

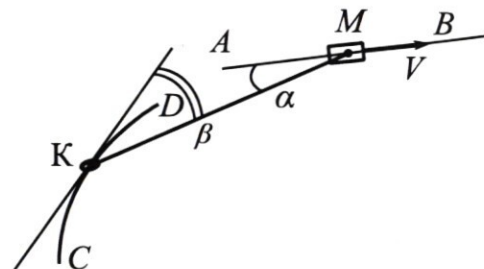
Олимпиада «Физтех» по физике, 6

Класс 11

Вариант 11-04

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

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



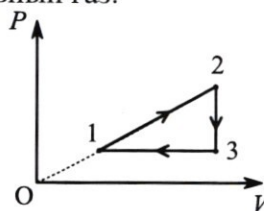
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

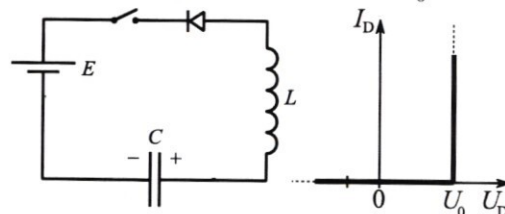
2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

3) Найдите скорость V_0 частицы 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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ 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.

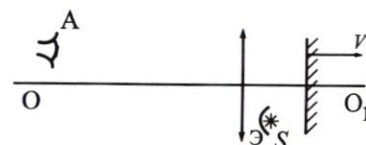


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель A сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

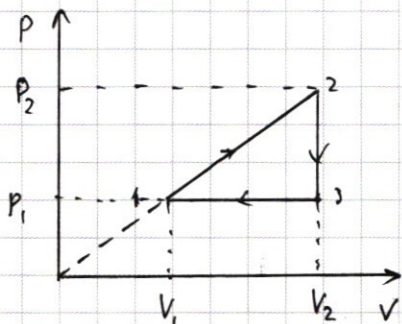
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача № 2



1) ~~P₁, V₁~~ — давление и объём
газа в состоянии 1

P_2, V_2 — давление и объём газа
в состоянии 2.

запишем уравнения Менделеева-Клапейрона

для состояний 1, 2, 3:

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

где T_1, T_2, T_3 — температуры газа в состояниях
1, 2, 3

$$P_2 V_2 = \nu R T_2$$

соответственно

$$P_3 V_3 = \nu R T_3$$

из уравнений видно, что $T_2 > T_1$ (т.к. $P_2 V_2 > P_1 V_1$),
 $T_2 > T_3$ (т.к. $P_2 V_2 > P_3 V_3$), $T_1 < T_3$ (т.к. $P_1 V_1 < P_3 V_3$) $\Rightarrow$

наименьшие температуры достигаются в процессах 23 и 31;

запишем первое начало термодинамики для этих процессов:

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \quad \text{---}$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = P_1 (V_1 - V_2) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$Q_{23} = c_{23} \nu (T_2 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow c_{23} = -\frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = c_{31} \nu (T_3 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3) \Rightarrow c_{31} = -\frac{5}{2} R$$

c_{23} и c_{31} — молярные теплоёмкости в процессах 23 и 31

$$\frac{c_{23}}{c_{31}} = \frac{3R \cdot 2}{2 \cdot 5R} = \frac{3}{5}$$

2) т.к. график процесса 12 — это ^{прямая} линейная функция, выполняющей из 0, то

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}, \text{ тогда пусть } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1};$$

ΔU_{12} - изменение внутренней энергии в процессе 12;

A_{12} - работа газа в процессе 12.

