

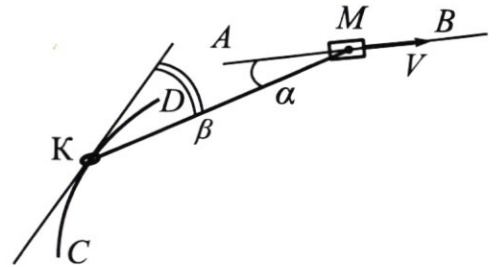
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-02

Класс 11

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



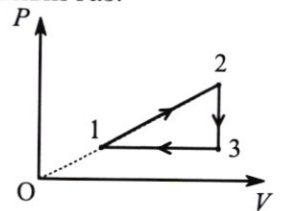
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 количества теплоты, полученной газом, 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. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

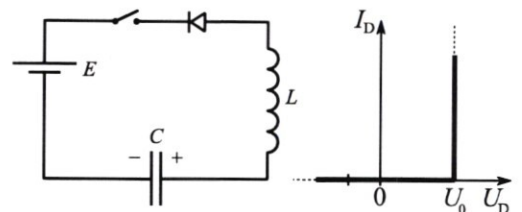
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

2) Найдите напряжение U на конденсаторе.

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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ 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.

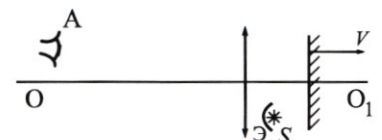
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от 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.)

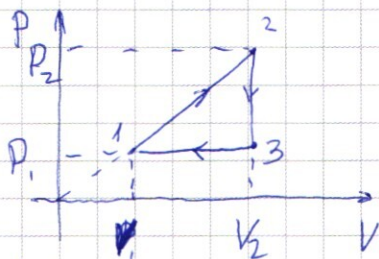
3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2.

Решение:



1) Понижение температуры газа проис-
ходило только на участках 2-3 и 3-1, т.к.
~~на~~ 3-1 - изохорное сжатие, а на участке
2-3 - понижалось P при $V = \text{const}$.

$$a) Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}; A_{23} = 0, V = 0; \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T;$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = C_{23} \nu R \Delta T, \text{ откуда } C_{23} = \frac{3}{2} R$$

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

$$Q_{31} = C_{31} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T, \text{ откуда } C_{31} = \frac{5}{2} R;$$

$$b) \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$2) Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}; A_{12} = \int p dV = \frac{(P_1 + P_2)}{2} (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1 + P_1 V_2 - P_2 V_1);$$

$$\text{т.к. } P_1 = k V_1, \text{ а } P_2 = k V_2, \text{ то } P_1 V_2 = k V_1 V_2 = P_2 V_1 = k V_2 V_1;$$

$$A_{12} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{2};$$

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

$$Q_{12} = 4 A_{12}$$

$$\frac{A_{12}}{Q_{12}} = \frac{1}{4}$$

$$3) \eta = \frac{A_n}{Q_{\text{подв}}}; Q_{\text{подв}} = Q_{12}; A_n = A_{12} - A_{31};$$

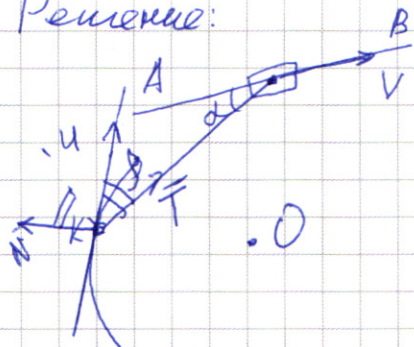
η будет максимальным при $A_n - \text{max}$, т.е. $A_{31} \rightarrow 0$

$$\text{тогда } \eta \approx \frac{A_{12}}{Q_{12}} = 0,25$$

Ответ: 1) 0,6; 2) 0,25; 3) 0,25.

н 1.

Решение:

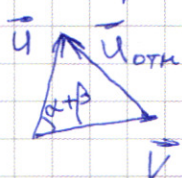


1) Пусть u - скорость кольца, ~~вектор~~ ~~направление~~.

