

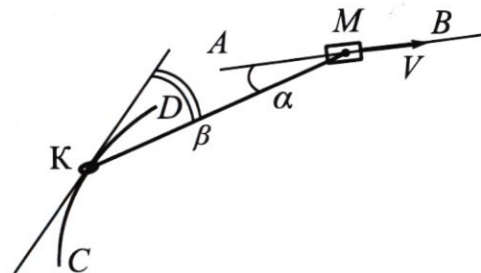
Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Класс 11

Вариант 11-01

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

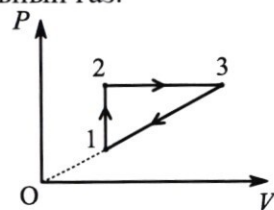
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) 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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы

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

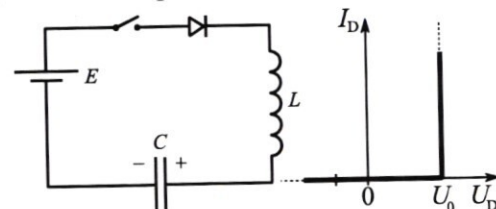
- 1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

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 $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

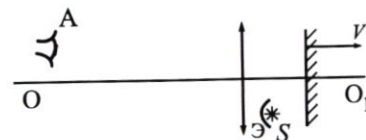
Ключ замыкают.

- 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 $F/2$ от плоскости 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

Φ
 S
 $0,28\Phi$
 $\frac{q}{m}$
 V_1

$V_1 = qT$

$F = Eq = \frac{Q}{\epsilon_0 S} q = mce$

$\frac{qT^2}{2} = 0,75\Phi$

$\frac{Q}{\epsilon_0 S} \frac{q}{m} T^2 = 1,5\Phi$

$\frac{mv_1^2}{2} = 0,75\Phi \frac{Q}{\epsilon_0 S}$

$\frac{mv_1^2}{2} = 0,75\Phi Eq$

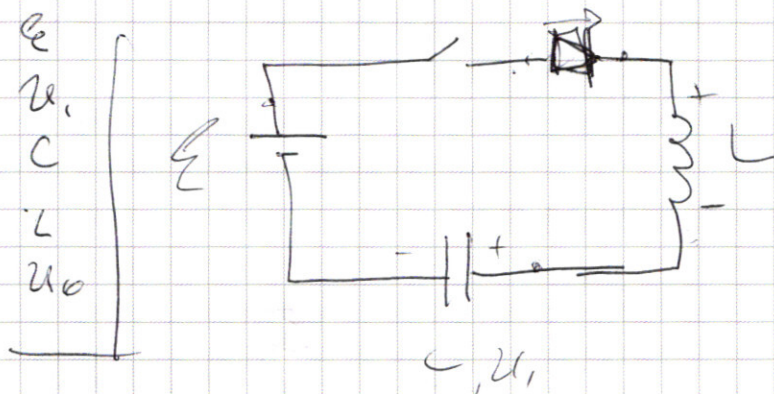
$v_1^2 = 1,5\Phi Eq =$
 $= (EqT)^2$

$EqT = 1,5\Phi$
 $E = \frac{1,5\Phi}{qT}$

$\frac{68}{100} = \frac{17}{25}$

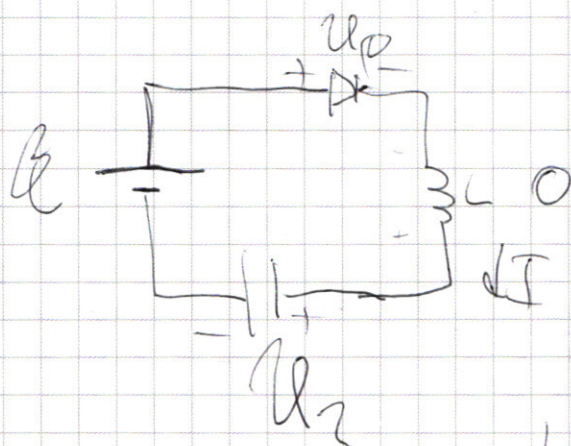
$\left(\frac{u}{v}\right)' = \left(u \cdot \frac{1}{v}\right)' = u' \frac{1}{v^2} + u \cdot \frac{-1}{v^3} v'$
 $(v^{-1})' = -v^{-2} v'$

