

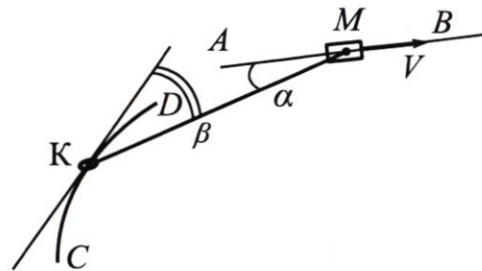
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-02

Класс 11

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

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.



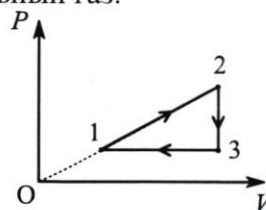
- ✓ 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- ✓ 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

✓ 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 $\frac{q}{m} = \gamma$.

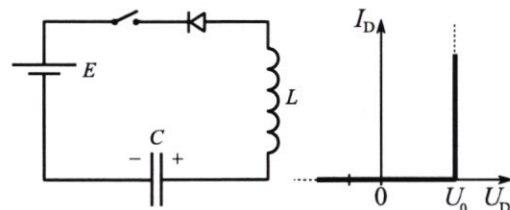
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

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.

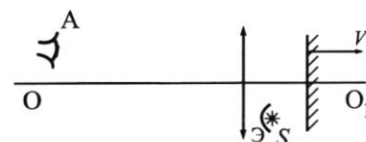
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

✓ 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

$\sqrt{5}$
A
O

зеркало $d_1 = F - \frac{1}{3}F = \frac{2}{3}F$
 $(F = d_1 = \frac{2}{3}F)$
 П.к. скорости.
 И и П в зеркале
 равны только в СО
 зеркала, перейдя в СО
 зеркала

$\vec{v}_{\text{абс}} = \vec{v}_{\text{пер}} + \vec{v}_{\text{отн}}$
 $v_{\text{абс}} = 0$
 $v_{\text{пер}} = v$
 $v_{\text{отн}} = v$
 $u_{\text{отн}} = v_{\text{отн}} = v$

Перейдем обратно в СО земли:
 $\vec{u}_{\text{абс}} = \vec{u}_{\text{отн}} + \vec{u}_{\text{пер}}$
 $u_{\text{абс}} = 2v$
 S^* станет действ. П для мишени.

$xy = \frac{8}{15}F$
 $2v$
 S^*
 d_2
 F_2
 O
 F
 a
 a
 a
 a

П.к. линза неподвижна, то прод. скоростей S^* и S^{**} пересекутся на линзе

$$d_2 = \frac{1}{3}F + \frac{2}{3}F + \frac{2}{3}F = \frac{5}{3}F, \text{ П.к. } d_2 > F, \text{ то } S^{**}\text{-действ. изображение.}$$

По ср. точкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{\frac{5}{3}F} + \frac{1}{F_2} \Rightarrow \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F} \Rightarrow f_2 = \frac{5}{2}F$$

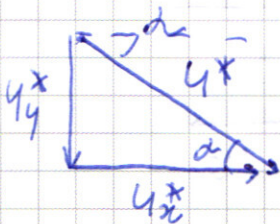
$$\Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2} = \frac{\frac{5}{2}F}{\frac{5}{3}F} = \frac{3}{2}$$

Из $\triangle AOF$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{F} = \frac{8}{15} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$\cos \alpha =$

