

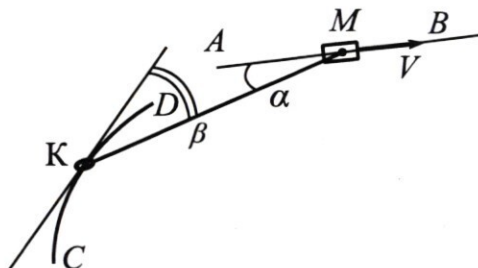
Олимпиада «Физтех» по физике, фе

Класс 11

Вариант 11-03

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



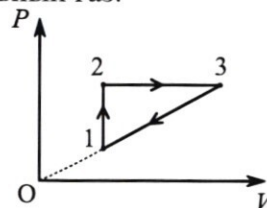
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



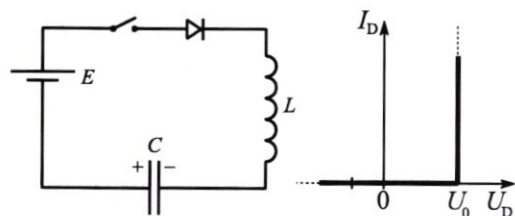
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



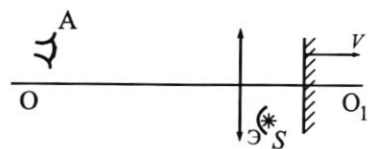
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ от линзы.

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

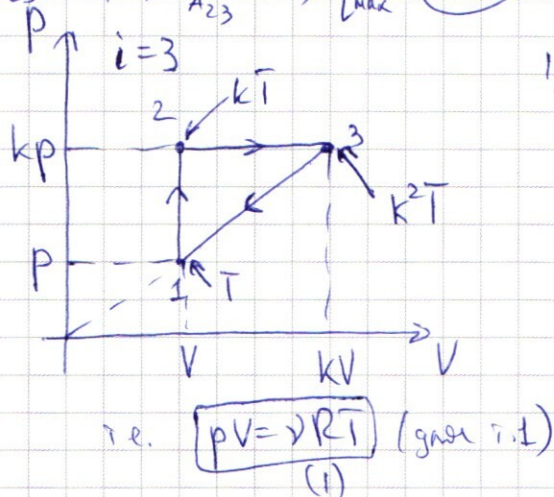
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) $\frac{c_{12}}{c_{23}} = ?$; 2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = ?$; 3) $\eta_{\max} = ?$ (N2)



1) Любые параметры точки 1 будут такими; давление = p
объем = V
температура = T ,
тогда из зависимости прямая пропорциональности;

в т. 3: давление = kp
объем = kV

температура = k^2T
(из уравнения Менделеева-Клапейрона)

в т. 2:
давление = kp
объем = V
температура = kT

2) Повышение температуры происходит в процессах 1-2 и 2-3, следовательно.

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(k-1)T$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2} k(k-1) \nu RT$$

$$A_{23} = + S_{23} = (k-1)V \cdot kp = k(k-1) \nu RT$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R(k-1)kT = \frac{3}{2} A_{23}$$

значит. $c_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{\frac{5}{2} \nu R T (k-1) k}{\nu \cdot k(k-1) T} = \frac{5}{2} R$