$-(5d^2 - 5d - 2d + 2)$



$$L \frac{dI}{dt} = E - U_1 - U_0$$

$$L \frac{dI}{dt} = E - U_1 - \frac{q}{C} - U_0$$



$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{L} \right) = \frac{1}{L} \frac{dq}{dt}$$

$$E = U_2 + U_0$$

$$\frac{C U_1^2}{2} + q E = \frac{C U_2^2}{2} + \frac{L I^2}{2}$$

$$U_2 = E - U_0$$

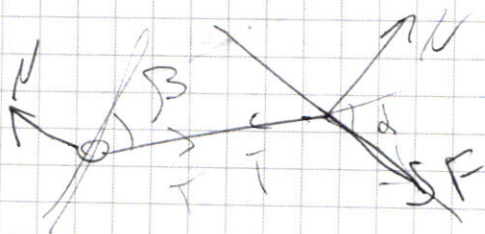
$$q = C U$$

$$\Delta q = C \Delta U$$

$$\frac{C U^2}{2} + \Delta q E = \frac{C U_3^2}{2}$$

$$U_3 =$$

$$10 \text{ V}^2$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$v, m, l, R, \alpha, \beta$

$$v_1 \cos \beta = v \cos \alpha$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$v_1^2 - v^2 = v^2 + v_1^2 + 2vv_1 \cos(\alpha + \beta)$$

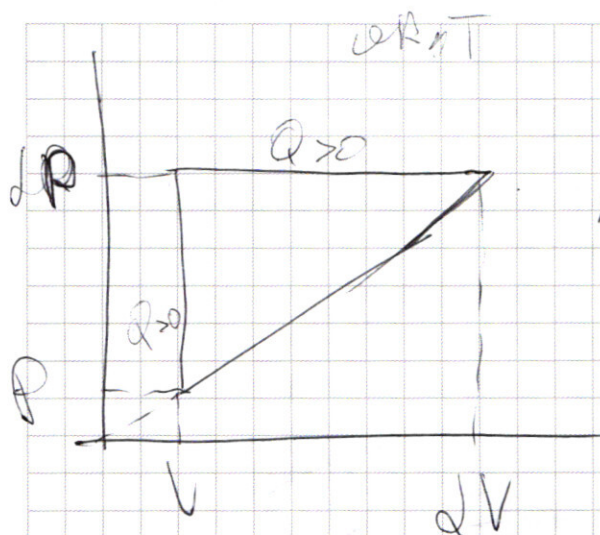
$$Q_{12} / (T_2 - T_1) = \frac{15 \cdot 68}{17 \cdot 5} = \frac{3}{5}$$

$$Q_{23} / (T_3 - T_2) = \frac{36}{17 \cdot 5} = \frac{3}{5}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{5} R (T_2 - T_1)$$

$$Q_{23} = \frac{3}{5} R (T_3 - T_2)$$

$$A = \Delta P \cdot V / 2$$



$$A = \frac{(2-p)^2 R U}{2}$$

$$Q = \frac{3}{2} \omega R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \omega R (T_3 - T_2) = \frac{\omega R}{2} (3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2)$$

$$\eta = \frac{(2-p)^2 \omega R T_1}{R (5T_3 - 3T_1 - 2T_2)}$$

$$\frac{P}{T_1} = \frac{2P}{T_2}$$

$$T_2 = 2T_1$$

$$= (2-p)^2 \frac{T_1}{5 \cdot 2T_1 - 2 \cdot 2T_1 - T_1} =$$

$$\frac{2PV}{T_2} = \frac{2^2 PV}{T_3}$$

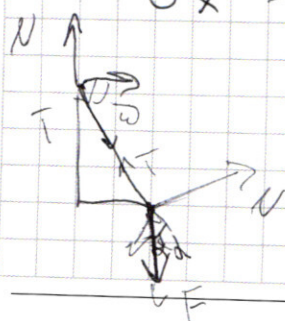
$$= \frac{(2-p)^2}{5 \cdot 2^2 - 2 \cdot 2 - 1} = \frac{5 \cdot 2^2 - 2 \cdot 2 - 1 + 4 \cdot 2 + 2}{5 \cdot 2^2 - 2 \cdot 2 - 1} \quad T_3 = 2T_2 = 4T_1$$

