $v = \frac{D}{6\tau_0}$; $t_1 = 3\tau_0$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

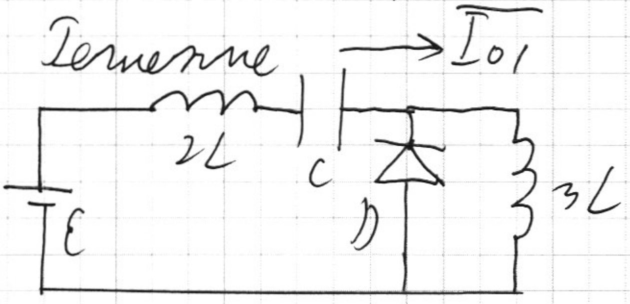
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

Дано
$\mathcal{E}$
$L_1 = 3L$
$L_2 = 2L$
C

Решение



Заметим, что часть периода, когда ток течет в направлении I_{01}: контур состоит из двух катушек и конденсатора.

Если же ток течет в противоположном направлении то контур состоит из конденсатора и катушки L_2. Через L_1 ток не идет т.к. диод идеальный.

Тогда

$$T_1 = 2\pi\sqrt{L_{об}C} = 2\pi\sqrt{5LC}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 2\pi\sqrt{2LC}$$

$$T = \frac{1}{2}T_1 + \frac{1}{2}T_2 = \pi\sqrt{LC}\left(\sqrt{5}+\sqrt{2}\right)$$

$$\frac{(I_{m01})^2(2L+3L)}{2} = \frac{CU_m^2}{2} \quad U_m = \mathcal{E}$$

$$I_{m01} = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{5L}}$$

$$\frac{(I_{m02})^2(2L)}{2} = \frac{CU_m^2}{2} \quad U_m = \mathcal{E}$$

$$I_{m02} = \sqrt{\frac{CU_m^2}{2L}} = \sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{2L}}$$

Ответ: $\pi\sqrt{LC}(\sqrt{5}+\sqrt{2})$

$$\sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{5L}}$$

$$\sqrt{\frac{C\mathcal{E}^2}{2L}}$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

$v_1 = 6\frac{м}{с}$

$\sin\beta = \frac{1}{3}$ $\cos\beta = \frac{\sqrt{8}}{3}$

α

$m v_1$

$\sin\alpha = \frac{2}{3}$ $\cos\alpha = \frac{\sqrt{5}}{9}$

$\cancel{v_2}$

$v_{2x} = v_{1x}$

$\frac{144 - 36}{2\left(\frac{\sqrt{8}}{2 \cdot 9} + \frac{\sqrt{5}}{9} \cdot 6\right)}$

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

$v_1 \cos\alpha + u = v_2 \cos\beta - u$ $v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{6 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{3}} = 12$

$u_{min} = \frac{v_2 \cos\beta - v_1 \cos\alpha}{2}$ $N \cdot t = m v_1 \cos\alpha + m v_2 \cos\beta$ $\Delta W = A + Q$

$\frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = A = N \cdot S + Q$

$\frac{S}{t} = \frac{\frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2) - Q}{m(v_1 \cos\alpha + v_2 \cos\beta)} = u$

$u_{max} =$

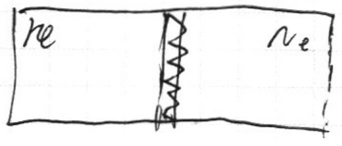
$v_1 \cos\alpha + u = 0$

$u = \frac{12^2 - 6^2}{2\left(6 \cdot \frac{\sqrt{5}}{9 \cdot 3} + 12 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3}\right)} =$

$(0;\ u)$

№2

$mc\Delta t = \frac{5}{2}\nu R \Delta T$ $c = \frac{\nu R}{m} = \frac{5R}{2M}$



$p = \frac{2}{3}\frac{N}{V}E_k$

$Q = \frac{5}{2}pV = \cancel{\frac{5}{2}\nu_{He} R \Delta T_{He} = \frac{5}{2}\nu_{Ne} R \Delta T_{Ne}}$.

$pV = \nu RT$

$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_{He}}{T_{Ne}} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4} = 0{,}75$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

$Q = \Delta U + A$

$Q_1 = \frac{3}{2}\nu_{He} R(T_k - T_1) + p\Delta V_{He}$

$Q_1 = \frac{5}{2}\nu_{He}(T_k - T_2) + p\Delta V_{He}$

$Q \ \frac{5}{2}\nu_1 R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T_2$

$Q = \frac{5}{2}\cdot 8{,}31\cdot\frac{36}{25}\cdot 55$

$T_k - 330 = 440 - T_k$

$T_k = \frac{330+440}{2} = 385\ (K)$

$Q = 33\cdot 8{,}31$

$Q = \nu C_M \Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T \qquad C_M = \frac{5}{2}R$

$\frac{5}{2}\cdot 8{,}31$

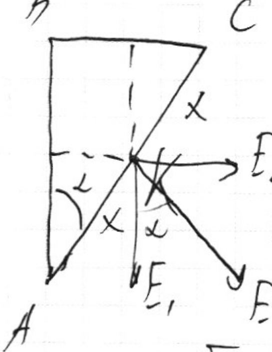
$8{,}31 \times 33$

2493

2493

$274{,}23$

≈ 3



$\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$

$E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0 r_2^2}$

$E_{21} = \frac{4\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0(x\cos\alpha)^2}$