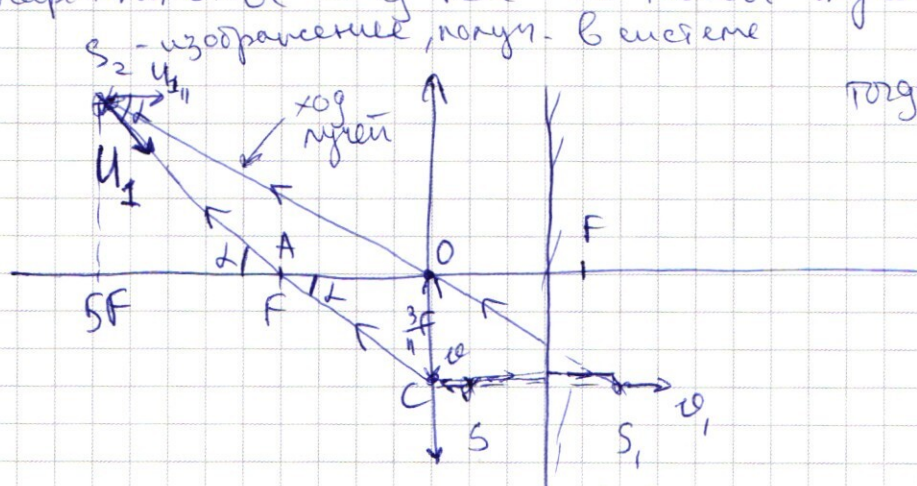
$$c_{12} = \frac{Q_{12}}{\nu \Delta T_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (k-1) T}{\nu (k-1) T} = \frac{3}{2} R, \text{ тогда } \boxed{\frac{c_{12}}{c_{23}} = \frac{3}{5}}$$

$$3) \left[\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} A_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2} \right]$$

4) $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H}$, где $A_{\Sigma} = + S_{\Sigma} = \frac{1}{2} (k-1)^2 pV = \frac{1}{2} (k-1)^2 \nu RT$; $Q_H = Q_{12} + Q_{23} =$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) Перейдем в СО зеркала, тогда изображение движущаяся влево со скоростью U , след. изображение S_1 движется с U только вправо (зеркало инвертирует скорость). Т.к. скорости предмета и изображения в СО зеркала ~~не~~ пересекаются в одной точке (либо параллельны — у нас не такой случай) ^{см. рис}:



тогда U_1 — это скорость изображения в СО зеркала U зеркала U_1 направлена с U , и

$$U_{1\parallel} = \Gamma^2 U, \text{ где}$$

$$\Gamma = \frac{5}{4} = \frac{5F \cdot 4}{5F} = 4$$

след. $U_{1\parallel} = 16U$

найдем α из $\triangle AOC$:

$$\left(\tan \alpha = \frac{3F}{4 \cdot F} = \frac{3}{4} \right) \Rightarrow \left(\cos \alpha = \frac{4}{5}, \sin \alpha = \frac{3}{5} \right), \text{ откуда}$$

$$U_1 = \frac{U_{1\parallel}}{\cos \alpha} = \frac{16U \cdot 5}{4} = 20U$$

перейдем в СО земли:

$$\cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha$$

По теор. кос:

$$U^2 = 400U^2 + U^2 + 2 \cdot \frac{4}{5} U \cdot 20U = 401U^2 + 32U^2 = 433U^2,$$

3) Найдем β :

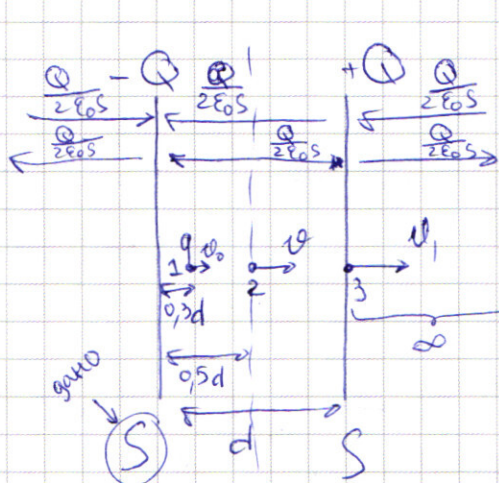
$$\frac{U \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{U_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

след. $U \sin \alpha = U_1 \sin \beta$; $\sin \beta = \frac{U \sin \alpha}{U_1} =$

$$U = U \sqrt{433}$$

$$= \frac{3,20 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{433}} = \frac{12}{\sqrt{433}}$$