$$= 1 + \frac{2 - 4p^2}{5 \cdot 2^2 - 2 \cdot 2 - 1} \quad \frac{0.1 \cdot 9/16}{(3/5 - 5/3) R}$$

$$8^2 + \frac{2}{5} \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{5} - \frac{3}{5} \cdot 2 + \frac{6}{5} \right) = \frac{3}{5} \cdot 2 + \frac{6}{5}$$

$$f = \frac{(x-p)^2}{5x^2 - 2x - p}$$

$$f' = \frac{2(x-p)(5x^2 - 2x - p) - (5x^2 - 2x - 3)(x-1)^2}{(5x^2 - 2x - 3)^2}$$



$$x = 1$$

$$\frac{0}{4} = 1 + 5 = 16 \quad 1 - \frac{3}{5}$$

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{6}}{5} \quad \frac{1-4}{5}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $v = 68 \text{ см/с} = 0,68 \text{ м/с}$

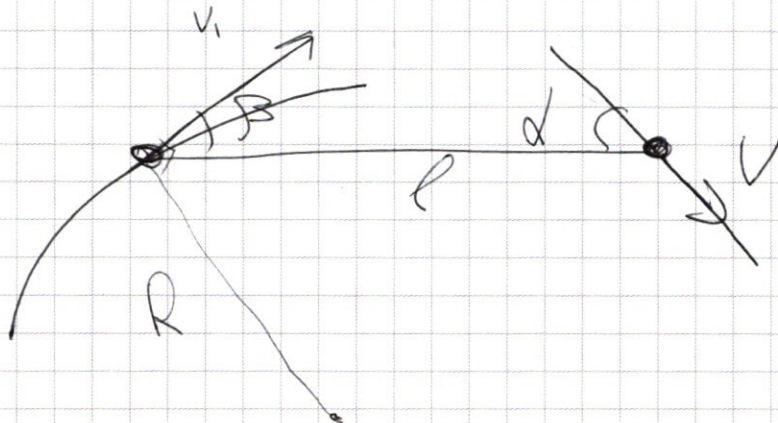
$m = 0,1 \text{ кг}$

$R = 1,9 \text{ м}$

$l = 5R/13$

$\cos \alpha = 15/17$

$\cos \beta = 4/5$



v_1

v_0

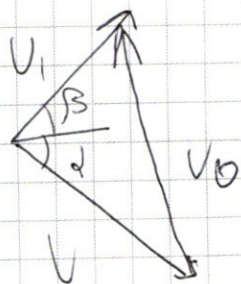
T

Твердую гибкую нить не
мешается, измеряем скорости
и ускорения (a, a_1, v, v_1) на нити ~~будет~~ равен

$$v_1 \cos \beta = v \cos \alpha$$

$$v_1 = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{0,68 \cdot 15}{4} = 2,55 \text{ м/с}$$

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_1 - \vec{v}$$

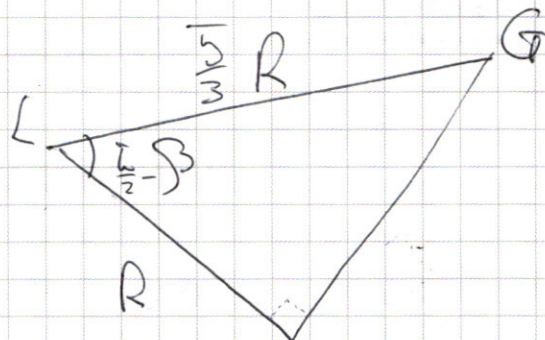
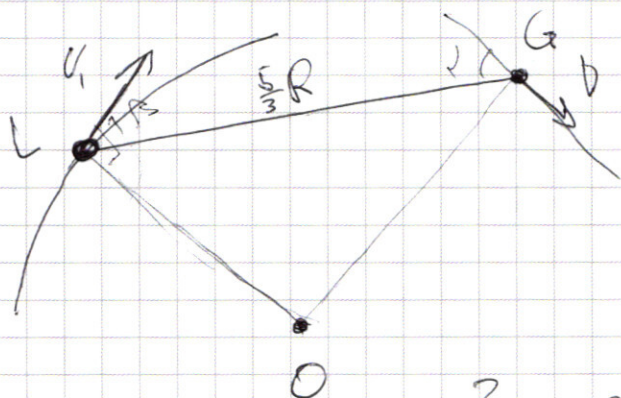


