

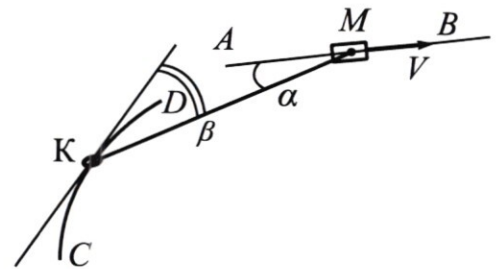
# Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

## Вариант 11-02

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  $\alpha$  ( $\cos \alpha = 3/5$ ) с направлением движения муфты и угол  $\beta$  ( $\cos \beta = 8/17$ ) с направлением движения кольца.



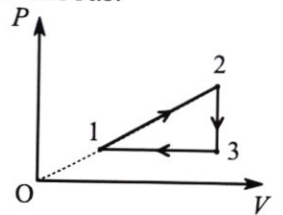
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

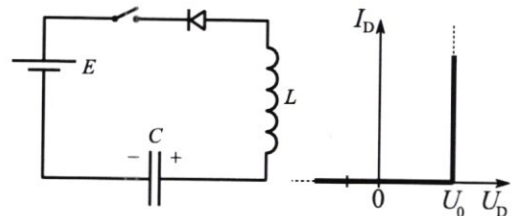
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника  $E = 3$  В, конденсатор емкостью  $C = 20$  мкФ заряжен до напряжения  $U_1 = 6$  В, индуктивность идеальной катушки  $L = 0,2$  Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке,

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.

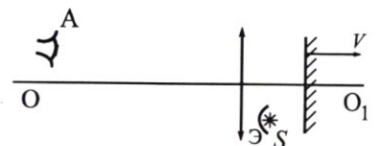


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$ , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника  $S$  может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси  $OO_1$  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  $\alpha$  к оси  $OO_1$  движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.

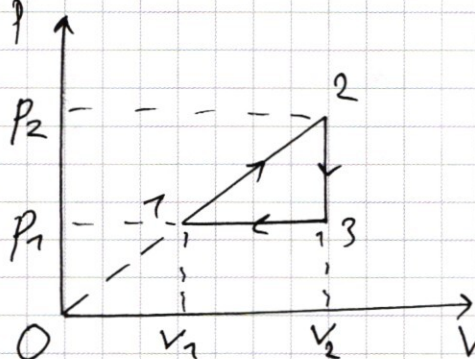






## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2.



Уравнение Клапейрона:

$$pV = \nu RT ; V = \text{const} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{pV}{\nu R} \Rightarrow \text{температура}$$

раза повышается при

увеличении  $pV \Rightarrow$  температура повышается в процессах 2-3 и 3-1 т.к. в процессе 1-2  $p$  линейно возрастает с  $V$ , а в 2-3 при  $V = \text{const}$   $p$  падает, а в 3-1 при  $p = \text{const}$  падает объем.

I-ое начало термодинамики для процессов 2-3 и 3-1:

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + A_{23} ; A_{23} = 0 \text{ т.к. } dV = 0$$

$$Q_{3-1} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + A_{31} ; A_{31} = p_1 (V_1 - V_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{т.к. } p_1 V_3 = \nu R T_3 ; V_3 = V_2 \quad \leftarrow \text{площадь под графиком}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow p_1 (V_1 - V_2) = \nu R (T_1 - T_3) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3) = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) ; i=3 ; \text{т.к. газ одноатомный}$$

(по условию)

По формуле теплоемкости можно представить через молярные теплоемкости:  $Q_{3-1} = \nu C_{31} (T_1 - T_3) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3) = \nu C_{31} (T_1 - T_3) \Rightarrow C_{31} = \frac{5}{2} R$$

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

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



$$|C_{31}| = \frac{5}{2}R \Rightarrow \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{3}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \boxed{\frac{3}{5}} \text{ т.к. в обоих}$$

процессах от газа отводится тепло и его  $T$  падает  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  обе теплоемкости положительные.

$$1-2 : p = \lambda V \Rightarrow p_1 = \lambda V_1 ; p_2 = \lambda V_2 ; \lambda = \text{const.}$$

$$Q_{12} = A_{12} + \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) ; A_{12} - \text{найдем как площадь}$$