Ответ: 1) $F = 5F$; 2) $\sin \beta = \frac{12}{\sqrt{433}}$; 3) $U = \sqrt{433}$



УЗ 1) $T = ?$; 2) $Q = ?$; 3) $U_2 = ?$

$$v_0 = 0; \quad \gamma = \frac{|q|}{m}$$

Внутри конденсатора на частицу действует постоянная сила

$$F = q \cdot E_{\text{рез}}, \text{ где } E_{\text{рез}} = \lambda \cdot \frac{Q}{2\epsilon_0 S} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

так сумм E от обеих пластин

$$F = \frac{qQ}{\epsilon_0 S}, \text{ т.е. движение равноускоренное.}$$

кол. По 3-му об ум. мех. ж-ии: для точек 3 и 1

~~$$A_{31} = \int_1^3 F_{\text{рез}} dx = \int_1^3 \frac{qQ}{\epsilon_0 S} dx = \frac{qQ}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d$$~~

$$A_{31} = \Delta E_k = \frac{mv_1^2}{2}, \text{ а}$$

$$A_{31} = q \cdot (\varphi_3 - \varphi_1) = \frac{qQ \cdot 0,7d}{\epsilon_0 S}$$

($\varphi_3 - \varphi_1 = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d$)
" $E_{\text{рез}} d$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{qQ \cdot 0,7d}{\epsilon_0 S}, \text{ откуда}$$

$$Q = \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{1,4d}$$

2) 3-й ум. мех. ж-ии для 1 и 2:

$$A_{21} = \frac{mv^2}{2} = q \cdot (\varphi_2 - \varphi_1), \text{ где } \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,2d, \text{ след.}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{q \cdot 0,2d \cdot qQ}{\epsilon_0 S}, \text{ откуда найдем } v = \sqrt{\frac{0,4d \cdot qQ}{\epsilon_0 S}}$$

также $\frac{1}{2}(v_0^2 + v^2)T = 0,2d = \frac{1}{2}vT, \quad T = \frac{0,4d}{v} = \frac{0,4d \sqrt{\epsilon_0 S}}{\sqrt{0,4d \cdot qQ}}$

подставим Q в формулу: $T = \frac{0,4d \sqrt{\epsilon_0 S} \cdot \sqrt{1,4d}}{\sqrt{0,4d \cdot v_1^2 \epsilon_0 S}} = \frac{0,4d \cdot \sqrt{1,4}}{\sqrt{0,4} v_1} = \frac{0,4d \sqrt{3,5}}{v_1}$

т.е. $T = \frac{0,4d \sqrt{3,5}}{v_1}$

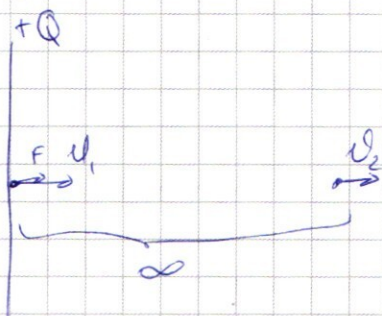
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) На бесконечном расстоянии на частицу не будет действовать никаких сил. Более того, если конденсатор не создает поля. Поэтому по 3-му сохр. энергии:

$$\frac{m v_2^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$\frac{m v_2^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} \Rightarrow v_2 = v_1$$

$$v_2 = v_1$$



Ответ: 1) $T = \frac{0,4 d \sqrt{3,5}}{v_1}$; 2) $Q = \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{1,48 d}$; 3) $v_2 = v_1$

(24)

1) $I'(0) = ?$; 2) $I_{\max} = ?$

1) Так $U_{\text{емк}} = E$, то из $\frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{C U_{\max}^2}{2}$, следует, что