$$v_0^2 = v^2 + v_1^2 - 2vv_1 \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{36}{85}$$

$$v_0^2 = 0,68^2 + \frac{9}{16} - 2 \cdot \frac{3}{17} \cdot 0,68 \cdot \frac{36}{85}$$

$$v_0 = \sqrt{0,4624 + \frac{9}{16} - \frac{3}{170} \cdot 24,48} \text{ м/с}$$



$$OG^2 = OL^2 + LG^2 - 2 \cdot OL \cdot LG \cos(\frac{\pi}{2} - \beta)$$

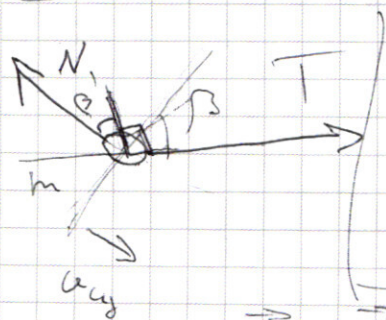
$$OG^2 = R^2 + \frac{25}{9} R^2 - 2 \cdot R \cdot \frac{5}{3} R \cdot \sin \beta$$

$$OG^2 = R^2 \left(\frac{34}{9} - \frac{10}{3} \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \right)$$

$$OG^2 = R^2 \left(\frac{34}{9} - \frac{10}{3} \cdot \frac{3}{5} \right) = \frac{16}{9} R^2$$

$$OG = 4R/3$$

$$LG^2 = LO^2 + OG^2 \Rightarrow \angle O = \pi/2$$



ускорения поперек = 0 =>

=> пр. ускорения равны

на нить = пр. уск. скорости = 0

$$\vec{N} + \vec{T} = m\vec{a}_c$$

$$\begin{cases} T \sin \beta - N = m a_{cy} = m v_1^2 / R \\ N \sin \beta = T \end{cases}$$

$$N = T / \sin \beta$$

$$T \sin \beta - \frac{T}{\sin \beta} = m v_1^2 / R$$

$$T = \frac{m v_1^2}{\left(\sin \beta - \frac{1}{\sin \beta} \right) R}$$

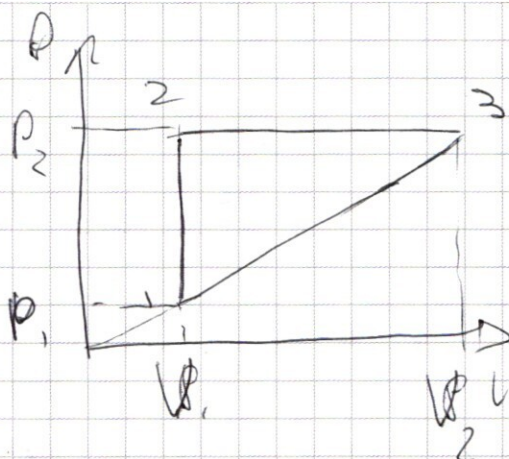
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. $\theta = 1$

$\frac{C_{12}}{C_{23}}$

$\frac{Q_{23}}{A_{23}}$

$\gamma_{\max}$



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

$$= \frac{3}{2} R (T_2 - T_1) + 0$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} R (T_3 - T_2) + P_2 (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{5}{2} R (T_3 - T_2)$$

$$C_{12} = Q_{12} / (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} R$$

$$C_{23} = Q_{23} / (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{5}{2} R (T_3 - T_2)}{R (T_3 - T_2)} = \frac{5}{2}$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (P = kV)$$