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} (h^2 P_1 V_1 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} P_1 V_1 (h^2 - 1)$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_1 + h P_1) (h V_1 - V_1) = \frac{1}{2} P_1 V_1 (1+h) (h-1) = \frac{1}{2} (h^2 - 1) P_1 V_1$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{3 P_1 V_1 (h^2 - 1)}{2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (h^2 - 1) P_1 V_1} = 3$$

3) η - КПД цикла

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%, \quad A - \text{работа газа за цикл}$$

Q_H - теплота, полученная от нагревателя

$$A = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_2 - P_1) = \frac{1}{2} (h V_1 - V_1) (h P_1 - P_1) = \frac{1}{2} P_1 V_1 (h-1)^2$$

$Q_H = Q_{12}$ (фик 23 - изотермический с увеличением температуры, а 31 - изобарический с увеличением объема)

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 1,5 P_1 V_1 (h^2 - 1) + 0,5 P_1 V_1 (h^2 - 1) = 2 P_1 V_1 (h^2 - 1)$$

$$\eta = \frac{0,5 P_1 V_1 (h-1)^2 \cdot 100\%}{2 P_1 V_1 (h^2 - 1)} = \frac{(h-1)^2}{4(h+1)} \cdot 100\%$$

~~при $P_2 > P_1 \rightarrow h > 1$~~

~~при $h > 1$~~ $\Rightarrow \eta_{\max}$ - максимальное значение КПД

$$0 < \frac{h-1}{4(h+1)} < 1$$

$$h^2 - 1 > 0$$

$$h-1 < 4h+4$$

$$h > -\frac{5}{3}$$

$$h \in \mathbb{R} \setminus \mathbb{Q} \quad (-\infty; -1) \cup (1; +\infty)$$

с учетом всех условий $h > 1$

чтобы КПД было максимум $\frac{h-1}{4h+4}$ максимум $\rightarrow$

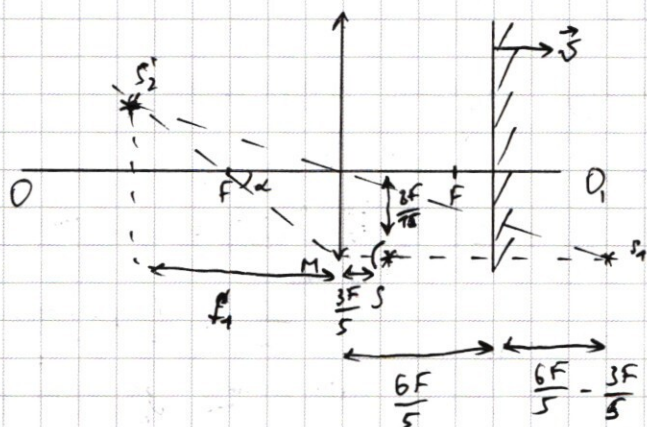
$$\eta_{\max} \text{ при } \frac{h-1}{h+1} \rightarrow 1$$

$$\eta_{\max} \approx 25\%$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 3; 3) 25%

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5



1) d_1 - расстояние
от S_1' (изображение, даваемое
зеркалом) до мизра

$$d_1 = \frac{6f}{5} + \left(\frac{6f}{5} - \frac{3f}{5} \right) = \frac{9f}{5}$$

т.к. изображение S_1' находится на том же расстоянии от зеркала, что и S , только с другой стороны

по формуле тонкой мизры возьмем исконое расстояние f ,
на которое будет располагаться изображение в этот момент S_2'

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} ; f_1 = 1 : \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{d_1} \right) = 1 : \left(\frac{1}{f} - \frac{5}{9f} \right) = \frac{9f}{4}$$

2) из построения изображения S_2' видно, что из-за того, что S_1'
движется горизонтально (параллельно OO_1) (т.к. зеркало тоже движется
вдоль OO_1), то изображение S_2' движется по прямой FS в сторону

точки $F \Rightarrow$ исконый угол α (см. рисунок) $\Rightarrow \tan \alpha = \frac{8f}{15} : f = \frac{8}{15}$

(т.к. $SM \parallel OO_1$, по построению изображения)

3) т.к. зеркало движется со скоростью v , то изображение S_1'
движется со скоростью $2v$ (т.к. расстояние от S до зеркала ~~увеличивается~~
увеличивается при отзеркаливании наложение S_1');

v_2 - скорость изображения S_2'

$$\frac{v_2}{2v} = \gamma^2, \gamma - \text{увеличение мизры}$$

$$r = \frac{f_1}{d_1} = \frac{9F \cdot 5}{4 \cdot 9F} = \frac{5}{4}$$

$$r^2 = \frac{25}{16} = \frac{v_2}{25v} \Rightarrow \frac{25 \cdot 5 \cdot 2}{16} = v_2 = \frac{25v}{8}$$

Ответ: 1) $\frac{9F}{4}$; 2) $tg \alpha = \frac{8}{15}$; 3) $\frac{25v}{8}$.