под графиком (площадь трапеции)  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow A_{12} = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = \frac{\lambda(V_1 + V_2)}{2} (V_2 - V_1) = \frac{\lambda(V_2^2 - V_1^2)}{2}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow \lambda V_1^2 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2 \Rightarrow \lambda V_2^2 = \nu R T_2$$

$$\Rightarrow \nu R (T_2 - T_1) = \lambda (V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot \lambda (V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{12} = \frac{3}{2} \lambda (V_2^2 - V_1^2) + \frac{\lambda(V_2^2 - V_1^2)}{2} = 2 \lambda (V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2 \lambda (V_2^2 - V_1^2) \cdot 2}{\lambda (V_2^2 - V_1^2)} = \boxed{4}$$

Тепло к газу подводится только в процессе 1-2  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow Q^+ = Q_{12} = 2 \lambda (V_2^2 - V_1^2) ; \text{ в других процессах}$$

газ теряет внутреннюю энергию и совершает отрицательную работу  $\Rightarrow$  отдает тепло.

Работу газа за цикл найдем как площадь

фигуры в  $p(V)$  координатах (прямоугольный  $\Delta$ -к)  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow A_{\text{цикл}} = S_{\Delta} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) \cdot (p_2 - p_1) = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) \cdot \lambda (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} \lambda (V_2 - V_1)^2 \Rightarrow \eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q^+} = \frac{\frac{1}{2} \lambda (V_2 - V_1)^2}{2 \lambda (V_2^2 - V_1^2)} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(V_2 - V_1)}{V_1 + V_2} =$$

$$= \frac{1}{4} \left( \frac{V_2 + V_1 - 2V_1}{V_1 + V_2} \right)$$

Теперь мы выберем точку с  $V_1$  и найдем скорость из нее график, меняя  $V_2$ .  $\Rightarrow$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

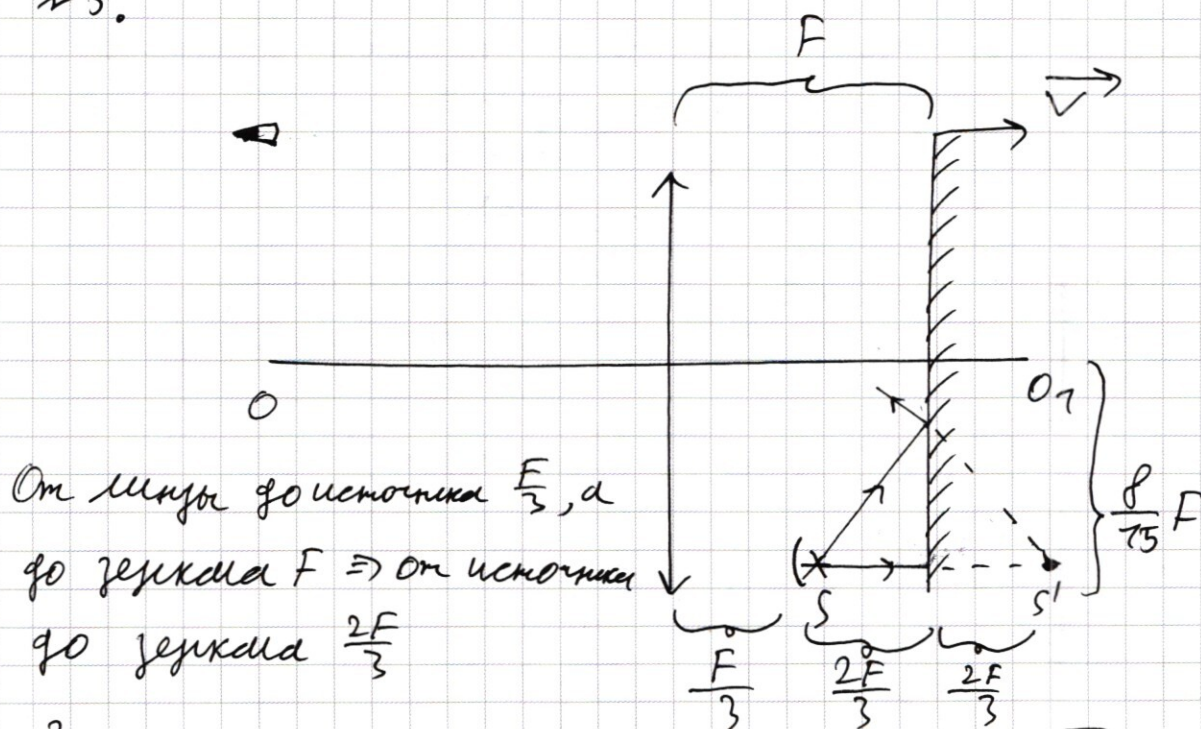
~ 2 (кратчайшее).

