

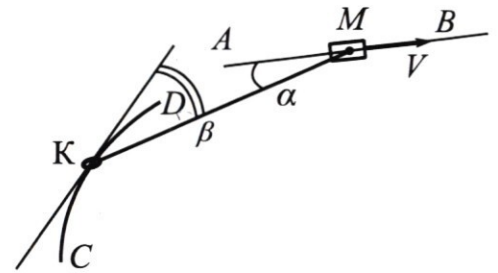
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-01

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без влс

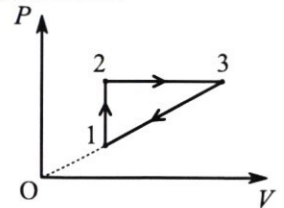
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

- 1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило повышение температуры газа.
- 2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

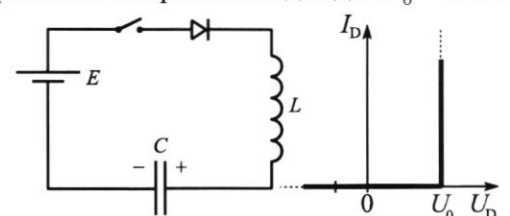


3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

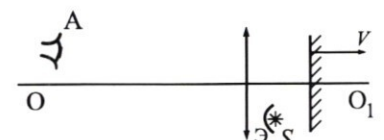
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2

$(T_1 > T_2) T_1 < T_2 < T_3 \Rightarrow T \uparrow$ в процессе 1-2 ; 2-3 .

Теплоемкость : $C = \frac{U}{\Delta T}$

Уравнение состояния :

$$\left. \begin{array}{l} 1 \quad C_3 V_1 = \nu R T_2 \\ 2 \quad C_3 V_3 = \nu R T_3 \end{array} \right\} \Rightarrow C_3 (V_3 - V_1) = \nu R (T_3 - T_2)$$

Запишем 1-ое начало термодинамики :

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{12} = \Delta Q_{12} - A_{12} ; A_{12} = 0 \\ \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \Delta Q_{12} \end{array} \right.$$

$$Q_{23} = \cancel{\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)} + C_3 (V_3 - V_1)$$

Отсюда следует

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) \\ U_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{12} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)}{\cancel{\nu R (T_2 - T_1)}} = \\ = \frac{3}{2} R \\ C_{23} = \frac{\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)}{\nu R (T_3 - T_2)} = \frac{5}{2} R \end{array} \right.$$

Значит $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5}$ или $\frac{C_{12}}{C_{23}} = 0,6$.

1. $\frac{C_{12}}{C_{23}} = 0,6$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + p_3 (V_3 - V_1), \text{ поскольку}$$

$$p_3 (V_3 - V_1) = \nu R (T_3 - T_2), \text{ то :}$$

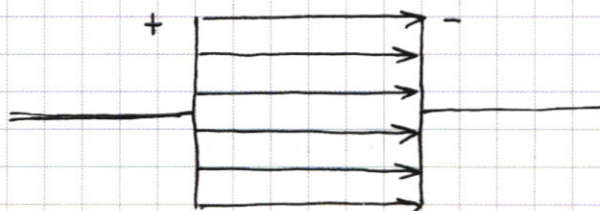
$$\begin{cases} U_{23} = \frac{3}{2} P_3 (V_3 - V_1) + P_3 (V_3 - V_1) = \frac{5}{2} P_3 (V_3 - V_1) \\ A_{23} = C_3 (V_3 - V_1) \end{cases}$$

Таким образом

$$\frac{U_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$$

~~Реш~~ 2. $\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$

~3



Действует Кулоновская сила

1. На частицу действует сила Кулона направленная в сторону (-) от (+). $F_a = Eq$.