$$P_2 = 2P_1$$

$$V_2 = 2V_1$$

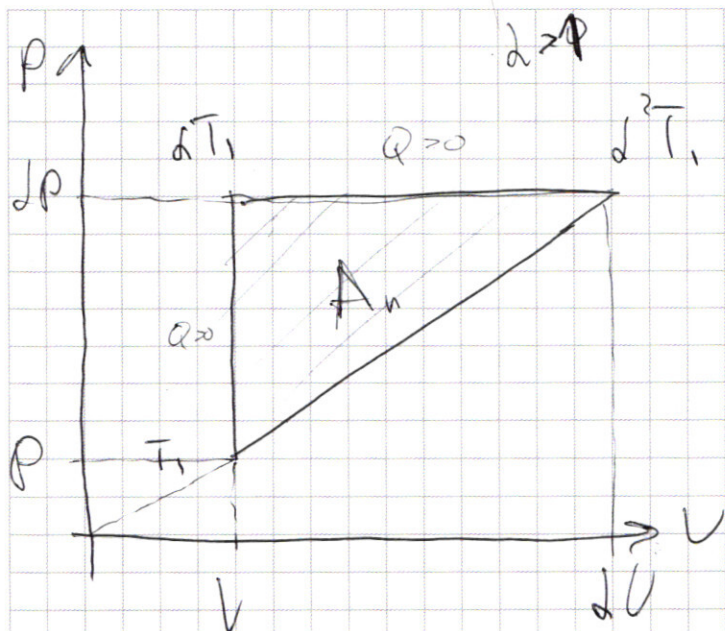
$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{2P_1 \cdot 2V_1}{T_2}$$

$$T_2 = 4T_1$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{2P_1 \cdot 4V_1}{T_3}$$

$$T_3 = 8T_1$$



$$\eta = \frac{A_n}{Q} \cdot 100\%$$

$$A_n = (d-1)^2 PV/2 = \frac{(d-1)^2}{2} R T_1$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} =$$

$$= \frac{R}{2} (3(T_2 - T_1) + 5(T_3 - T_2)) = \frac{R}{2} (5T_3 - 2T_2 - 3T_1)$$

$$Q = \frac{R}{2} (5d^2 T_1 - 2d T_1 - 3T_1)$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{\frac{(d-1)^2}{2} R T_1}{\frac{R T_1}{2} (5d^2 - 2d - 3)} = \frac{(d-1)^2}{5d^2 - 2d - 3}$$

$$\frac{d\eta}{dd} = \frac{2(d-1)(5d^2 - 2d - 3) - (5d^2 - 2d - 3)^2}{(5d^2 - 2d - 3)^2} = 0$$

$$10d^2 - 4d - 6 - 5d^2 + 5d + 2d + 2 = 0$$

$$5d^2 + 3d - 8 = 0$$

$$D = 9 + 40 = 49$$

$$d = \frac{-3 \pm 7}{10} \quad \leftarrow \begin{matrix} 2/5 \\ -1 \end{matrix}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задание: Сдвинуть пластины конденсатора на расстояние $0,25d$ при напряжении U . Найти скорость v_1 и v_2 .

Исходные данные: Q , d , $0,25d$, T , $\frac{q}{m} = \gamma$.

Решение:

1. Энергетический подход:

$$\frac{mv_1^2}{2} = Eq \cdot 0,75d$$

$$v_1^2 = 1,5d E \frac{q}{m}$$

2. Динамический подход:

Сила $F = Eq = ma$

$$a = E \frac{q}{m}$$

3. Связь скорости и ускорения:

$$v_1^2 = (aT)^2$$

$$1,5d E \frac{q}{m} = \left(E \frac{q}{m} T\right)^2$$

$$1,5d = E \gamma T^2$$

$$E = \frac{1,5d}{\gamma T^2}$$

4. Напряженность электрического поля:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$Q = E \epsilon_0 S$$

5. Скорость v_1 :