Разложим $\vec{u}^*$ на сост. u_x^* и u_y^*



$$\frac{u_x^*}{2v} = \frac{1}{2} = \frac{9}{4}$$

$$u_x^* = \frac{9}{2}v$$

$$\cos \alpha = \frac{u_x^*}{u^*} = \frac{15}{17}$$

$$\frac{3}{2}v = \frac{15}{17}u^*$$

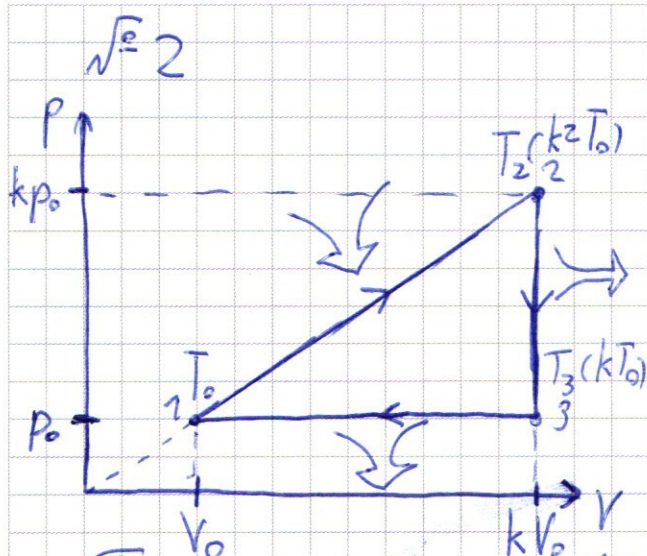
$$u^* = \frac{3 \cdot 17}{2 \cdot 15}v = 5,1v$$

Ответ: 1) $f_2 = \frac{5}{2}F$

$$2) \operatorname{tg} \alpha = \frac{8}{15}$$

$$3) u^* = 5,1v$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



П.к. 1→2 - изотермический процесс,
то есть V увелич. в k
раз, то и P увелич. в k
раз.

Пусть $P_1 = P_0$, $V_1 = V_0$, $T_1 = T_0$

По уравнению Менделеева-Клапейрона для 1 и 2:

$$\begin{aligned} P_0 V_0 &= \nu R T_0 \\ k^2 P_0 V_0 &= \nu R T_2 \end{aligned} \Rightarrow T_2 = k^2 T_0$$

По 3-му закону Ньютона для 2→3:

$$\frac{k P_0}{T_2} = \frac{P_0}{T_3}$$

$$\frac{k P_0}{k^2 T_0} = \frac{P_0}{T_3} \Rightarrow T_3 = k T_0$$

Отбросив теплоотдачу процесс на изотерме 2→3 и 3→1.

По 1-му началу термодинамики:

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

$$Q_{23} = C_{23} \nu (T_3 - T_2)$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}$$

$$A_{31} = -P_0 V_0 (k - 1) = -\nu R T_0 (k - 1)$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R T_0 (1 - k)$$

$$Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_0 (1 - k) + \nu R T_0 (1 - k) = \frac{5}{2} \nu R T_0 (1 - k)$$

$$Q_{31} = C_{31} \nu (T_0 - k T_0) = C_{31} \nu T_0 (1 - k)$$

$$\frac{5}{2} R \nu T_0 (1 - k) = C_{31} \nu T_0 (1 - k)$$

$$C_{31} = \frac{5}{2} R$$

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

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

$$A_{12} = + \frac{1}{2} (p_0 + k p_0) \cdot V_0 (k - 1) = \frac{1}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} k^2 p_0 V_0 - \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1) + \frac{1}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1) = 2 p_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2 p_0 V_0 (k^2 - 1)}{\frac{1}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1)} = 4$$

Найдем зависимость КПД η от k :

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

$$A_{\Sigma} = \frac{1}{2} (k p_0 - p_0) (k V_0 - V_0) = \frac{1}{2} p_0 V_0 (k - 1)^2$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{12} = 2 p_0 V_0 (k - 1)(k + 1)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_0 V_0 (k - 1)^2}{2 p_0 V_0 (k - 1)(k + 1)} = \frac{1}{4} \cdot \frac{k - 1}{k + 1}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\eta = \eta(k) = \frac{1}{4} \cdot \frac{k-1}{k+1}$$

$$\eta'(k) = \frac{1}{4} \cdot \frac{1 \cdot (k+1) - (k-1) \cdot 1}{(k+1)^2} =$$

$$= \frac{k+1 - k+1}{4(k+1)^2} = \frac{1}{2(k+1)^2} > 0$$

$\eta'(k) > 0$ всегда $\Rightarrow \eta(k)$ монотонно
возрастает на всей обл. от
определения, следовательно:

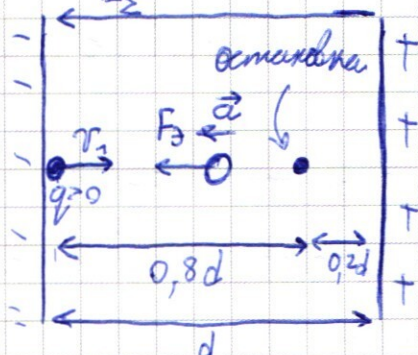
$$\eta_{\max} = \lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{4} \cdot \frac{k-1}{k+1} \right) = \frac{1}{4} = 25\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_{31}}{C_{23}} = \frac{5}{3}$

2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$

3) $\eta_{\max} = 25\%$

$\sqrt{3}$



Пусть E_{Σ} - сумм. эл. поле
внутри $\text{---} \text{---} \text{---}$, тогда:

$$E_{\Sigma} = U = E_{\Sigma} \cdot d$$

По 3-му сохр. м-м.

$$E_1 = E_2, \text{ где:}$$

$$E_1 = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$E_2 = \frac{4}{5} d \cdot E_{\Sigma} \cdot q = \frac{4}{5} U q$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{4}{5} U q$$

$$\frac{v_1^2}{2\gamma} = \frac{4}{5} U \Rightarrow U = \frac{5 v_1^2}{8 \gamma}$$

$$F_{\Sigma} = E_{\Sigma} \cdot q \rightarrow F_{\Sigma} = \frac{U q}{d} = \text{const}$$

По 2-му Нернста:

$$\frac{U q}{d} F_{\Sigma} = m a$$

$$\frac{U q}{d} = m a \Rightarrow a = \frac{U \cdot \gamma}{d} = \text{const}$$

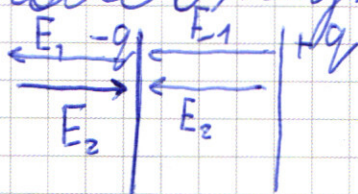
Из кинематики:

$$\vec{v}_k = \vec{v}_1 + \vec{a} t$$

$$0 = v_1 - a T$$

$$T = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1 d}{U \gamma} = \frac{v_1 \cdot d}{\frac{5 v_1^2}{8 \gamma} \cdot \gamma} = \frac{8 \gamma d}{5 v_1} = \frac{8 d}{5 v_1}$$

Заметим, что вне конденсатора поле отсутствует:



Путь заряда $+q$ равен q , а E_1 - поле "+" обкладки, а E_2 - поле "-" обкладки.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$E_1 = \frac{|q|}{2\epsilon_0 S}; \quad E_2 = \frac{|q|}{2\epsilon_0 S} = \frac{|q|}{2\epsilon_0 S} = E_1$$

$$\vec{E}_{\text{внешн}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E_{\text{внешн}} = E_1 - E_2 = 0$$

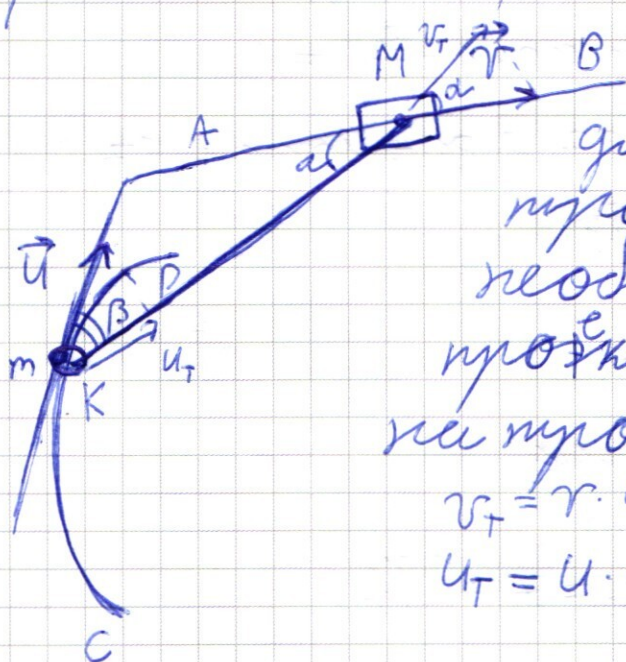
Следовательно, вне конденсатора на частицу действуют силы не будут и $v_0 = v_1$