Закон движения частицы: $0,75d = v_0 T + \frac{\Delta T^2}{2}$

$$\Rightarrow 1,5d = 2v_0 T + \Delta T^2 \quad \text{т.к. } v_0 = 0, \text{ то } v_0 T = 0 \Rightarrow$$

$$1,5d = \Delta T^2 \quad \Rightarrow \quad \Delta = \frac{1,5d}{T^2}$$

Найдем скорость ~~лет~~ частицы

$$v_1 = \Delta \cdot T = \frac{1,5d}{T}$$

$$\Delta = \frac{1,5d}{T^2} = \frac{F_a}{m} =$$

1. $\underline{v_1 = \frac{1,5d}{T}}$

$$= \frac{Eq}{m} = E \gamma$$

$$E = 1,5d / T^2 \cdot \frac{m}{q}$$

т.к. $d \ll \sqrt{s}$, то

напряженность внутри конденсатора будет:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 s}$$

$$\frac{q}{\epsilon_0 s} = \frac{1,5d}{T^2} \cdot \frac{m}{q} \Rightarrow$$

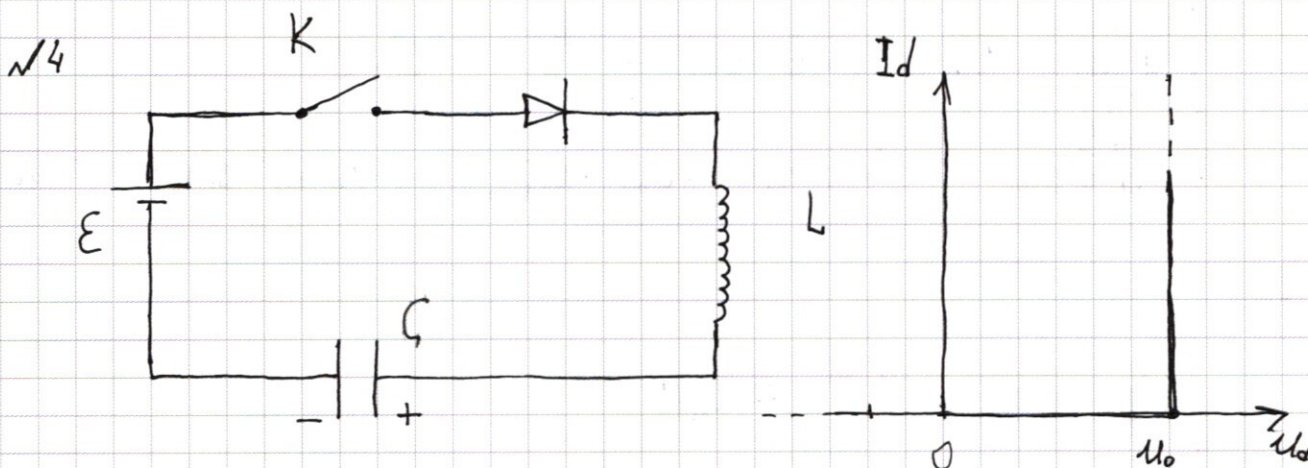
$\Rightarrow$

$$q =$$

$$\frac{1,5d \cdot m \cdot \epsilon_0 \cdot s}{T^2 \cdot q}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2. \quad q = \frac{1,5d \cdot m \cdot \gamma_0 \cdot S}{T^2 \cdot g} = 1,5d \gamma_0 S / T^2 \gamma$$



Запишем второе правило Кирхгофа: $(E = L)$

$$E = -L \frac{dI}{dt} - \frac{q}{C} \quad \text{п.к.} \quad I = \frac{dq}{dt}, \text{ то:}$$

$$E = -L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2} - \frac{q}{C} \quad \text{Разделим на } -L$$

$$(E) = \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{CL} = -\frac{E}{L}$$

Уравнение колебаний? Решение этого уравнения имеет вид $q = U_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$; $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

Начальные у-ия:

$$\begin{cases} U(0) = U_0 C \\ \frac{dq}{dt}(0) = 0 \end{cases}$$

Составим решение уравнения:

$$\begin{cases} -q_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) + \frac{1}{LC} \cdot q_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) + A = -\frac{E}{L} \\ U = U_0 \cos(\omega t + \varphi_0) + A \end{cases}$$