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U_{\max} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot E =$$

$$= \sqrt{\frac{400 \cdot 10^{-6}}{1}} \cdot 6 = 20 \cdot 6 \cdot 10^{-3} =$$

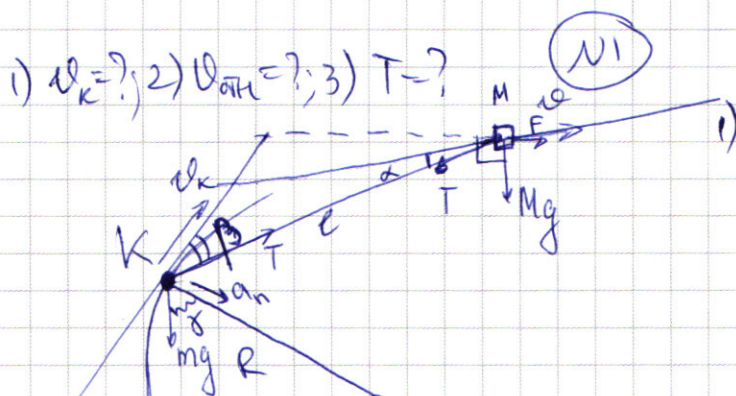
$$= 120 \cdot 10^{-3} = 0,12 \frac{\text{В}}{\text{Гн}}$$

2) $I = I_{\max} \cdot \sin(\omega t)$, где $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$I' = I_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot E \cdot \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right)$$

~~т.к. в начале тока не было~~

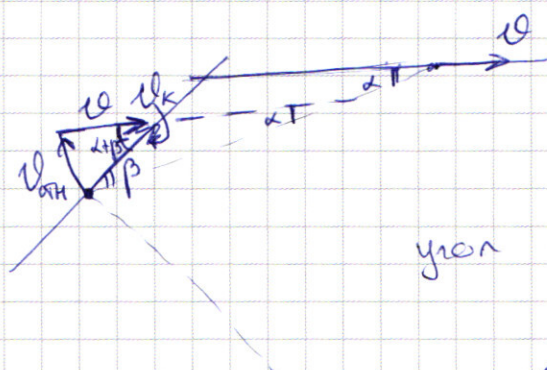
Ответ: 2) $0,12 \frac{\text{В}}{\text{Гн}} = I_{\max}$



$$v_k = v \cdot R = 34 \cdot 53 = 1802 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

$$(\sin \alpha = \frac{8}{17}; \sin \beta = \frac{4}{5})$$

2) пусть тело отсчета — это кольцо, ПСО — муфта, а НСО — земля
тогда составим треугольник скоростей:



$$v_{абс} = v_k$$

$$v_{пер} = v$$

по св-ву внешнего угла
угол между v и v_k найдем по
теор. кос:

$$v_{отн} = \sqrt{v^2 + v_k^2 - 2vv_k \cdot \cos(\alpha + \beta)}, \text{ где}$$

$$\left(\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} = \right. \\ \left. = \frac{45 - 32}{85} = \frac{13}{85} \right)$$

$$v_{отн} = \sqrt{34^2 + 1802^2 - 2 \cdot 1802 \cdot 34 \cdot \frac{13}{85}} \quad \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

3) По второму 3-му Ньютону для кольца:

$$ma_n = T \cdot \sin \beta + mg \cos \alpha, \text{ где } a_n = \frac{v_k^2}{R}$$

Ответ: 1) $1802 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$; 2) $\sqrt{34^2 + 1802^2 - 2 \cdot 1802 \cdot 34 \cdot \frac{13}{85}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{k-1}{5k+3} = 5 + \frac{8}{k-1}$
 $\frac{5k+3}{5k-5} \cdot \frac{k-1}{5} = 5k+3 = 5(k-1) + 8$