Ответ: 1) $T = \frac{8d}{5v_1}$

2) $U = \frac{5v_1^2}{8\gamma}$

3) $v_0 = v_1$

$$\sqrt{0} = 1$$



Заметим, что для того, чтобы трос не порвался, необходимо, чтобы проекции скоростей на трос были равны.

$$v_T = v \cdot \cos \alpha$$

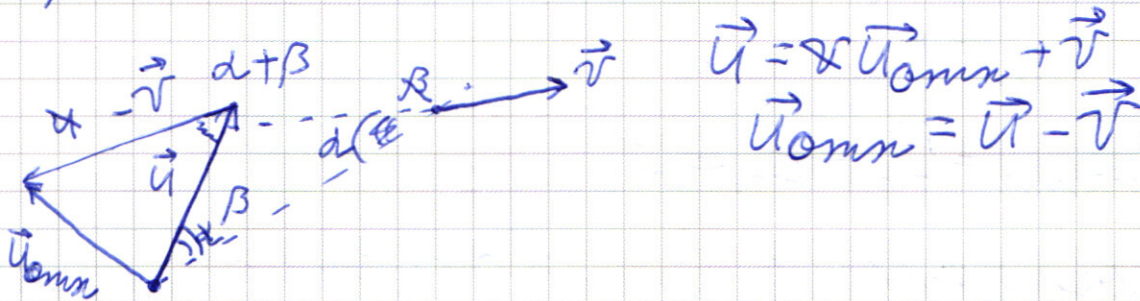
$$u_T = u \cdot \cos \beta$$

$$v_T = u_T$$

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

$$u = v \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = v \cdot \frac{\frac{3}{5}}{\frac{8}{17}} = \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} \cdot 40 = 3 \cdot 17 = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Перейдем в СО муравья:



$$\cos \alpha = \frac{3}{5} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{4}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17} \Rightarrow \sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$\begin{aligned} \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta = \\ &= \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{24 - 60}{85} = -\frac{36}{85} \end{aligned}$$

По т. косинусов:

$$u_{\text{мук}}^2 = v^2 + u^2 - 2uv \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$u_{\text{мук}}^2 = 40^2 + 51^2 - 2 \cdot 51 \cdot 40 \cdot \left(-\frac{36}{85}\right) =$$

$$= 1600 + 2601 + 2 \cdot 17 \cdot 8 \cdot 36 = 4201 + 17 \cdot 28 =$$

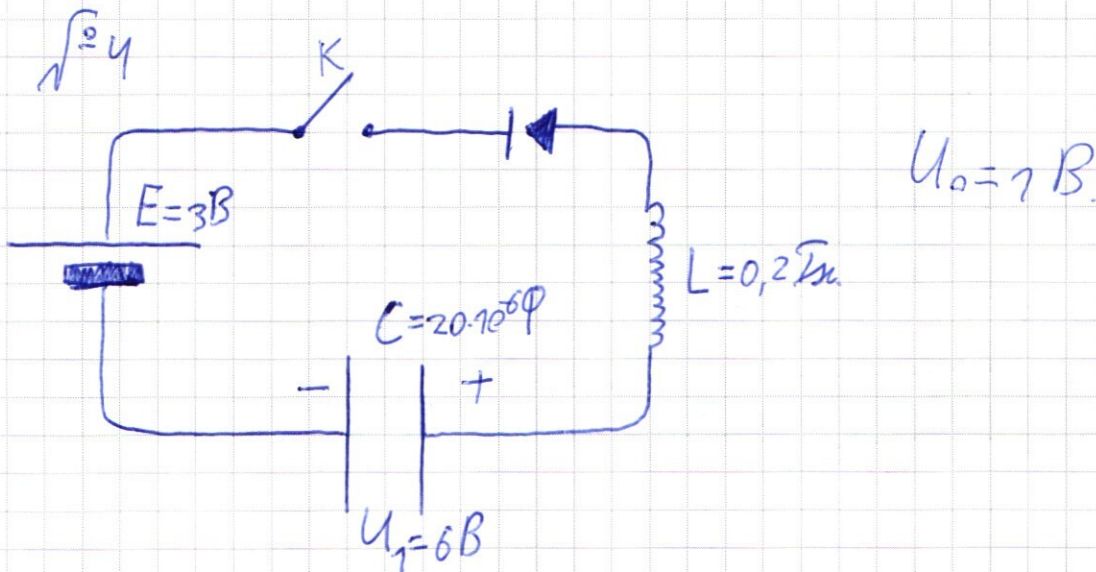
$$= 5929 = 77^2 \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2}$$