Задача 3

1) E - напряженность поля между обложками конденсатора

$$E = \frac{U}{d}$$

по II з. Ньютона: $ma = Eq = \frac{Uq}{d}$ $\Rightarrow$ a - ускорение частицы
 $a = \frac{Uq}{dm}$, (из по формулы)

она входит в конденсатор со стороны катода ионами движется
 пластина (из отрицательное зарядовое поле, ~~отрицательное~~
 чтобы остановить внутри конденсатора ионами ионами по
 направлению E), соответственно в конденсаторе она пройдет расстояние

$$d - 0,2d = 0,8d$$

$$0,8d = v_1 \cdot t - \frac{at^2}{2}$$

t - время от входа до остановки

$$0 = v_1 - at = v_1 - \frac{Uq}{dm} t \rightarrow t = \frac{v_1 dm}{Uq}$$

$$0,8d = \frac{v_1^2 dm}{Uq} - \frac{Uq \cdot v_1^2 d^2 m^2}{dm \cdot 2 \cdot U^2 q^2} = \frac{v_1^2 dm}{Uq} - \frac{v_1^2 dm}{2Uq} = \frac{v_1^2 dm}{2Uq};$$

$$1,6Uq d = v_1^2 dm$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v_1^2 d}{1,6Ud} = \frac{v_1^2}{1,6U}$$

2) $0 = v_1 T - \frac{aT^2}{2}$, $T = \frac{2v_1}{a} = \frac{2v_1 dm}{Uq} = \frac{2v_1 d \cdot 1,6U}{U \cdot v_1^2} = \frac{3,2d}{v_1}$

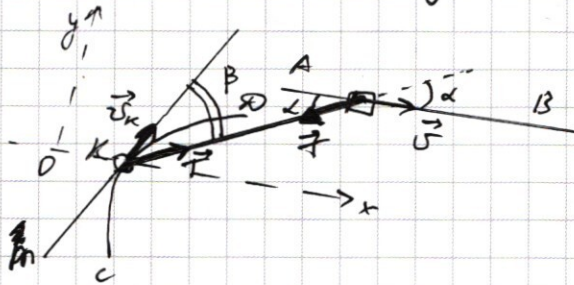
3) вне конденсатора или, сравнение ^{противоположно зарядовым} пластинам конденсатора,

компенсирована $\Rightarrow$ на частицу не действует сила Кулона $\rightarrow v_0 = v_1$

Ответ: 1) $\frac{1,6U}{m} = \frac{v_1^2}{1,6U}$; 2) $\frac{3,2d}{v_1}$; 3) $v_0 = v_1$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1



1) т.к. трес ~~не~~ касательн, то
ве скорости аю точек в направлении на
осв, нулевой, нуль, равно $\Rightarrow$

$$v \cdot \cos \alpha = v_k \cdot \cos \beta, \quad v_k - \text{скорость}$$

кольца к.

$$v_k = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 12}{5 \cdot 8} = \frac{12}{5} \frac{m}{c}$$

2) задан ось x параллельно АВ, тогда скорость кольца относительно

нуль будет равно $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_{ky}^2 + (v - v_{kx})^2}$, где v_{ky} и v_{kx} - проекции

v_k на OX и OY ;

$$v_{ky} = v_k \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5}; \quad \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} + \frac{4}{5} \cdot \frac{5}{17} = \frac{44}{85}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} = -\frac{13}{85}$$

$$v_{ky} = \frac{44}{85} v_k$$

$$v_{kx} = v_k \cdot \cos(\alpha + \beta) = -\frac{13}{85} v_k$$

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{\left(\frac{44}{85} v_k\right)^2 + \left(v + \frac{13}{85} v_k\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{44}{85} \cdot \frac{12}{5}\right)^2 + \left(1 + \frac{13}{85} \cdot \frac{12}{5}\right)^2} = \sqrt{\frac{5 \cdot 232}{50}} = \frac{\sqrt{232}}{5} \frac{m}{c}$$