$E_{22} = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0(x\sin\alpha)^2}$

$r_2 = x\sin\alpha$

$r_1 = x\cos\alpha$

$U = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$

$F = Eq \qquad F = \frac{kq_1q_2}{R^2} \qquad E = \frac{kq}{R^2}$

$E_{2\sigma} = \sqrt{\frac{16\sigma^2}{2\varepsilon^2\varepsilon_0^2(x\cos\alpha)^2} + \frac{\sigma^2}{4\varepsilon^2\varepsilon_0^2(x\sin\alpha)^2}} =$

$\frac{16\sigma\ \cancel{4}}{4\varepsilon^2\varepsilon_0^2 x(\sqrt{2}+2)}$

$\frac{\sigma}{\varepsilon^2\varepsilon_0^2 x(2-\sqrt{2})}$

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

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

$\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}+1}{2} = \frac{\sqrt{2}+2}{4}$

$\frac{-\sqrt{2}+2}{4}$

☑ 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

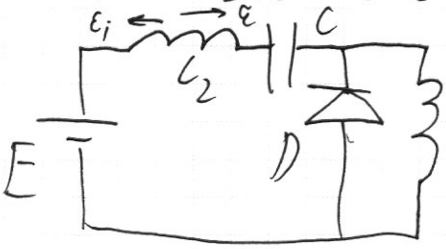
№4

$\mathcal{E}$ $L_1 = 3L$

$L_2 = 2L$

C

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



$T_1 = 2\pi\sqrt{L_1 C}$

$T_2 = 2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}$

$\pi\sqrt{L_1 C} + \pi\sqrt{(L_1+L_2)C}$

$T = \pi\sqrt{3LC} + \pi\sqrt{5LC}$

$T = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+\sqrt{5})$

$\frac{CU^2}{2} = \frac{I_1^2 L_1}{2}$

$C_M = \quad U_M = \mathcal{E}$

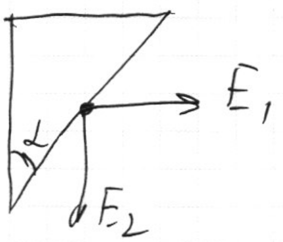
$\cancel{I} = U = U_M \cos\omega t$

$I = I_M \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$

$\frac{(16(2-\sqrt{2}) + 2+\sqrt{2})\sigma^2}{(4-2)\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 x} = \sqrt{\frac{34 - 15\sqrt{2}}{2x}} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0 x} =$

№3

$\operatorname{tg}\frac{\pi}{8} = \frac{\sin\frac{\pi}{8}}{\cos\frac{\pi}{8}} = \frac{\sqrt{\frac{2-\sqrt{2}}{2}}}{\sqrt{2+\sqrt{2}}} =$



$\frac{S_1}{S_2} = \sin\alpha$

$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0 \cancel{x} r^2}$

$E_2 = \frac{4\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$

$\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$

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

$E_{об} = \frac{\sqrt{17}\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}}{\cos\frac{\pi}{8}}$

$\cancel{\sqrt{\frac{1+\frac{\sqrt{2}}{2}}{2}}} = \sqrt{\frac{2+\sqrt{2}}{4}}$

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

~~$\cos\frac{\pi}{8} = \sqrt{17}\ \frac{2+\sqrt{2}}{4}$~~

$\frac{\sqrt{2}}{2} = 2x^2 - 1$

$x = \frac{\sqrt{2}+2}{4}$

$E_1 = \frac{4\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ $E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ $E = \sqrt{17}\frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$

$\frac{\sqrt{2}}{2} = 1 - 2y^2$

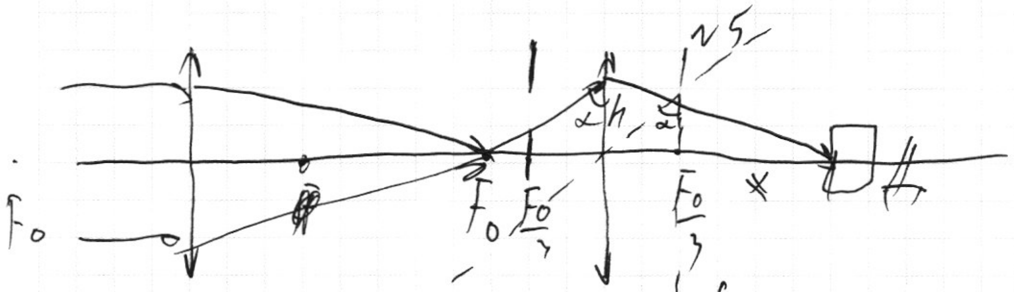
$\frac{2-\sqrt{2}}{2+\sqrt{2}} = 16$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)



$$\frac{\frac{F_0}{2}}{\frac{F_0}{3}} = \frac{3}{2} = \frac{H}{h}$$

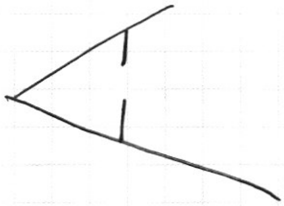
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{Fd}{d-F} = \frac{F_0^2}{6\left(\frac{F_0}{2} - \frac{F_0}{3}\right)} = \frac{F_0^2}{F_0} = F_0$$

Δt = время прохождения мимо

$$\frac{D}{x} = \frac{0{,}5F_0}{1{,}5F_0 - \frac{5}{4}F_0} = \frac{0{,}5F_0}{0{,}25F_0} = 2$$

$x = 0{,}5D$



$M = \frac{1}{9}$

$S_M = \frac{1}{9}$

$x - F_0 - x + x_1$

$$\frac{I_m^2 L}{2} = \frac{Cq^2}{2}$$

$$I_{m_2} = \sqrt{\frac{Cq^2}{2L}}$$

$$I_{m_1} = \sqrt{\frac{Cq^2}{5L}}$$

☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)