$$u_{\text{мук}} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Ответ: 1) $u = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

2) $u_{\text{мук}} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

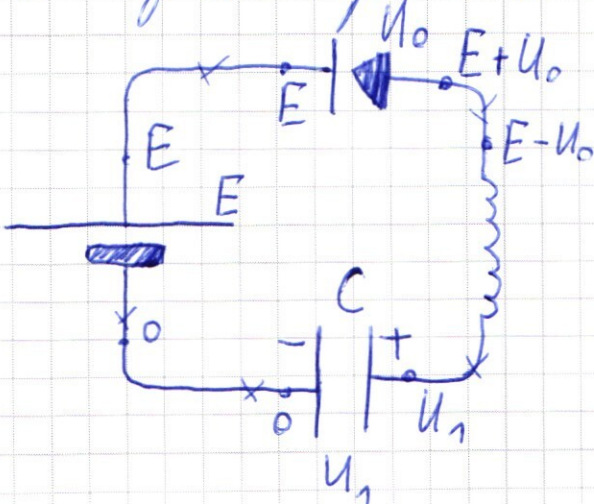


Расшифруйте цепь в нач. момент времени $t = 0$ после замыкания.

Напр. на $+$ не скачет $\Rightarrow U_C(0) = U_1$

Ток через $+$ не скачет $\Rightarrow U_L(0) = 0$
 $I_L(0) = 0$

Диод открыт $\Rightarrow U_D(0) = U_0$



$$U_L = L I'(0)$$

$$U_L = U_1 - E + U_0 = 6V - 3V + 1V = 2V$$

$$I'(0) = \frac{U_L}{L} = \frac{2V}{2 \cdot 10^{-4} H} = 10 \frac{V}{mH}$$

По 3-му сохранению э-м.