$A = -\frac{E}{L}$; Тогда закон изменения заряда примет вид: ~~$U = U_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$~~ $q = q_0 \cos(\omega t + \varphi_0) - \frac{E}{L}$; поставим начальные условия:

$$\begin{cases} q(0) = U_0 \cos(\omega \cdot 0 + \varphi_0) - \frac{E}{L} = U, C \\ \frac{dq}{dt}(t_{00}) = -U_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \cdot \omega_{t=0} = -q_0 \omega \sin(0 \omega + \varphi_0) = \end{cases}$$

= 0

$$\begin{cases} U_0 \cos \varphi_0 = \frac{E}{L} = U, C \\ -q_0 \omega \sin \varphi_0 = 0 \end{cases}$$

$U_0 \cos 0 = 0$; т.к. $\cos 0 = 1$.

$U_0 \cos 0 = U, C + \frac{E}{L}$, получаем:

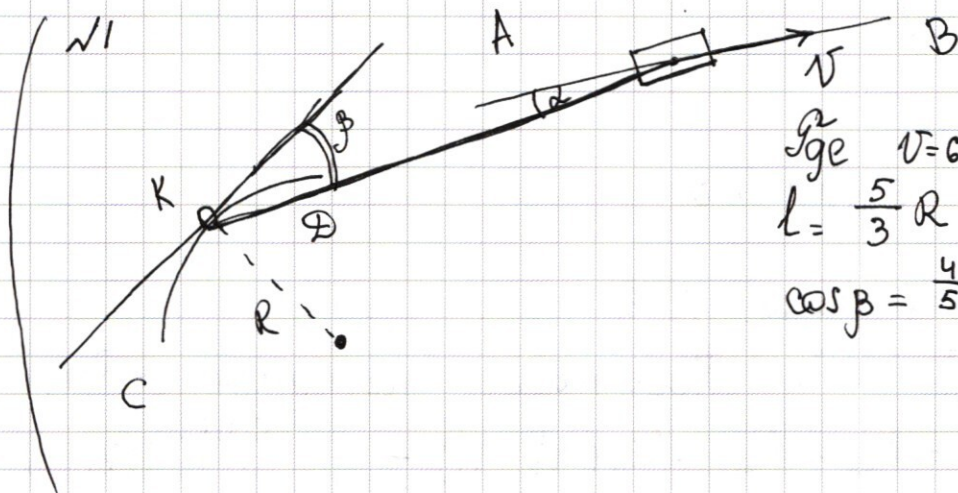
$$U(t) = \left(U, C + \frac{E}{L} \right) \cos \omega t - \frac{E}{L}$$

Найдем скорость возрастания тока в начальный момент времени: $\frac{dq}{dt} = I(t) = \left(U, C + \frac{E}{L} \right) \cdot (-\sin \omega t) \omega$;

$$\frac{dI}{dt} = \left(U, C + \frac{E}{L} \right) (-\omega^2 \cos \omega t);$$

$$\frac{dI}{dt}_{t=0} = \left(U, C + \frac{E}{L} \right) (-\omega^2 \cos 0) = -\omega^2 \left(U, C + \frac{E}{L} \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$v = 68 \text{ м/с}$; $m = 0,1 \text{ кг}$;
 $l = \frac{5}{3} R$; $\cos \alpha = \frac{15}{17}$;
 $\cos \beta = \frac{4}{5}$

$$1. \quad \frac{dI}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{1}{LC} \left(U_C + \frac{E}{L} \right) = \frac{1}{0,1 \text{ Гн} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} \left(5 \text{ В} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} + \frac{9 \text{ В}}{0,1 \text{ Гн}} \right) = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} (200 \cdot 10^{-6} + 90) = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} \cdot (24 \cdot 10^{-4} + 90) = 22,50005 \cdot 10^{-6} \approx 22,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{Id}{dt} \approx 22,5 \cdot 10^{-6}$$