Т.к. Трос должен сохранять свою длину, то проекции скоростей V и u на трос одинаковы:

$$V \cdot \cos \alpha = u \cdot \cos \beta; u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = 51 \text{ (см/с)}$$

2) Построю треугольник скоростей:



$u_{отн}$ - скор. ^{кольца} ~~относительно~~ относительно шурты, по т. косинусов:

$$u_{отн}^2 = u^2 + V^2 - 2uV \cos(\alpha + \beta); \cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta;$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - (\frac{3}{5})^2} = \frac{4}{5}; \sin \beta = \sqrt{1 - (\frac{8}{17})^2} = \frac{15}{17}; \cos(\alpha + \beta) = \frac{24}{85} - \frac{12}{17} = -\frac{36}{85};$$

$$u_{отн}^2 = 51^2 + 40^2 - 2 \cdot 51 \cdot 40 \cdot \frac{36}{85} = 2601 + 1600 - 2880 = 7081$$

$$u_{отн} = \sqrt{7081} \text{ (см/с)};$$

3) рассмотрим движение кольца относительно шурты.

в проекции на трос: $\frac{m u^2 \sin^2 \beta}{R} = T - N \cdot \sin \beta$ - 2-ой з-н Ньютона

рассматривая движение относительно О-центра окр (R):

$$\frac{m u^2}{R} = T \cdot \sin \beta - N; N = \frac{m u^2}{R \sin \beta}; \text{ - 2-ой з-н Ньютона}$$

подставляя в 1-ое уравнение:

$$\frac{15 m u^2 \sin^2 \beta}{17 R} = T(1 - \sin^2 \beta) + \frac{m u^2}{R} \cdot \sin \beta$$

$$T = \frac{15 m u^2 \sin^2 \beta - 17 m u^2 \sin \beta}{(1 - \sin^2 \beta) \cdot 17 R};$$

$$T = \frac{15 \cdot 1 \cdot 51^2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{15}{17} - 17 \cdot 1 \cdot 51^2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{15}{17}}{8 \cdot 1,7} = \frac{10 \cdot 51 \cdot 2647 \cdot 15}{8 \cdot 1,7 \cdot 289} = \frac{15 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 10^{-4}}{1,7} =$$

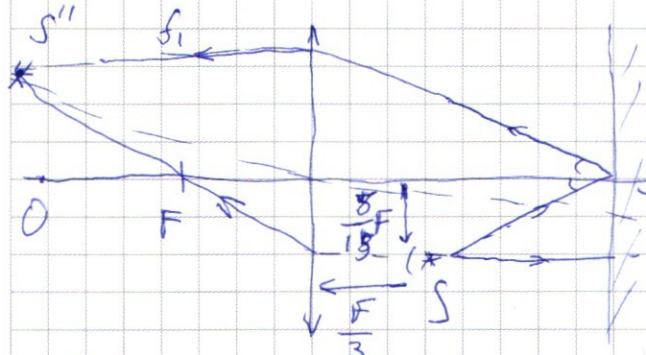
$$= 70 \cdot 10^{-4} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ (Н)}$$

Ответ: 1) 51 (см/с); 2) ~~7081~~ см/с; 3) $7 \cdot 10^{-3}$ Н.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~5.

Решение:



1) Расстояние до зеркала в наблюдаемый момент $= F \cdot \frac{E}{3} = \frac{2F}{3}$;

В результате отражения от зеркала появляется изображение S' , которое находится на таком же расстоянии $\frac{2F}{3}$ от зеркала, но другую сторону и движется со скоростью $\frac{1}{2}V$. Это изображение станет действительным источником для линзы, тогда по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}; \quad d_1 = F + \frac{2}{3}F = \frac{5}{3}F;$$

$\frac{1}{f_1} = \frac{2}{5F}; \quad f_1 = \frac{5}{2}F$; f_1 - и есть расстояние от конечного изобр. S'' до линзы.