$$h' = \frac{1}{4} \cdot \frac{7 \cdot (V_1 + V_2) - 7(V_2 - V_1)}{(V_1 + V_2)^2} = \frac{V_1 + V_2 - V_2 + V_1}{4(V_1 + V_2)^2} = \frac{V_1}{2(V_1 + V_2)^2}$$

$\Rightarrow$  кривая всегда положительна  $\Rightarrow$  функция  $h(V_2)$  всегда возрастает  $\Rightarrow \lim_{V_2 \rightarrow \infty} \frac{(V_2 - V_1)}{V_1 + V_2} = \left[ \frac{\infty}{\infty} \right] =$

$$= \lim_{V_2 \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{V_1}{V_2}}{\frac{V_1}{V_2} + 1} = 1 \Rightarrow h_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 1 = \frac{1}{4} = \boxed{0,25}$$

Ответ:  $\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}$  ;  $\frac{Q_{12}}{A_{22}} = 4$  ;  $h_{\max} = 0,25$   
~ 5.



От лампы до источника  $\frac{F}{3}$ , а

до зеркала  $F \Rightarrow$  от источника

до зеркала  $\frac{2F}{3}$

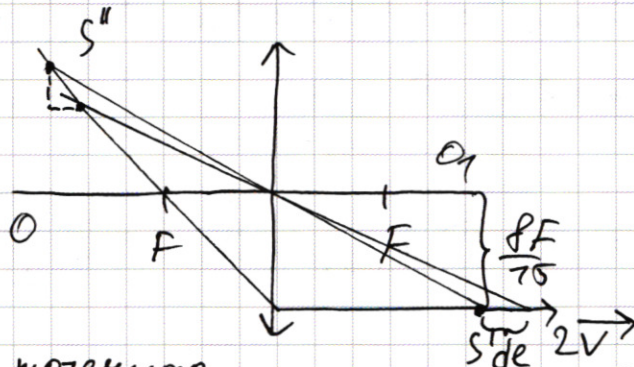
Зеркало отражает лучи так, что изображение источника в ~~зеркале~~ ~~находящийся~~ на расстоянии  $\frac{2F}{3}$  от зеркала (симметрично)  $\Rightarrow$  от  $S'$  до лампы расстояние:  $F + \frac{2F}{3} = \frac{5F}{3} > F \Rightarrow$  изображение будет действ.



Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1.3}{5F} + \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{5-1.3}{5F} = \frac{1}{x} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{2}{5F} \Rightarrow x = \frac{5F}{2}$$

Если зеркала  $pa$  и  $ad$   $dt$  сдвинутся от источника на  $V dt \Rightarrow$  его изображение на  $de$  сдвинется на  $V dt$  от зеркала  $\Rightarrow$  изображение движется со скоростью  $2V$  относительно линзы влево:

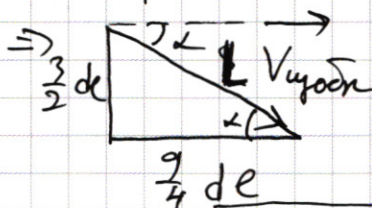


$$\Gamma = \frac{3x}{5F} = \frac{3 \cdot \frac{5F}{2}}{5F} = \frac{3}{2}$$

(поперечное увеличение).