3) по II з. Ньютона в проекции на ось ~~не~~ перпендикулярную ~~линей~~ ~~линей~~

$$\text{(касательной)} \quad m a_y = \frac{m v_k^2}{R} = T \cdot \sin \beta \rightarrow T = \frac{m v_k^2}{R \cdot \sin \beta} = \frac{0,4 \cdot \frac{12}{5} \cdot \frac{12}{5}}{1,3 \cdot \frac{15}{17}} = \frac{68}{95} \text{ Н}$$

Ответ: 1) $\frac{12}{5} \frac{m}{c}$; 2) $\frac{\sqrt{232}}{5} \frac{m}{c}$; 3) $\frac{68}{95} \text{ Н}$

Задача 4

1) по II закону Кирхгофа

$U_1 - E - \mathcal{E}_{12} = U_0$, где $\mathcal{E}_{12}$ — ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{12} = \frac{L \Delta I}{\Delta t}$$

$$\frac{L \Delta I}{\Delta t} = U_1 - E - U_0; \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{98 - 68 - 18}{0,4 \text{ Гн}} = 5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2) по 3CU: $A_{\text{кст}} = W_{\text{кст}}$, где

$A_{\text{кст}}$ — работа источника

$W_{\text{кст}}$ — энергия катушки

$A_{\text{кст}} = \Delta q \cdot E = (C U_1 - C E) E = C E (U_1 - E)$, где Δq — изменение заряда на конденсаторе

$$W_{\text{кст}} = \frac{L I_m^2}{2}$$

I_m — максимальный ток в цепи после замыкания ключа

$$I_m = \sqrt{\frac{2 C E (U_1 - E)}{L}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 68 \cdot 18}{0,4 \text{ Гн}}} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,03 \text{ А}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1)

$$d_1 = \left(\frac{6F}{5} - \frac{3F}{5} \right) + \frac{6F}{5} = \frac{9F}{5}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$$

$$f_1 = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{d_1}} = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{5}{9F}} = \frac{1}{\frac{4}{9F}} = \frac{9F}{4}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{8F}{15F} = \frac{8}{15}$$

$$\frac{u}{v} = \frac{1}{2}$$

$$r = \frac{f}{\delta} = \frac{1}{4}$$

$$T \cdot \sin \alpha = \frac{mv_k^2}{R}$$

$$v_k \cdot \cos(\alpha + \beta) + v = \dots$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta =$$

$$\left(v_k \cdot \sin(\alpha + \beta) \right)^2 + \left(\frac{63}{25} \right)^2 =$$

$$= \frac{72^2 \cdot 2056}{5^2 \cdot 195} + \frac{3^2 \cdot 22}{5}$$

$$= \frac{2 \cdot 12 \cdot 10}{5 \cdot 10} = \frac{24}{5}$$

$$\frac{13}{5} \cdot \frac{13}{14 \cdot 5} + \frac{2}{5} = \frac{13}{25} + \frac{50}{25} = \frac{63}{25}$$

$$\sin = \sqrt{\frac{7206}{25}}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{225}} = \frac{15}{15}$$

$$v_k \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_k = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1}{5 \cdot 1} = \frac{2}{5}$$