2) ~~Вывод~~ S'' лежит на пересечении лучей проходящих через оптический центр, а другой идет параллельно OO_1 , и проходя через линзу проходит в фокус. Т.к. из этих 2-х лучей при движении зеркала будет меняться только направление проходящего через оптический центр, то S'' будет двигаться вдоль 2-ого луча, а $\angle$ между этим лучом и OO_1 равен: $\tan \alpha = \frac{B}{15F} = \frac{8}{15}$;

3) ~~проекции~~ проекция скорости S'' на OO_1 ; $V''_{00_1} = \Gamma \cdot V'$;

$$\Gamma = \frac{df_1}{d_1} = \frac{15}{25} \cdot \frac{3}{2};$$

$$V''_{00_1} = \frac{9}{4} \cdot 4V = 9V;$$

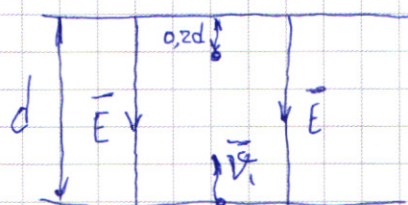
$$\text{Тогда } V'' = \frac{V''_{00_1}}{\cos \alpha}, \cos \alpha = \frac{15}{\sqrt{15^2 + 8^2}} = \frac{15}{17}$$

$$V'' = \frac{51}{5} V$$

Ответ: 1) $\frac{5}{2} F$; 2) $+q\alpha = \frac{8}{15}$; 3) $\frac{51V}{5}$.

~3.

Решение:



1) по 3-му сохр энергии:

$$E_k = A; E_k = \frac{mv_1^2}{2}; A = qU, \text{ т.к. поле одно-}$$

$$\text{родно, то } U = Ed; A = qEd = Fd \cdot 0,8$$

$$F_3 = \frac{mv_1^2}{1,6d};$$

также вследствие однородности F_3 и a - постоянны.

по 2-му 3-му Ньютона:

$$ma = F_3;$$

$$a = \frac{v_1^2}{1,6d}; a = \frac{dv_1}{dt}; v_1 = at; dt = \frac{1,6d}{v_1}$$

$$2) E = \frac{F_3}{q} = \frac{ma}{q} = \frac{v_1}{xdt} = \frac{v_1^2}{1,6dx};$$

$$U = Ed = \frac{v_1^2}{1,6x};$$

3) Потенциал создаваемый верхней обкладкой на нижней $\varphi_1 = \frac{kq}{d}$, где q - заряд конденсатора; $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S}$; S - площадь пластины конденсатора

По 3-му сохр. энергии: $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + q\varphi_1;$

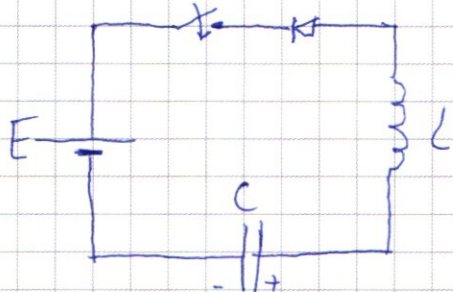
$$v_0^2 = v_1^2 + 2x \frac{kE\epsilon_0 S}{d}; v_0 = \sqrt{v_1^2 + \frac{v_1^2 S}{0,8d^2}} = v_1 \sqrt{\frac{0,8d^2 + S}{0,8d^2}};$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{1,6d}{v_1}; 2) \frac{v_1^2}{1,6x}; 3) v_1 \sqrt{\frac{0,8d^2 + S}{0,8d^2}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4.

Решение:



1) сразу после замыкания ключа напряжение на конденсаторе не изменяется, тогда по 2-му закону Кирхгофа: $E = U_C - U_L$, где U_L — напряжение на катушке.

$$U_L = 3\text{В}; \quad U_L = L \cdot I'; \quad I' = \frac{U_L}{L} = 15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2) при I_{max} $U_L = L \cdot I'_{\text{max}} = 0$,

тогда $U_{\text{диода}} = 1\text{В}$, а U_C по 2-му закону Кирхгофа: $U_C = E + U_{\text{диода}}$

$U_C = 4\text{В}$; U_C — напряжение на конденсаторе при I_{max} ;

$q = C(U_1 - U_C) = 40 \text{ (нКл)}$ — заряд оттекший с конденсатора.