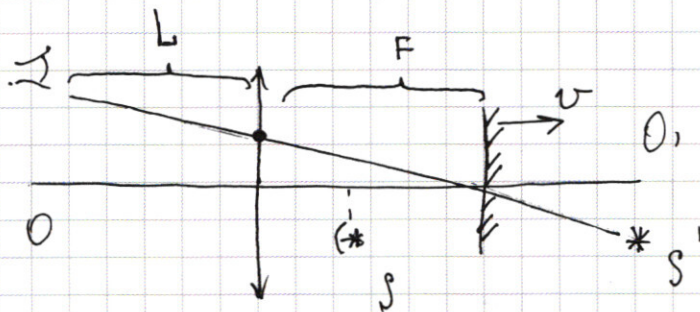
№5

Или применим формулу тонкой линзы, чтобы найти расстояние до изображения:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} ; \quad d = \frac{F}{2} \cdot 3, \text{ подставим}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F/2 \cdot 3} = \frac{1}{F} - \frac{2}{3F} = \frac{1}{3F} \text{ получим}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3F} \Rightarrow \underline{f = 3F} - \text{расстояние до изоб.}$$



Продолжение задачи №2

Найдём пред. возм. КПД.

$$\eta = \frac{A_{\text{полн}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\%.$$

Исчисляем полезную работу

$$A_{\text{полн}} = A_{23} - A_{31} = \left(C_3 (V_3 - V_1) - \frac{C_3 + p_1}{2} (V_3 - V_1) \right) (V_3 - V_1)$$

$$= (V_3 - V_1) \left(C_3 - \frac{p_1}{2} - \frac{C_3}{2} \right) = (V_3 - V_1) \left(\frac{p_3 + p_1}{2} \right).$$

Исчисляем затраченную энергию

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + A_{23}$$

$$= \frac{3}{2} p_1 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} p_3 (V_3 - V_1) + C_3 (V_3 - V_1)$$

$$Q = \frac{5}{2} p_3 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} p_1 (V_3 - V_1)$$

линейная взаимосвязь p и V в процессе

3-1 даёт $p = kV$; $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \begin{cases} p_1 = kV_1 \\ p_3 = kV_3 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{p_1}{V_1} = \frac{p_3}{V_3}$$

Получим КПД.

$$\eta = \frac{(V_3 - V_1) (C_3 + p_1)}{2 \cdot \frac{5}{2} p_3 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} p_1 (V_3 - V_1)}$$

$$\eta = \frac{(V_3 - V_1) \frac{k}{2} (V_3 + V_1)}{k V_3 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} p_1 k (V_3 - V_1)}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} (V_3 + V_1)}{\frac{5}{2} V_3 + \frac{3}{2} V_1} = \frac{V_3 + V_1}{5V_3 + 3V_1}$$

Если $V_3 = kV_1$, то $\eta = \frac{kV_1 + V_1}{5kV_1 + 3V_1} = \frac{V_1 (k+1)}{V_1 (3+5k)}$

Найдём максимум ф-ты: $\eta' = \frac{5x+3-5x-5}{(5x+3)^2} = 0$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$5x + 3 - 5x - 5 = 0 \quad ; \quad -2 = 0 \Rightarrow \text{экстремума не существует}$$

Максимальное значение достигается при $x=0$
 $\eta_{\max} = \frac{1}{3}$. При $(x \neq 0) x=0$.

3. $\eta_{\max} = \frac{1}{3}$

№3 Продолжение третьей задачи.

Поскольку эл. поля снаружи конденсатора нет, то скорость частицы после вылета не изменяется, и скорость на бесконечности равна скорости вылета v_1 .

№5 Продолжение пятой задачи.