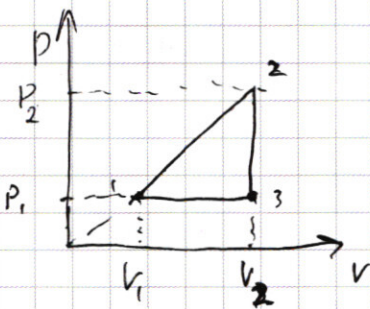
$$v_k \cdot \sin \beta_1 = v \cdot \sin \alpha \cdot (1 - \epsilon_1)$$

$$v_k \cdot \sin \beta_1 = 0,66 - 0,66 \epsilon_1$$

$$v_k \cdot \cos \beta_1 = 0,66$$

$$v_k = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta_1} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1}{5 \cdot 1} = \frac{2}{5}$$

$$\sin = \sqrt{\frac{7206}{25}}$$



$$\frac{n-1}{4(n+1)} < 1$$

$$n-1 < 4n+4$$

$$\frac{C_{23}}{C_{34}}$$

~~Решение~~

$$Q_{23} = \frac{3}{2} V_2 (P_2 - P_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = C_{23} \nu (T_2 - T_1)$$

$$C_{23} = -\frac{3}{2} R$$

$$Q_{34} = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_2) = C_{34} \nu (T_1 - T_2)$$

$$C_{34} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{34}} = \frac{3R \cdot R}{2 \cdot 5R} = 0.6$$

$$\frac{V_1}{P_1} = \frac{V_2}{P_2} \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} = n$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_2 n + P_2) (V_2 - V_2 n) =$$

$$P_1 = P_2 n$$

$$V_1 = V_2 n$$

$$= \frac{1}{2} P_2 V_2 (n+1) (1-n) = \frac{1}{2} P_2 V_2 (1-n^2)$$

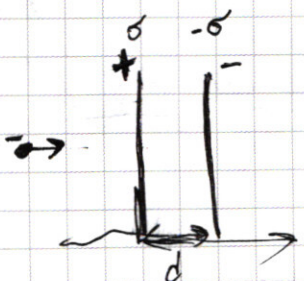
$$Q_{12} = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - n^2 P_2 V_2) = \frac{3}{2} P_2 V_2 (1-n^2)$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{0.5 P_2 V_2 (1-n^2)}{0.5 P_2 V_2 (1-n^2)} = 1$$

$$P_{002} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_2 - P_1) = \frac{1}{2} (V_2 - V_2 n) (P_2 - P_2 n) = \frac{1}{2} V_2 P_2 (1-n)^2$$

$$Q_{12} = 2 P_2 V_2 (1-n^2)$$

$$\eta = \frac{0.5 V_2 P_2 (1-n)^2}{2 P_2 V_2 (1-n^2)} = \frac{(1-n)^2 (1+n)}{4 (1-n)(1+n)} = \frac{1-n}{4}$$



$$\frac{y}{\sigma} = E$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$F_A = \frac{Eq}{m}$$

$$0 = \sigma_1 T - \frac{Eq T^2}{2m}$$

$$\frac{T Eq}{2m} = \sigma_1$$

$$T = \frac{2m \sigma_1}{Eq} = \frac{2m \sigma_1 d}{2 \epsilon_0 \epsilon V_1^2} = \frac{2m \sigma_1 d}{2 \epsilon_0 \epsilon V_1^2}$$

$$t_1 = \frac{V_1 m}{Eq}$$

$$0 = \sigma_1 - \frac{Eq T^2}{m}$$

$$V_{00d} = \frac{V_1^2 m}{Eq} - \frac{Eq V_1^2 m^2}{2m E^2 \epsilon_0^2} = \frac{V_1^2 m}{2Eq} \quad \gamma = \frac{l}{m} = \frac{V_1^2}{V_{00d} \cdot 2Eq} = \frac{V_1^2}{2 \epsilon_0 \epsilon V_1^2}$$

$$L_1 = \frac{960}{2,1}$$

$$\frac{U_m^2 \sin^2 \beta \cdot 2,1}{960} = T$$

$$\frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 15$$

~~Второй~~

~~Второй~~

$$U - E - \varepsilon_{is} = U_0 = I r$$

$$U - E - \frac{L I}{t} = U_0$$

$$\frac{L I}{t} = U - E - U_0$$

$$E_c(U, E) = \frac{L I^2}{2}$$

$$I = \sqrt{\frac{2 E_c(U, E)}{L}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} \cdot 10}{2}} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0,03 \text{ A}$$