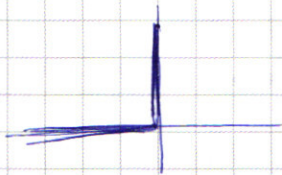
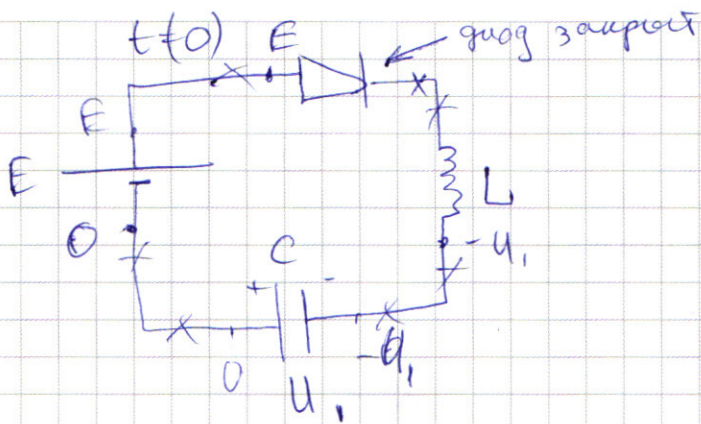
$\omega = \text{const}$
 $\omega_k = \text{const} = 2\alpha_k = 90$
 $m_k a_k = T \sin \alpha + mg \cos \beta$
 $m \frac{\omega_k^2}{R} = T \sin \alpha + mg \cos \beta$

$l = \frac{5}{4} R$
 $\omega_k = \omega_R$
 $mg + Mg = (m+M)a$

Тело - конус
 ЛСО - муфта
 КСО - земля
 $\omega_{\text{абс}} = \omega_k$
 $\omega_{\text{отн}} = ?$
 $\omega_{\text{шп}} = \omega$

$F = T \cos \alpha$
 $(Mg)^2 = F^2 + T^2 - 2FT \cos \alpha$
 $n = 45$
 $\frac{F}{T} = \frac{15}{17}$
 $\frac{Mg}{T} = \frac{8}{17}$
 $\frac{F}{Mg} = \frac{15}{8}$
 $F = \frac{15}{8} Mg$
 $(Mg)^2 = \left(\frac{15}{8} Mg\right)^2 + T^2 - 2 \cdot \frac{15}{8} Mg \cdot T$
 $Mg = \left(\frac{15}{8}\right)^2 Mg + T^2 - 2 \cdot \frac{15}{8} Mg \cdot T$

$\frac{34}{53}$
 $\frac{102}{170}$
 $\frac{1302}{1802}$
 $\frac{15}{32}$
 $\frac{15}{13}$



$$z = \frac{1}{1 + \frac{8}{k}} = 1 + \frac{8}{k} = z_{max}$$

$$k = -1$$

$$8k = -8$$

$$3 + 5k = -3k - 5$$

$$1 = \frac{3 + 5k}{k - 1 - 4k - 4}$$

$$u = 1 + \frac{1}{2} \frac{1}{k+1} \frac{1}{(k-1)(k+1)} \frac{1}{(3+5k)} = \frac{1}{k-1} \frac{1}{3+5k} = \frac{1}{k-1} \frac{1}{3+5k}$$

$$Q^x = 2\sqrt{RT} \sqrt{1-k^2}$$

$$Q_{31} = \frac{2}{3} \sqrt{RT} \sqrt{1-k^2} - \frac{2}{3} \sqrt{RT} \sqrt{1-k^2} = 0$$

$$A_{31} = -5 = -\frac{1}{2} \frac{1}{k^2-1} \frac{1}{V} = -\frac{1}{2} \frac{1}{k^2-1} \frac{1}{V} = -\frac{1}{2} \frac{1}{k^2-1} \frac{1}{V}$$