Чтобы найти угол α мы должны воспользо-
 зоваться законом отражения который гласит:
 угол падения равен углу отражения $\Rightarrow$ найдем
 угол падения β . Тангенс угла β равен $\frac{3F}{4} \cdot \frac{F}{2}$
 т.к. источник тока находится одинаково рас-
 стоянии от линзы, что составляет $\frac{F}{2}$, а рас-
 стояние $\frac{3F}{4}$ - это расстояние от ист. тока до осч

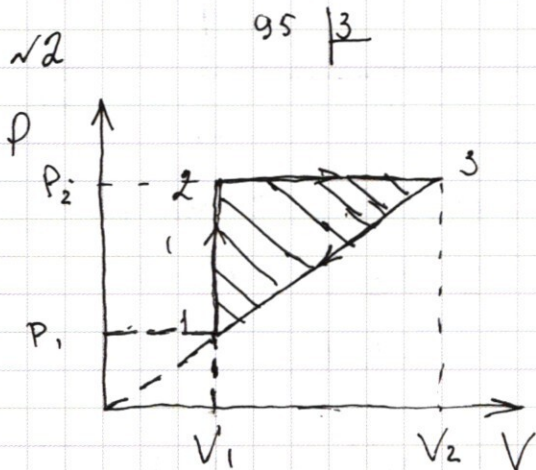
00.

Соответственно $\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{3F}{4}}{\frac{F}{2}} = 1,5 \Rightarrow$

$\operatorname{tg} \alpha = 1,5$ т.к. $\alpha = \beta$.

2. $\operatorname{tg} \alpha = 1,5$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1-2; $V = \text{const}$; $P \sim T$; $P \uparrow$; $T \uparrow$
 $A = 0$; $Q = \Delta U = \frac{3}{2} \cdot$
 $\nu R \Delta T$

2-3; $P = \text{const}$; $V \sim T$; $V \uparrow$; $T \uparrow$
 $Q = A + \Delta U = \frac{5}{2} P \Delta V$

3-1; $P \sim V$; $P \downarrow$; $V \downarrow$

Работа равна площади $\Delta 123$

(вся работа), а Q_1 - количество теплоты; $Q_1 = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$

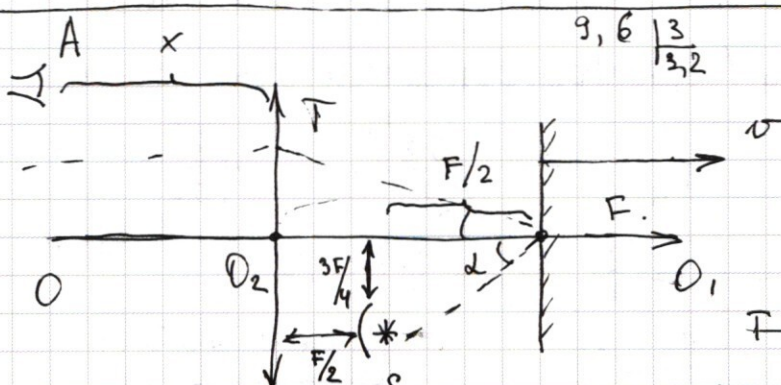
$$\eta = \frac{A_1}{Q} \cdot 100\%; \quad \eta = \frac{S_{\Delta 123}}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$$

$$\eta = \frac{(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{2(\Delta U_{12} + \frac{5}{2} P_2 \Delta V + X)}$$

$$\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$\eta = \frac{\frac{5}{2} P_2 V = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)}{2(\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1) + X)}$$

$$\eta = \frac{(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{3 \nu R (T_2 - T_1) + 5 P_2 (V_2 - V_1) + Q_{31}}$$