$$v_1 = \sqrt{1,5d E \gamma} =$$

$$= \boxed{1,5d / T}$$

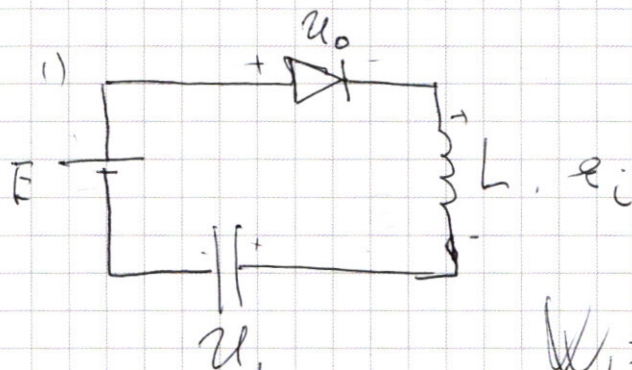
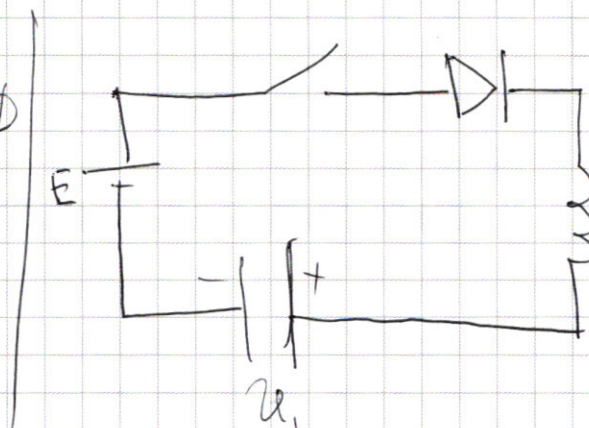
6. Скорость v_2 :

$$\boxed{v_2 = v_1}$$

Проверка: $\frac{1,5d}{T} = \frac{1,5d \epsilon_0 S}{\gamma T^2} \cdot \frac{1,5d}{T}$

$\epsilon. E = 9 \text{ В}$
 $C = 40 \text{ мкФ} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$
 $U_1 = 5 \text{ В}$
 $U_0 = 1 \text{ В}$
 $L = 0,1 \text{ Гн}$

 dI/dt



$$W_1 = \frac{CU_1^2}{2}$$

Сразу после замыкания конденсатора не генерал заряжается.

$$E = U_0 + L dI/dt + U_1$$

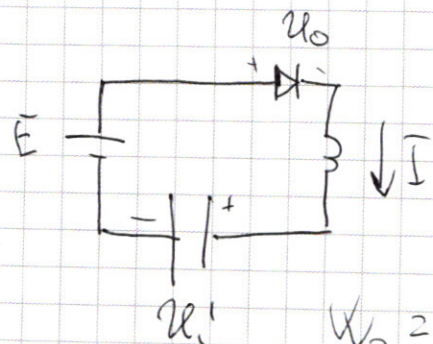
$$\frac{dI}{dt} = \frac{E - U_0 - U_1}{L} = \frac{9 - 1 - 5}{0,1} = \boxed{30 \text{ А/с}}$$

Тогда достигнет максимальный заряд

$$dI/dt = 0 \Rightarrow I_c = 0 \Rightarrow E = U_0 + U_1'$$

$$U_1' = E - U_0 = 9 - 1 = 8 \text{ В}$$

$$\Delta q = C \Delta U = C(U_1' - U_1) = 3 \text{ с}$$



$$W_2 = \frac{CU_1'^2}{2} + \frac{LI^2}{2}$$

$$A = \Delta q E$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$W_1 + A = W_2$$

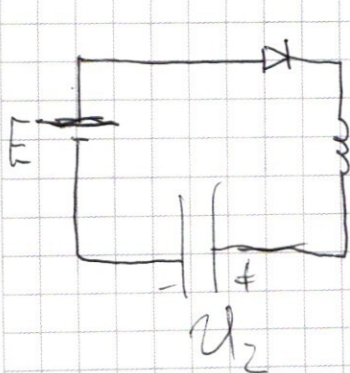
$$\frac{C U_1^2}{2} + \Delta q E = \frac{C U_1'^2}{2} + \frac{L I^2}{2}$$