$$Q^x = Q_{31} = A_{31} + Q_{31}$$

$$Q^x = 1 - \frac{1}{k^2} = 1 - \frac{1}{k^2}$$

$$\begin{array}{r} 94 \\ 34 \\ \hline 136 \\ 102 \\ \hline 1186 \end{array}$$

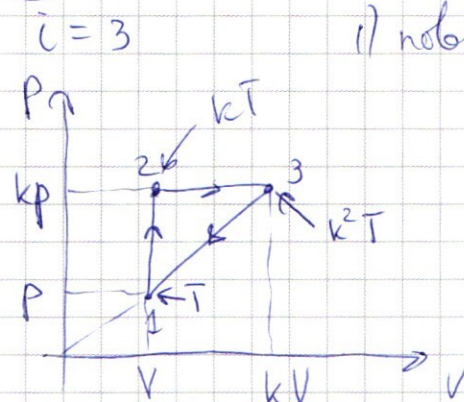
$$1802 \mid 1801$$

$$\begin{array}{r} 13 \\ 20 \\ \hline 260 \\ 20 \\ \hline 60 \\ 20 \\ \hline 80 \\ 20 \\ \hline 100 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1802 \\ 1801 \\ \hline 1802 \\ 1802 \\ \hline 1802 \\ 1802 \\ \hline 1802 \\ 1802 \\ \hline 1802 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



1) повышение температуры — на 1-2, на 2-3

$\Rightarrow$ след. 1) $\frac{c_{12}}{c_{23}} = ?$

$$c = \frac{Q}{\Delta T}$$

найдем c_{12} :

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R (k-1) T$$

$$c_{12} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (k-1) T}{\nu \cdot (k-1) T} = \frac{3}{2} R$$

найдем c_{23} :

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

$$A_{23} = +S = (k-1)V \cdot kP = (k-1)k\nu RT$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (k^2 T - kT) = \frac{3}{2} \nu R k(k-1)T$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} k(k-1) \nu RT$$

$$c_{23} = \frac{\frac{5}{2} k(k-1) \nu RT}{\nu k(k-1) T} = \frac{5}{2} R \quad k = \frac{3}{2} \Rightarrow \frac{1}{5}$$

$$\left(\frac{c_{12}}{c_{23}} = \frac{3R}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5} \right) \quad k=2 \quad k=1.5$$

$$\frac{1}{3 \times 10} = \frac{1}{13} \quad 4k = -4 \quad k = -1$$

3) $\eta_{\max} = ?$

$$\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H}$$

$$A_{\Sigma} = +S_0 = \frac{1}{2}(k-1)p \cdot (k-1)V = \frac{1}{2}(k-1)^2 pV = \frac{1}{2}(k-1)^2 \nu RT$$