$$\tan \alpha = \frac{3F/4}{F/2}$$

$$\tan \alpha = \frac{3F/4}{F/2} = \frac{3}{2} = \tan \alpha = 1,5$$

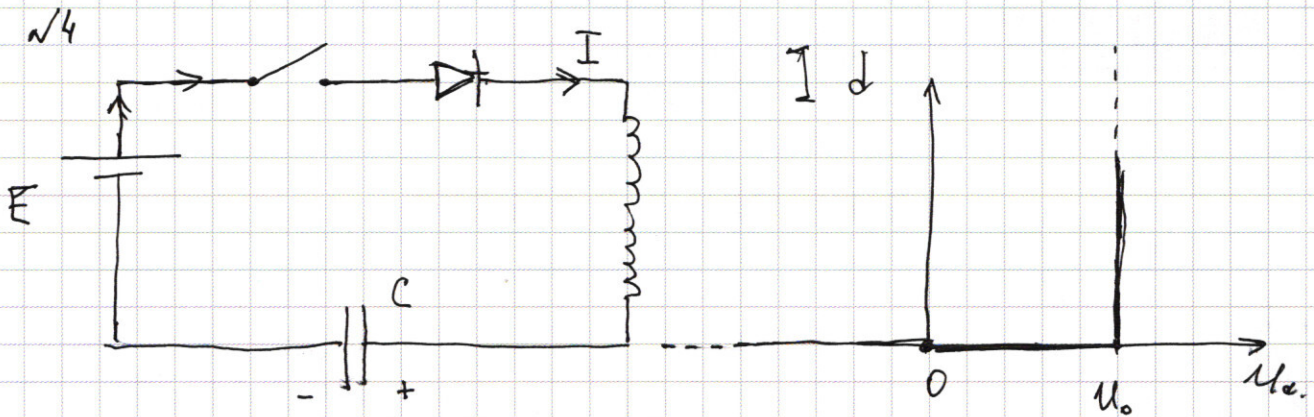
т.к. $\tan \alpha = 1,5$, то

$$\tan \alpha = \frac{TC_2}{F}$$

$$1,5 = \frac{TC_2}{F} \Rightarrow TC_2 = 1,5 F$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} \Rightarrow \frac{1}{C} = \omega^2 L$$

$$L \approx \frac{5 \cdot 19}{3}$$



$\frac{\Delta I}{\Delta t} - ? ; I_m - ? ; U_2 - ? ; L = 0,1 \text{ Гн} ; C = 40 \text{ мкФ} ;$
 $E = 9 \text{ В} ; U_1 = 5 \text{ В}$
 $U_0 = 1 \text{ В} .$

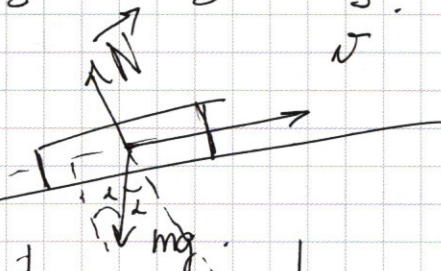
$$T = 2\pi \sqrt{LC} .$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 40 \cdot 10^{-6}} .$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} = 12,64 \cdot 10^{-3} \text{ с} ; \text{тогда } \nu = \frac{1}{12,64 \cdot 10^{-3}} \text{ Гц} .$$

$$\begin{array}{r} 90,0002 \\ - 8 \\ \hline 10 \end{array} \quad \begin{array}{r} 14 \\ 12,50005 \end{array}$$