$$C U_1^2 + 2.3 C E = C U_1'^2 + L I^2$$

$$I^2 = \frac{C}{L} (U_1^2 + 6E - U_1'^2) = \frac{C}{L} (25 + 54 - 64) =$$

$$= \frac{4 \cdot 10^{-5}}{0.1} \cdot 15 = 60 \cdot 10^{-4}$$

$$I = 0.04 \cdot \sqrt{15} \text{ A}$$



$$I = 0 \quad W_3 = \frac{C U_2^2}{2}$$

$$A_2 = \Delta q E = (U_2 - U_1) C E$$

$$W_1 + A_2 = W_3$$

$$\frac{C U_1^2}{2} + (U_2 - U_1) C E = \frac{C U_2^2}{2}$$

$$U_2^2 - 2E U_2 + 2E U_1 - U_1^2 = 0$$

$$u_2^2 - 18u_2 + 75 = 0$$

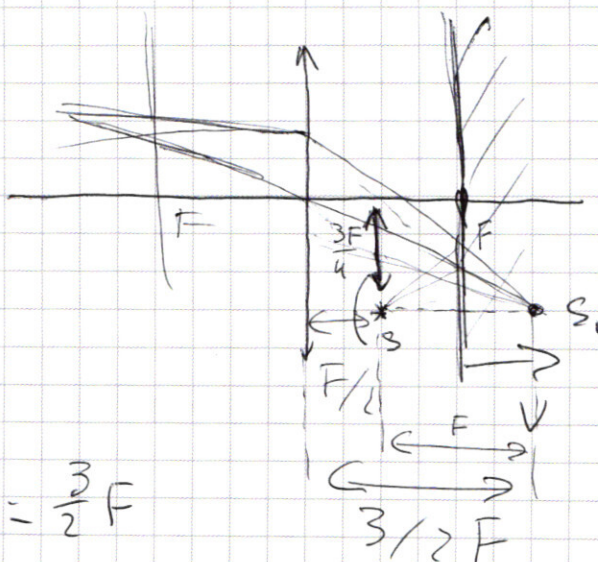
$$\frac{Q}{u} = 81 - 75 = 6$$

$$u_2 = \underline{(9 \pm \sqrt{6}) \text{ В}}$$

Определить $\frac{dI}{dt} = 30 \text{ A/c}$; $I_m = 0.04 \cdot \sqrt{15} \text{ A}$