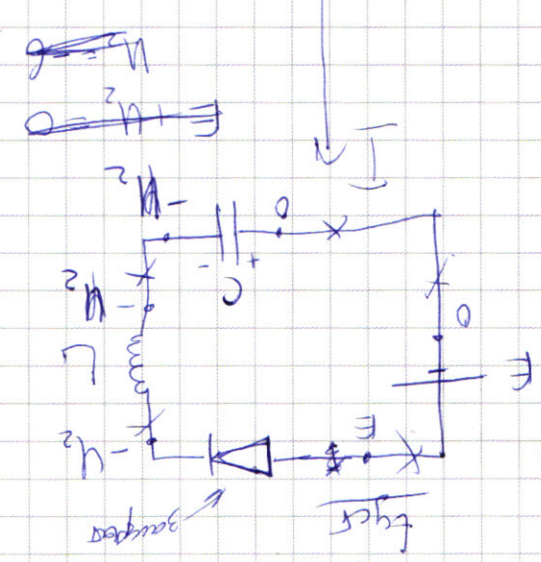
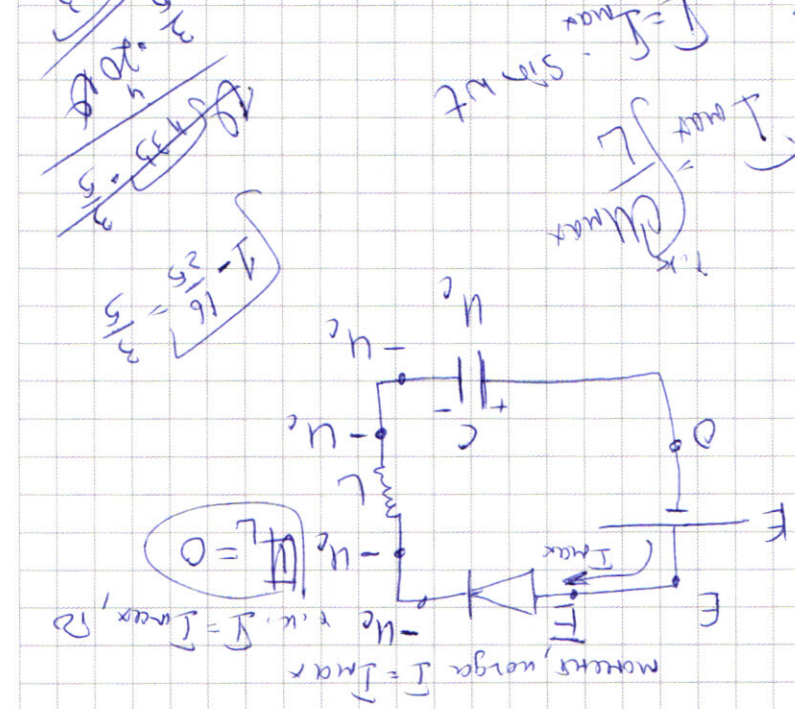
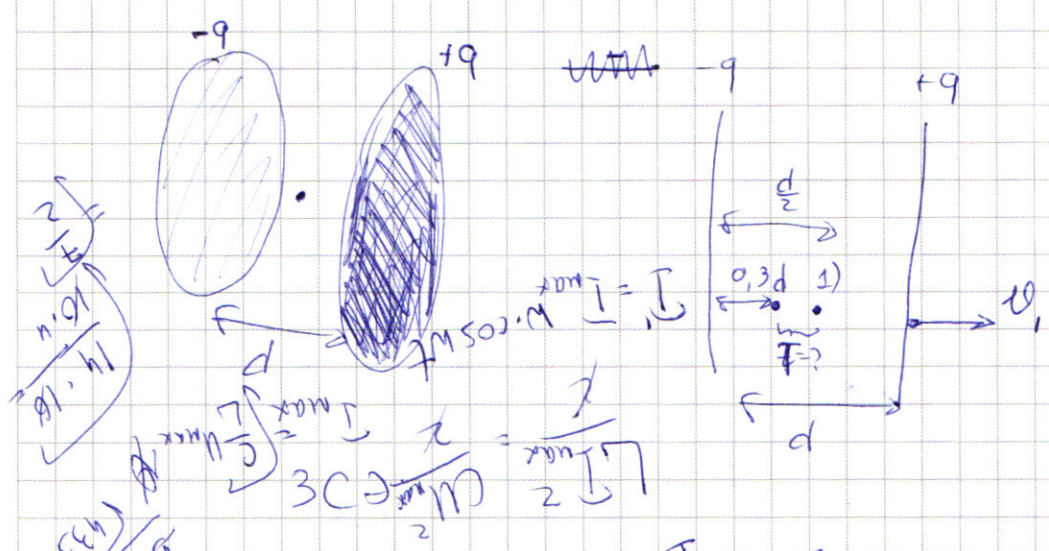
$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu RT (k-1) + \frac{5}{2} \nu RT k(k-1) =$$

$$\eta_{\max} = \frac{\frac{1}{2}(k-1)^2 \nu RT}{\frac{3}{2}(k-1) \nu RT + \frac{5}{2}(k-1) \nu RT k} = \frac{k-1}{3+5k}$$