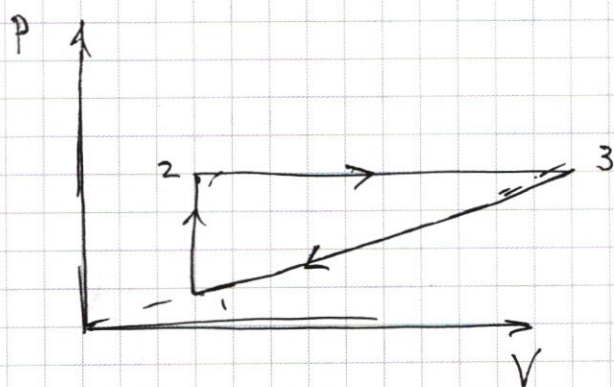
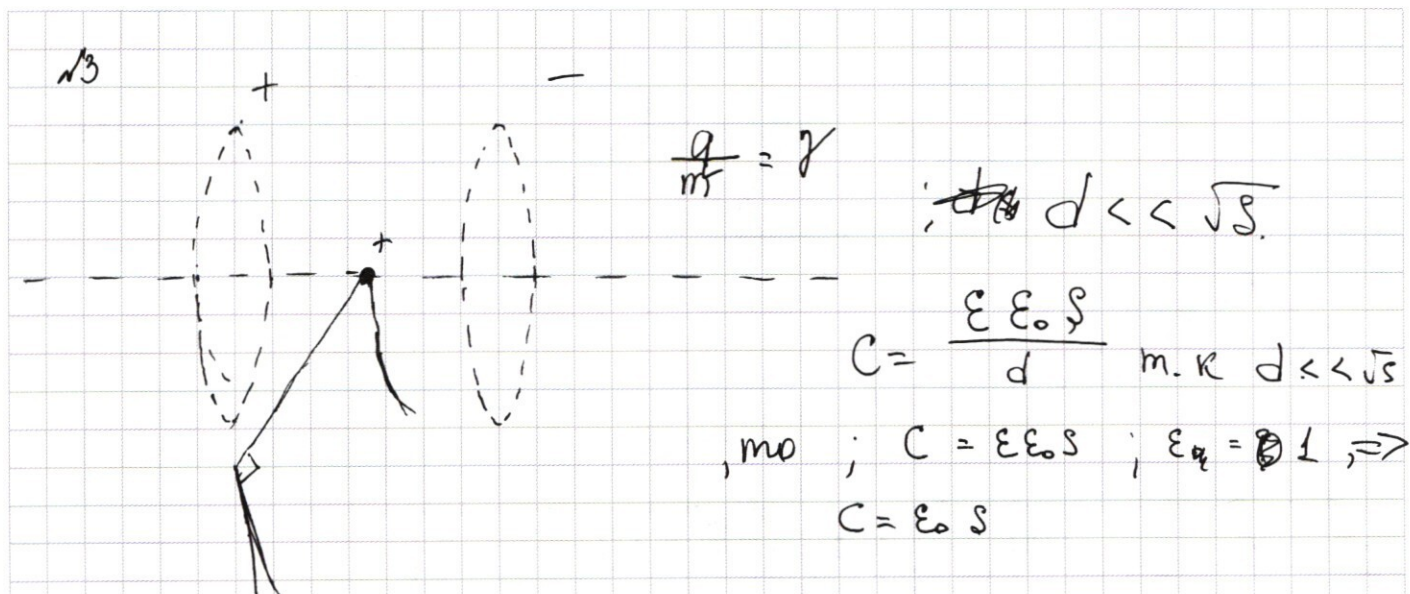
$\omega = 2\pi \nu \Rightarrow$
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$
 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
 $\omega^2 = \frac{1}{LC} ; LC = \frac{1}{\omega^2} ; C = \frac{1}{\omega^2 L}$



П.к. кольцо движется без трения по скорости кольца и широты будут совпадать, но на кольцо будет действовать F_a (центробежная сила).

$F_a = m a = \frac{m v^2}{R} ; F_a = \frac{0,1 \cdot 68^2}{1,9} = \frac{68^2}{19} = \frac{8624}{19} \text{ Н} .$
 $F_a \approx 453 \text{ Н} .$
 $T = \frac{2\pi R}{v} ; \nu = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi R}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Повышение температуры
происходит на участках

1-2 ; 2-3 ;

C_{m12} ; C_{m23} -?

Участок 3-1 : $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

$P \sim V$; $P \downarrow$; $V \downarrow \Rightarrow P_2 < P_1$

$V_2 < V_1 \Rightarrow$

$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

2-3 : $Q = \Delta U + A$

$$Q_2 = \frac{3}{2} P_0 V + P_0 V = \frac{5}{2} P_0 V$$

$$Q = \frac{5}{2} \Delta V ; A = P_0 \Delta V$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{\frac{5}{2} P_0 V}{P_0 V} = 2,5$$

$$\eta_{\max} = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$$