Поперечное увели-

чение для точечного источника  $\gamma = \Gamma^2 = \frac{9}{4} \Rightarrow$  Если  $S'$  сдвинется на  $de$  от линзы влево  $\Rightarrow$  его изображение  $S''$  приблизится к линзе на  $\frac{9}{4} de$  и снова будет к от  $OO_1$  на  $\frac{3}{2} de \Rightarrow$



$$\sin \alpha = \frac{\frac{3}{2} de}{\frac{9}{4} de} = \frac{3 \cdot 4^2}{2 \cdot 9^2} = \frac{2}{3} \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{2}{3}\right)$$

$$L = \sqrt{\frac{9}{4} de^2 + \frac{81}{76} de^2} \quad (\text{по Т. Пифагора}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = \frac{\sqrt{777}}{4} de \quad ; \quad de = 2V \cdot dt \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{L}{dt} = \frac{\sqrt{777}}{4} \cdot \frac{de}{dt} = V_{\text{цорл}} \quad \frac{de}{dt} = 2V \Rightarrow$$

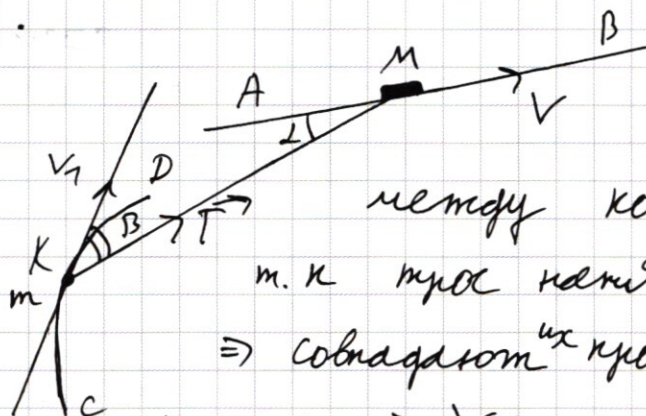
$$\Rightarrow V_{\text{цорл}} = \frac{\sqrt{777}}{4} \cdot 2V = \frac{V\sqrt{777}}{2}$$

Ответ:  $x = \frac{5F}{2}$  ;  $\alpha = \arcsin\left(\frac{2}{3}\right)$  ;  $V_{\text{цорл}} = \frac{V\sqrt{777}}{2}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1.



Пл. к стержню  
натянут ~~натянут~~  $\Rightarrow$  растянут

методу косинусов и муфта постоянно,  
т.к. трос натянут в данный момент.  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  совпадают их проекции скоростей на ось

троса.  $\Rightarrow V \cos \alpha = V_1 \cos \beta \Rightarrow$  т.к. трос не  
рвется.

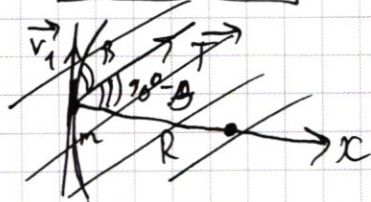
$$\Rightarrow V_1 = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{40 \text{ м/с} \cdot \frac{3}{5}}{\frac{4}{5}} = 3 \cdot 77 \frac{8}{77} \boxed{57 \text{ м/с}}$$

$V_1$  направлена по касательной к окружности т.к.  
колено движется по дуге окружности. Пл. к отно-  
сительно троса колено и муфта неподвижны  $\Rightarrow$  их  
относительная скорость зависит от их скоростей  $\perp$   
А тросу. Колесо движется вверх отн. троса, а муфта  
вниз  $\Rightarrow V_{отн} = V_1 \cdot \sin \beta + V \cdot \sin \alpha$

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5} \\ \sin \beta &= \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \frac{15}{17} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{отн} = 57 \text{ м/с} \cdot \frac{15}{17} + 40 \text{ м/с} \cdot \frac{4}{5} = 45 \text{ м/с} + 32 \text{ м/с} =$$