т.к. $k > 0$, то $k-1 \leq 3+5k$, след.
 $\eta_{\max} = 1$ при $k-1 = 3+5k \Rightarrow$

$$\gamma = \frac{|q|}{m}$$

$$q < 0$$

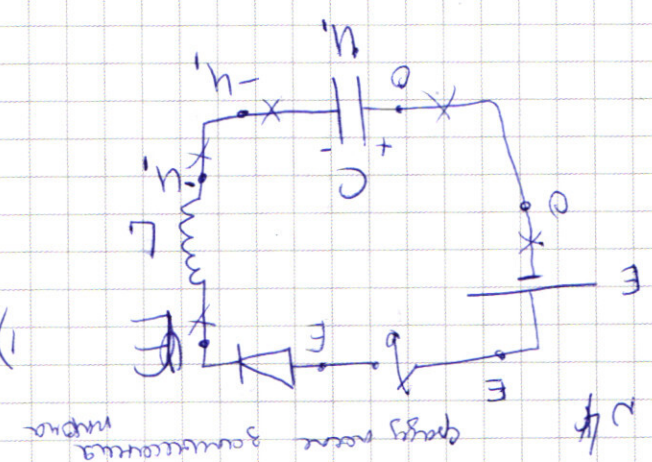


напряжения на входе конденсатора $U_0(t) = 0$ => он открыт и $I_0(t) > 0$, но тогда - отрицательное - заряд - заряд

$$I(t) = \frac{U_0}{L} = \frac{E + U_0}{L} = \frac{E}{L} = \frac{1}{(6+2)10^{-6}} = \frac{1}{80 \times 10^{-6}}$$

$$U_L = L \cdot I$$

$$E - U_0 \leq U_0$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

25

1) $\frac{1}{5f} = \frac{1}{5f} + \frac{1}{f}$

$\frac{1}{5f} = \frac{1}{f}; S = 5f$ (отб. 1)

$d = \frac{5}{4}f$

$\tan \alpha = \frac{3}{4}$

$R = \frac{5}{d} = \frac{8R_1}{5R_1} = 4$

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

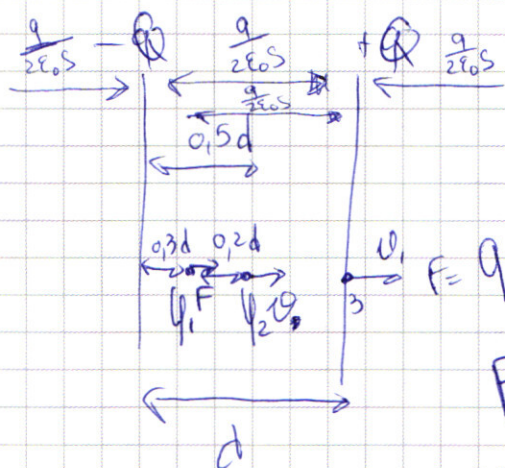
$1 + \frac{9}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}; \frac{25}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$

$\cos^2 \alpha = \frac{16}{25}$

$\cos \alpha = \frac{4}{5}$

$U \cdot \cos \alpha = U_{||}$

$U = \frac{U_{||}}{\cos \alpha} = \frac{16V \cdot 5}{4} = 20V = U_{\text{ном}}$



~~1/2 q^2~~

$$\varphi_1 = \varphi_2 = -\frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot d$$

$$F = q \cdot E_{\text{пр}} = \frac{q^2}{\epsilon_0 S}$$

$$F \cdot 0,2d = \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\frac{2 \cdot \frac{q^2 d}{5 \epsilon_0 S \cdot m}}{2} = v_1^2$$

$$A = q \Delta \varphi = F \cdot 0,2d$$

$$q \cdot \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot d = F \cdot 0,2d$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{q^2 d \cdot 2}{m \cdot 5 \epsilon_0 S}} = \sqrt{\frac{2 q d q}{5 \epsilon_0 S}}$$

$$0,2d = \frac{1}{2} (v_1 + v_2) T$$

$$T = \frac{0,4d}{v_1} = 0,4d$$

$$v_2 =$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = -\frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d$$

$$A = q \Delta \varphi = F \cdot 0,7d$$

$$A = \frac{mv_1^2}{2} = q \cdot \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d$$

$$Q = \frac{mv_1^2 \epsilon_0 S}{2 \cdot q \cdot 0,7d} = \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{1,4 d}$$

~~1/2 q^2~~

$v_1 - v_2$