$$W_{max_c} = W_{max_L}$$

$$W_{max_c} = \frac{CU_1^2}{2}$$

$$W_{max_L} = \frac{LI_{max}^2}{2}$$

$$CU_1^2 = LI_{max}^2$$

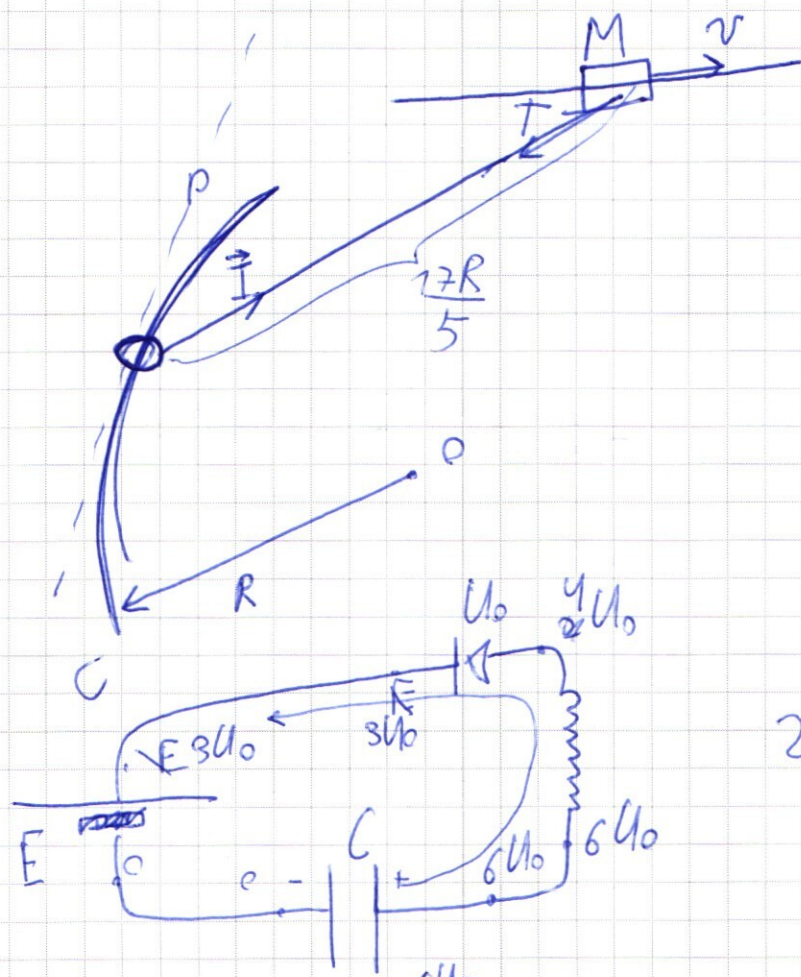
$$I_{max} = U_1 \sqrt{\frac{C}{L}} =$$

$$= 6 \cdot \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-1}}} = 6 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^{-5}} = 6 \cdot 10^{-2} = 0,06 \text{ A}$$

Ответ: 1) ~~10 В/с~~ $I'(0) = 10 \text{ В/с}$

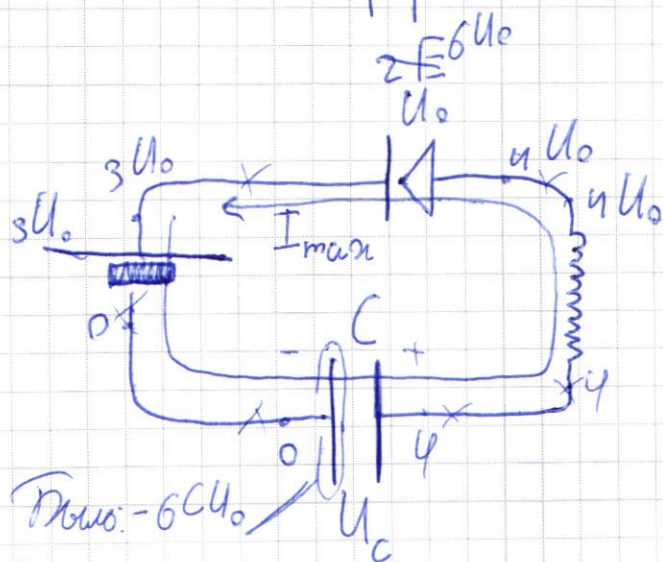
$$2) I_{max} = 0,06 \text{ A}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$2U_0 = L \dot{I}'(0)$$