$$= \boxed{77 \text{ м/с}}$$



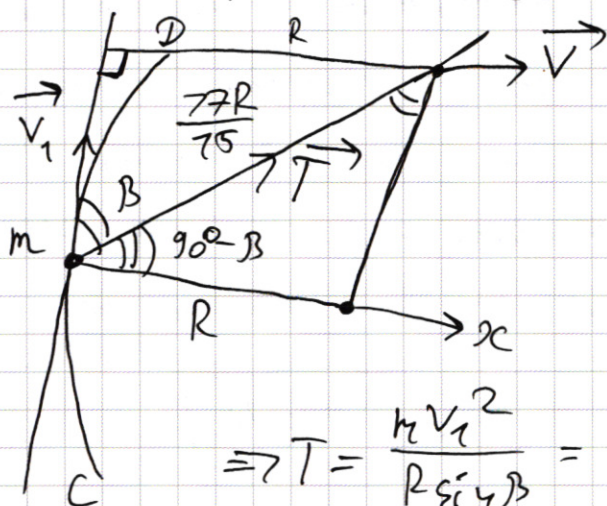
2 закон Ньютона в проекции на  
ось x:  ~~$F \cos(90^\circ - \beta) = \frac{mv^2}{R}$~~



$$\Rightarrow T = \frac{1m \cdot (1,7 \cdot 0,3)^2 \cdot 1/c^2}{1,7 \cdot 1,7 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1/c^2} = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 1,7 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1}{1,7 \cdot 1,7 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1} =$$

$$= \cancel{0,7734 \text{ H}}$$

Given:  $V_1 = 57 \text{ m/c}$ ;  $V_{OTI} = 77 \text{ m/c}$ ;  $T = \cancel{0,7734 \text{ H}}$



$$m \cdot \sin \beta = \frac{75}{77}$$

$$\text{Ox: } T \cos(90^\circ - \beta) = \frac{m V_1^2}{R}$$

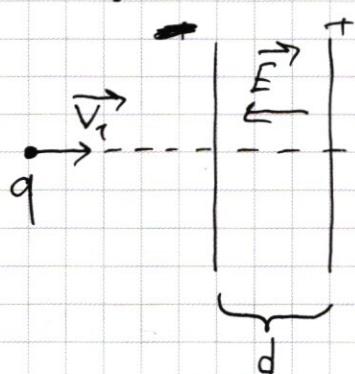
$$T \sin \beta = \frac{m V_1^2}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{m V_1^2}{R \sin \beta} = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 1,7 \cdot 0,3 \cdot 0,3}{57 \cdot \frac{75}{77}} = 0,7734 \text{ H}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~ 3.



$$\frac{q}{m} = \gamma ; q > 0.$$

Заряды обкладок выбраны такими образом, чтобы частица (положительная) после пролета через 1 пластину тормозилась.

П.к поле равномерно однородное  $\Rightarrow \vec{E} = \text{const} \Rightarrow$

$\Rightarrow$  2-ой закон Ньютона для частицы примет вид:

$$m a_x = -E q ; a_x - \text{проекция на } x.$$

$$a_x = \frac{v_1 + 0}{T} ; T - \text{время торможения} ; a_x = \text{const т.к.}$$

$$\vec{E} = \text{const} \Rightarrow m \cdot \frac{-v_1}{T} = -E q$$

$$T = \frac{m v_1}{E q} = \boxed{\frac{v_1}{E \gamma}} \quad (1)$$

$$E = \text{const (по условию)} \Rightarrow$$

$\Rightarrow U = E d$  - напряжение на конденсаторе.

$$\text{ЗЗЭ: } \frac{m v_1^2}{2} = F_{эл} \cdot (d - q_2 d) \Rightarrow \frac{m v_1^2}{2} = \frac{E q \cdot 4d}{5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = \frac{5 m v_1^2}{8 q d} = \frac{5 v_1^2}{8 \gamma d} \quad \leftarrow \text{работа на торможение}$$

$\Rightarrow$  подставим в (1):

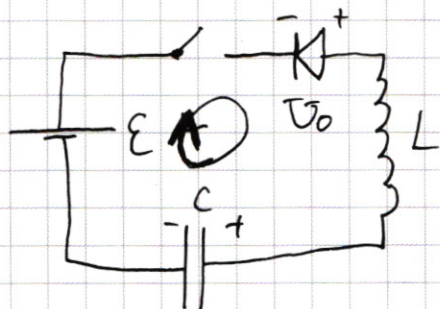
$$T = \frac{v_1}{E \gamma} = \frac{v_1 \cdot 8 \gamma d}{8 \cdot 5 v_1^2} = \boxed{\frac{8 d}{5 v_1}} ; U = E d = \frac{5 v_1^2}{8 \gamma d} \cdot d =$$

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

Плать вне конденсатора нет  $\Rightarrow$  на заряд не действуют силы  $\Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = \text{const}$ , т.к. заряд каждой обкладки одинаков по модулю, но разный по знаку  $\Rightarrow$  вне конд.  $E = \frac{-\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0, \sigma = \frac{q}{S} \Rightarrow v_1 = v_0$  Ответ:  $T = \frac{8 d}{5 v_1} ; U = \frac{5 v_1^2}{8 \gamma}, v_0 = v_1$



~4.