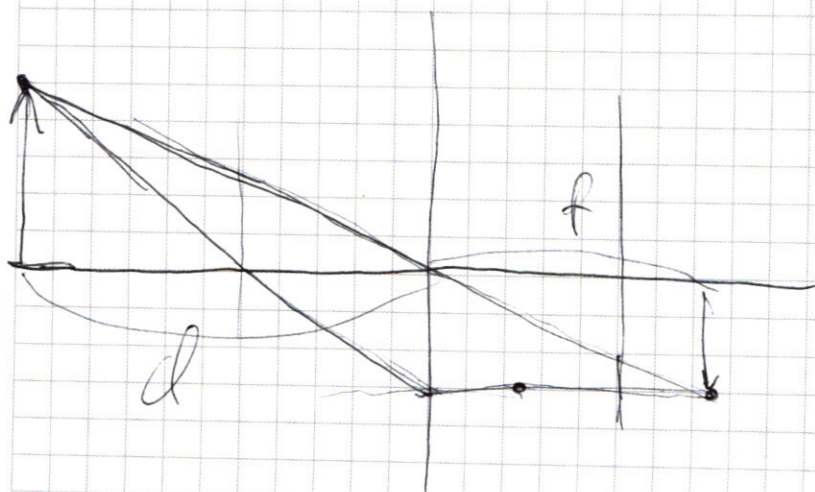
$$u_2 = (9 \pm \sqrt{6}) \text{ В}$$

Б. F
3F/4
F/2
V
d
a
V₁



наблюдатель
А сможет
увидеть
источник
на расстоянии

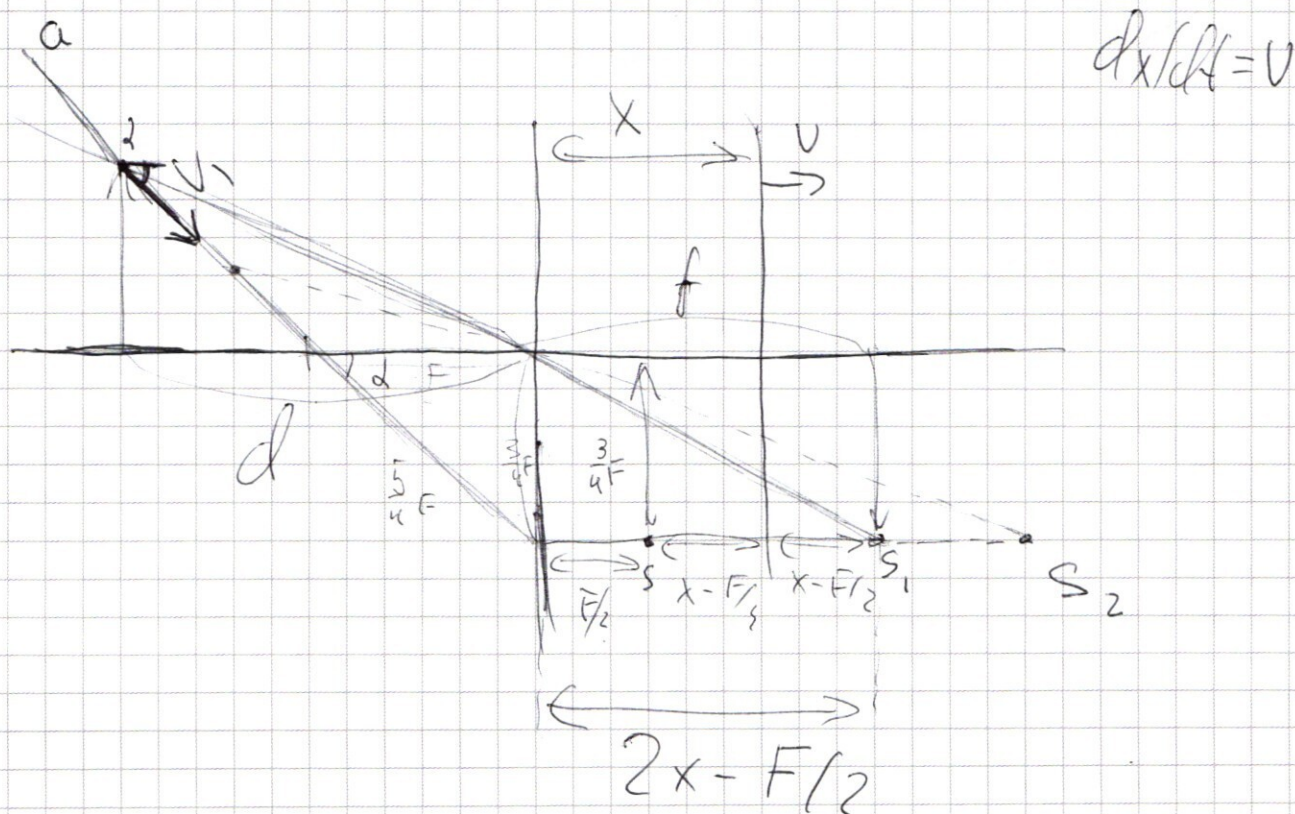
$$d = \underline{3 F}$$



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$d = \frac{F f}{f - F} = \frac{\frac{3}{2} F^2}{\frac{1}{2} F} = \underline{3F}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



изображение движется по линии a

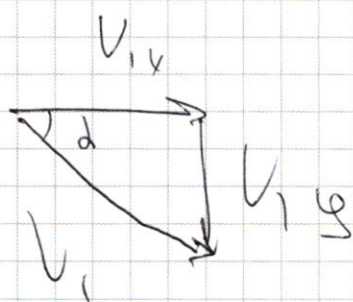
$$\cos \alpha = \frac{3}{4}$$

$$f = 2x - F/2$$

$$d(x) = \frac{Ff}{f-F} = F \frac{2x - F/2}{2x - 3F/2}$$

$$v_{ix} = \frac{dd(x)}{dt} = F \frac{v(2x - 3F/2) - v(2x - F/2)}{(2x - 3F/2)^2} = F \frac{-2Fv}{(2x - 3F/2)^2}$$

$$x = F \quad v_{ix} = 2 \frac{F^2 v}{(2F - 3F/2)^2} = \underline{\underline{8V}}$$



$$V_1 = V_{1x} / \cos \alpha = \frac{5}{4} V_{1x}$$

$$V_1 = 10 \text{ V}$$

Ответ: 1) 3 F, 2) $\arctg \frac{3}{4}$, 3) 10 V