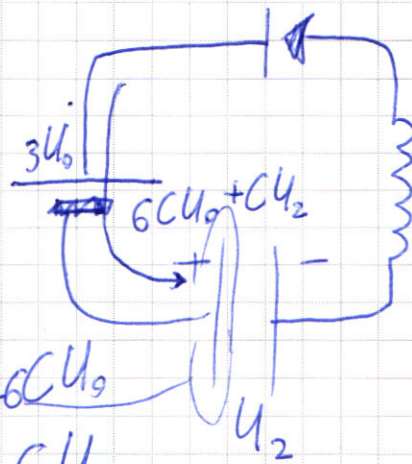
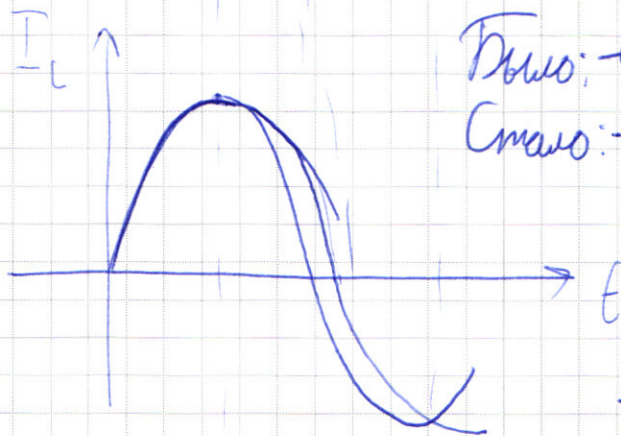
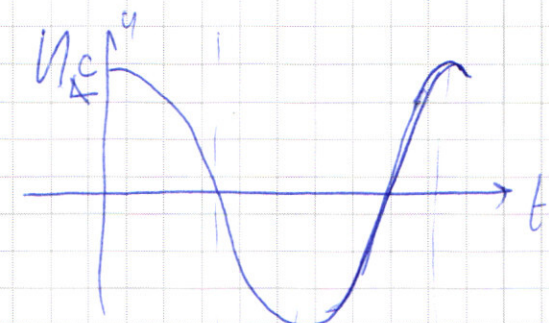
$$\dot{I}'(0) = \frac{2U_0}{L}$$



$$U_C =$$

Решено: $6CU_0$

Стало:



$$6U_0 = U_1$$

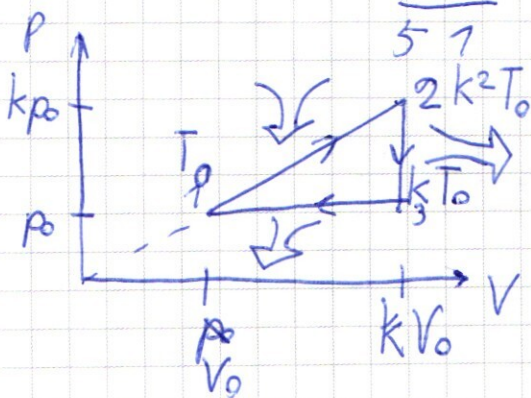
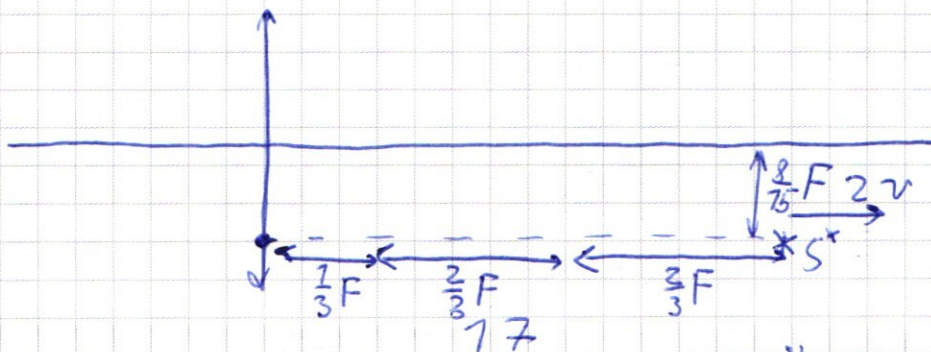
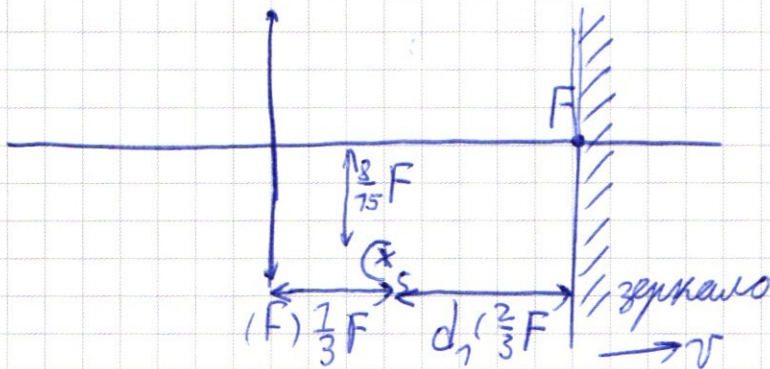
$$-18CU_0^2 - 3CU_0U_2 = \frac{CU_2^2}{2} - \frac{36CU_0^2}{2}$$