по 3-му сохр. энергии:

$$W_{C_1} + A_{\text{ист}} = W_{C_2} + W_L;$$

$$A_{\text{ист}} = -qE; \quad W_{C_1} = \frac{CU_1^2}{2}; \quad W_{C_2} = \frac{CU_C^2}{2}; \quad W_L = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2};$$

$$CU_1^2 - 2qE = CU_C^2 + LI_{\text{max}}^2$$

$$20 \cdot 10^{-6} \cdot 36 - 2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 3 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 16 + 0,2 I_{\text{max}}^2$$

$$0,2 I_{\text{max}}^2 = 10^{-6} (720 - 240 - 320) = 160 \cdot 10^{-6}$$

$$I_{\text{max}}^2 = 800 \cdot 10^{-6}$$

$$I_{\text{max}} = 20 \cdot 10^{-3} \sqrt{2} = 1,41 \cdot 0,02 = 0,0282 \text{ (А)}$$

3) в установившемся режиме ток не течет, т.е. $U_{\text{диода}} = 0$, но $U_C \neq E$, т.к. после прохождения положения равновесия ток все еще был. Рассмотрим крайнее положение, когда $U_{\text{диода}} = 1\text{В}$.

а $U_1 = 0\text{В}$, т.е. ток минимальный

тогда $E = U_2 + U_d$; $U_2 = 2\text{В}$, при этом конденсатор набирает напряженность. Перезарядится же он не сможет, т.к. в обратную сторону ток не потечет из-за диода.

Ответ: 1) $15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$; 2) $0,0282\text{А}$; 3) 2В .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) P_1, P_2, P_3 $i=3; Q = C_{33} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T; C_{23} = \frac{3}{2} R$
 $Q_{31} = C_{31} \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T; \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5} \approx 0.6$

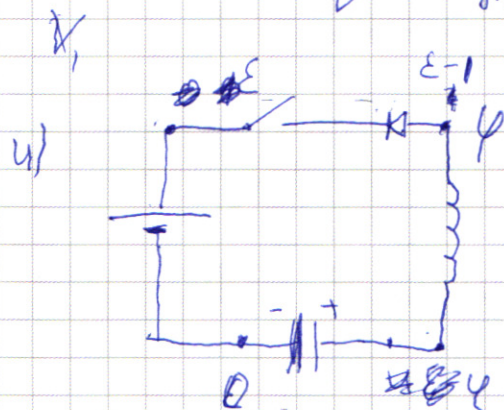
2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}}; A_{12} = \frac{(P_2 + P_1) \cdot (V_2 - V_1)}{2} = (P_2 V_2 - P_1 V_1) / 2; Q_{12} = A_{12} + \Delta U;$
 $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 1 + \frac{\Delta U}{A_{12}}; \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1);$
 $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$ $Q_2 = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_2)$
 $Q_3 = \frac{5}{2} (P_1 V_2 - P_1 V_1)$

3) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) - \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_2) + P_1 V_1 - P_1 V_2}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)}$
 $= 1 - \frac{1}{2} + \frac{\frac{1}{2} P_1 V_2 - \frac{1}{2} P_2 V_2}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = 50\% \quad P_1 = 5 P_2$
 $\eta = \frac{\frac{1}{2} P_2 V_2 + \frac{1}{2} P_1 V_1 - P_1 V_2}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = \frac{\frac{1}{2} P_2 V_2 + \frac{1}{2} P_1 V_1 - P_1 V_2}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = \frac{1}{4}$

1) $R = 17 \frac{R}{15} A$ $V = 40 \text{ m/s}; m = 1 \text{ kg};$
 $V \cdot \cos \alpha = U \cdot \cos \beta; \quad \frac{1}{2} P_2 V_2 + \frac{1}{2} P_1 V_1 - P_1 V_2}{\frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)} = \frac{1}{4}$
 $40 \cdot 3.77 = 8.5 \cdot 51$
 по теореме косинусов:
 $U = \sqrt{4^2 + 2^2 - 2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot \cos(45^\circ)}$
 $U \cdot \cos \beta = m a \sin \beta; \quad \cos \beta = \frac{v^2}{R};$
 $\sqrt{7081} = 84.1$ $89 \times 89 = 801$
 $649 \times 2 = 1298$
 $649 \times 2 = 1298$
 $649 \times 2 = 1298$

51
 x 51
 51
 255
 + 2601
 + 160080
 + 4201
 + 2880
 7081

3) $\frac{q}{m} = 8$ d $-0,2d$ a -постоянно;
 $v_1 = at$; $\frac{mv_1^2}{2} = qE \cdot 0,8d$;
 $qE = F = \frac{mv_1^2}{1,6d}$;
 $a = \frac{F}{m}$;
 $U = Ed$;
 $E = \frac{ma}{q} = \frac{m \cdot \frac{mv_1^2}{1,6d}}{q \cdot t} = \frac{mv_1^2}{1,6d \cdot t}$;
 $U = \frac{mv_1^2}{1,6q}$;
 $\Delta q = 40 \text{ мкКл}$