Сразу после замыкания ключа ток в цепи не появится, т.к. не может возникнуть магнитный поток через катушку.

Сразу после замыкания ключа напряжение на диоде  $\Rightarrow$  по закону Кирхгофа:

~~Сразу после замыкания ключа~~

$$U_C - E - U_0 = |U_L|$$

$$6В - 3В - 0В = |U_L| \Rightarrow U_L = 3В \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3В = L \left( \frac{dI}{dt} \right) \leftarrow \text{скорость роста тока в начальный момент} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{3В}{0,2Гн} = \boxed{15 \text{ А/с}} \quad \text{Ток будет максимальным}$$

в момент  $\frac{dI}{dt} = 0$  (не увеличивается, не уменьшается).

$$q_0 = CU_C - \text{начальный заряд на конденсаторе.} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 6В = 120 \text{ нКл}; U_L = 0 \text{ т.к. } \frac{dI}{dt} = 0.$$

$$\text{При } I_{\max}: U_C' = U_0 + E = 4В \Rightarrow \Delta q = CU_C - CU_C' = C(U_C - U_C') = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 2В = 40 \text{ нКл}$$

$$W_0 = \frac{CU_C^2}{2} - \text{начальная энергия.}$$

$$A_{\text{ист}} = -E \Delta q \quad (\text{против источника или заряда}).$$

$$Q_d = U_0 \Delta q - \text{тепло на диоде.} \Rightarrow \text{ЗСЭ:}$$

$$-E \Delta q = \frac{CU_C'^2}{2} + \frac{LI_{\max}^2}{2} - \frac{CU_C^2}{2} + U_0 \Delta q$$

$$-\Delta q (E + U_0) = \frac{LI_{\max}^2}{2} + \frac{C(U_C'^2 - U_C^2)}{2}$$

$$-C(U_C - U_C')(E + U_0) = \frac{LI_{\max}^2}{2} + \frac{C(U_C' - U_C)(U_C' + U_C)}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_m = 0,02 \text{ А} = 20 \text{ мА}; \text{ а } \frac{dI}{dt} = 15 \text{ А/с}; I_m = 20 \text{ мА}$$

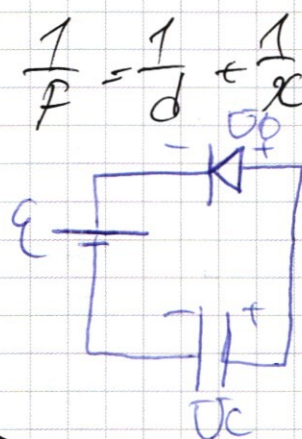
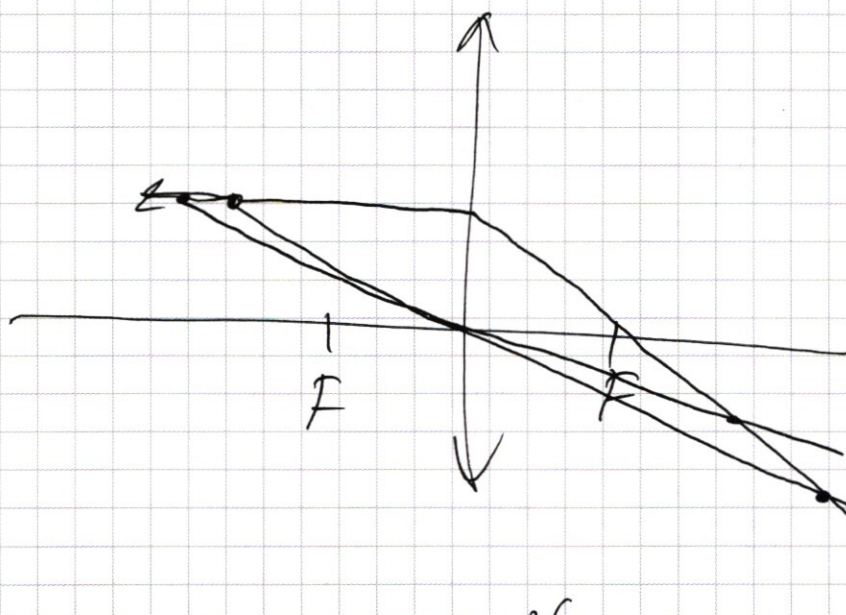


## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_1 = \cos \varphi \tau$$

$$\eta' = \frac{1}{4} \cdot \frac{\gamma(V_2 + V_1) - (V_2 - V_1) \cdot \gamma}{(V_1 + V_2)^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_2 + V_1 - V_2 + V_1}{(V_1 + V_2)^2} =$$

$$= \frac{2V_1}{4(V_1 + V_2)^2}$$

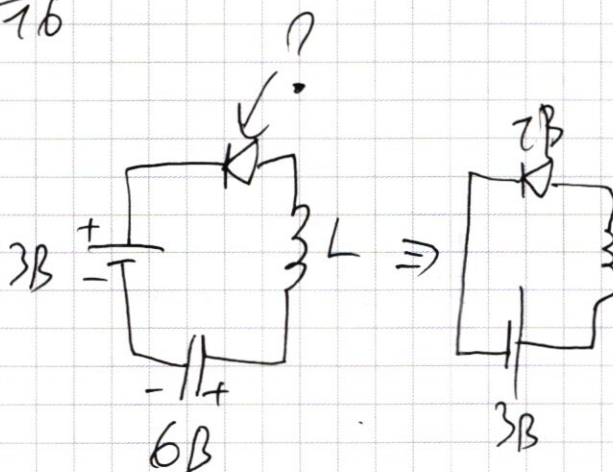


$$U_c - U_0 - E = 0$$

$$\frac{9}{4} + \frac{81}{16} = \frac{81 + 36}{16}$$

$$\frac{81 + 36}{177}$$

$$\frac{2 \cdot 10}{2}$$





$I = 0$  в узле. перем.

$$(0,57)^2 = (0,77)^2 + (\cancel{0,3})^2 =$$

$$0,57 = (7,7)$$

$$V_1 \cdot \frac{8}{77} = 40 \text{ м/с} \cdot \frac{3}{5}$$

$$V_1 = 77 \cdot 3 \text{ м/с}$$

$$7,7 \cdot 0,3 =$$

$$\begin{array}{r} 77 \\ \times 3 \\ \hline \end{array}$$

$$0,57$$

$$\begin{array}{r} 77 \\ \times 3 \\ \hline 51 \end{array}$$

$$57 \text{ м} \cdot \frac{77}{77} + 40 \cdot \frac{4}{5} = 45 + 32$$

$$\begin{array}{r} 45 \\ 77 \\ \hline 77 \end{array}$$

$$4 + 6 - 6 - 2 = 2$$

$$\begin{array}{r} 289 \\ - 64 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 275 \\ \times 75 \\ \hline 15 \\ \hline 225 \end{array}$$

$$6B - 3B = 3B$$

$$\frac{3B}{2} \cdot 70 = 75 \text{ А/с}$$

$$\frac{L I_m^2}{2} = \frac{C(U_C - U_C')(U_C' + U_C)}{2} - \frac{2C(U_C - U_C')(E + U_C)}{2} \quad \frac{28,9 \cdot 0,03}{5}$$

$$L I_m^2 = (U_C - U_C')(U_C' + U_C - 2(E + U_C)) =$$

$$= 20 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 2 - 20 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 100 =$$

$$\begin{array}{r} 77 \cdot 77 = 289 \\ 12 \\ \times 289 \\ \hline 0,8672 \\ 5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 77 \\ \times 867 \\ \hline 2 \\ \hline 7734 \\ \hline 10 \end{array}$$

$$\sqrt{1 \cdot 10^{-4}} = I_m \Rightarrow I_m = 2 \cdot 10^{-2} = \frac{2}{100} = 0,02 \text{ А}$$