$$(6CU_0 - CU_2) 3U_0 = \frac{CU_2^2}{2} - \frac{36CU_0^2}{2}$$

$$36CU_0^2 - 6CU_0U_2 = CU_2^2 - 36CU_0^2$$

$$U_2^2 + 6U_0U_2 + 72U_0^2 = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{k p_0}{2 k^2 T} = \frac{p_0}{T_3}$$

$$T_3 = \frac{2}{3} k T$$

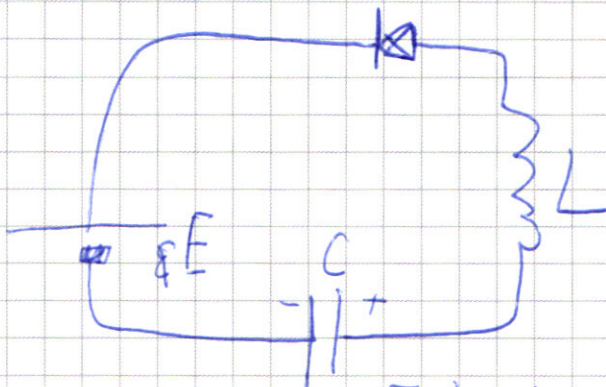
$$Q_{12} = Q_{23}$$

$$Q_{12} = Q_{23}$$

$$A_{\Sigma} = V_0 (k-1) \cdot p_0 (k-1) \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} p_0 V_0 (k-1)^2$$

$$Q_{12} = Q_{23} = \frac{3}{2} R k^2 T_0 - \frac{3}{2} R T_0 =$$

$$= \frac{3}{2} R T_0$$



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

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

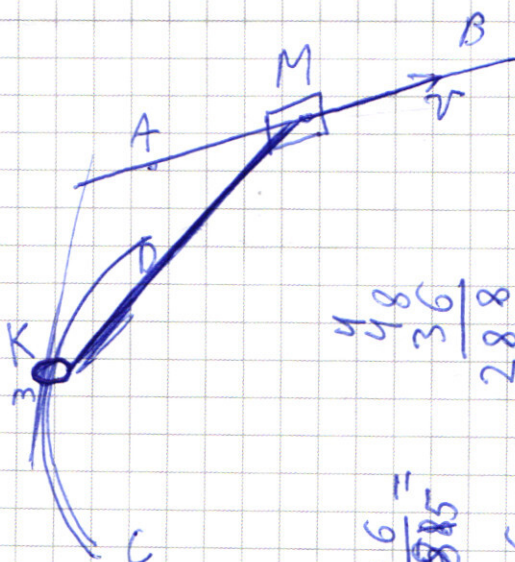
⊕

$$Ed = U$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = E \cdot \frac{8}{10} \frac{4}{5} d \cdot q$$

$$\frac{v_1^2}{2\gamma} = \frac{4}{5} Ed = \frac{4}{5} U$$

$$F_2 = E_z \cdot q = \frac{Uq}{d}$$



$$\begin{array}{r} 2 \\ 177 \\ \hline 51 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 48 \\ 36 \\ \hline 288 \\ 144 \\ \hline 1728 \\ 4201 \\ \hline 59129 = 77 \\ 49 \\ \hline 74 \cdot 1029 \end{array}$$

$$\begin{aligned} &+ 2 \cdot 51 \cdot 40 \cdot \frac{36}{885} = \\ &= 2 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 36 = \end{aligned}$$

40

$$\begin{array}{r} 51 \\ 51 \\ \hline 3-1 \\ 255 \\ 2607 \\ 1600 \\ \hline 4201 \end{array}$$