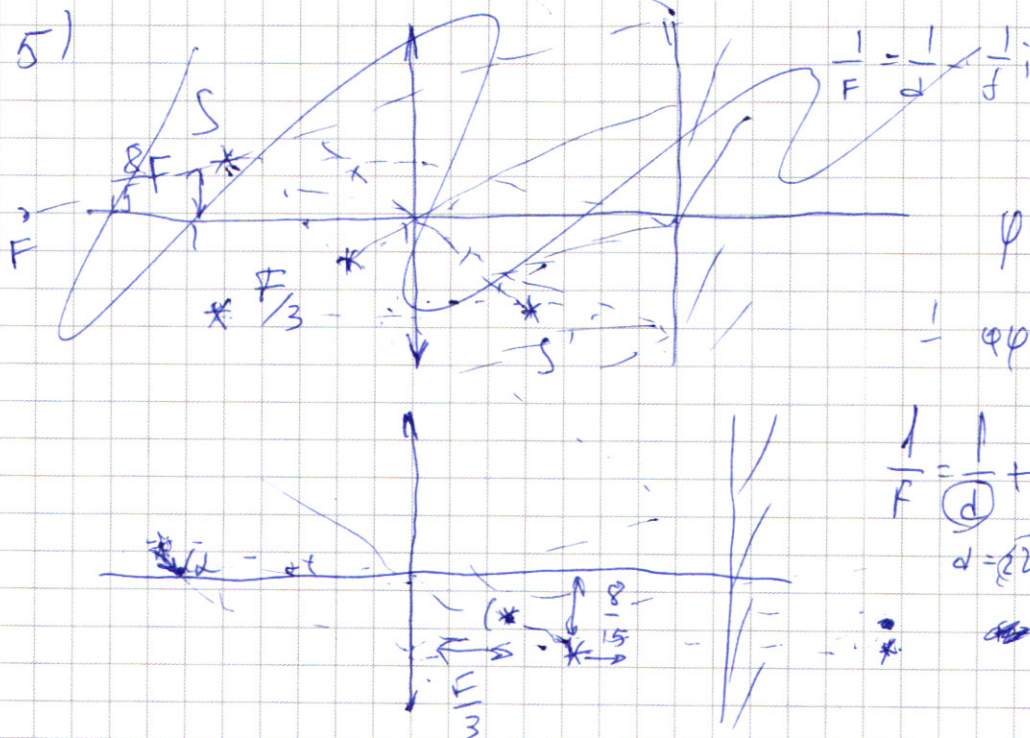


$E = U_C - U_R + U_0$;

$U_C = \frac{q}{C}$; $U_R = LI' = 0$

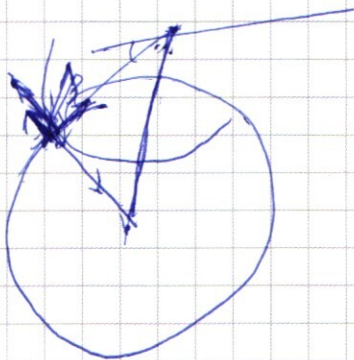
$U_C = LI'$;
 $I' = \frac{U_C}{L}$;
 $E = U_C - U_R$;
 $U_C = 3 \text{ В}$; $I' = 15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$;

$E = U_C + 1$; $U_C = 4 \text{ В}$.



$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$;
 $d = \frac{20}{18}$;
 $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$;
 $f = \frac{20}{18}$;
 $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$;
 $f = \frac{20}{18}$;

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U = \frac{v_0^2 \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + q\varphi_1 = q\varphi_2$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 - U; \quad \frac{mv_1^2}{2} + q\varphi_1 = q\varphi_2$$

$$\frac{v_0^2}{2\gamma} - \frac{v_1^2}{2\gamma} = \varphi_1; \quad \varphi_2 = \frac{v_0^2}{2\gamma};$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 0,8U;$$

$$\frac{kq}{d}; \quad E = \frac{q}{\epsilon_0 S};$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d}$$

