

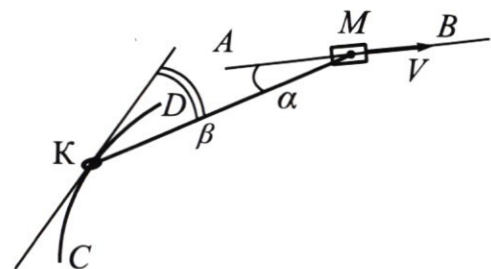
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-04

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.

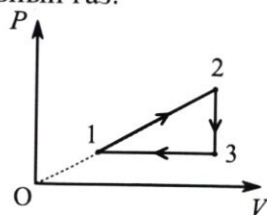


- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
 - 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
 - 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.
2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). 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 изменения внутренней энергии газа 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. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

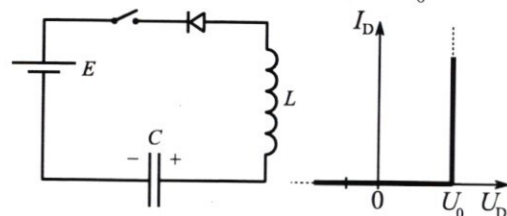
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ 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.

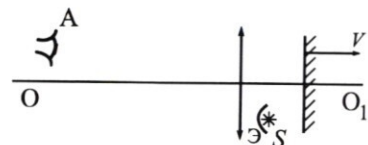


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ 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.

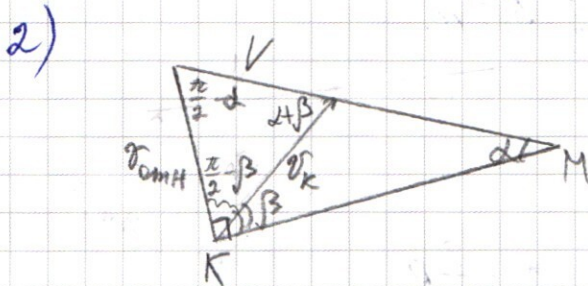
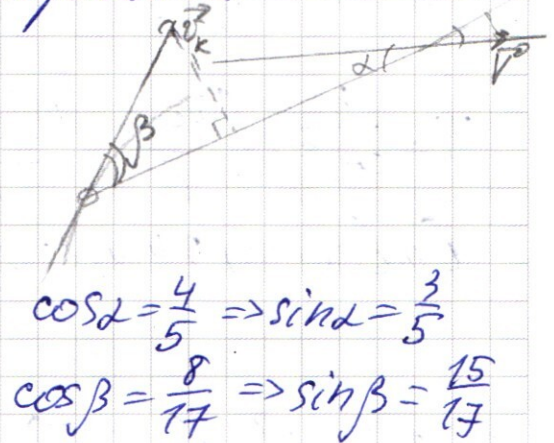


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) В любой момент времени проекции скоростей кольца и муфты на направление троса равны.

$$v_k \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$v_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \text{ м/с} \cdot \frac{4}{5}}{\frac{8}{17}} = 3,4 \text{ м/с}$$



$$v_{\text{см}}^2 = V^2 + v_k^2 - 2Vv_k \cos(\alpha + \beta)$$

В ИСО муфта кольца движется по окружности с центром в точке М радиусом $r \Rightarrow v_{\text{см}} \perp KM$.

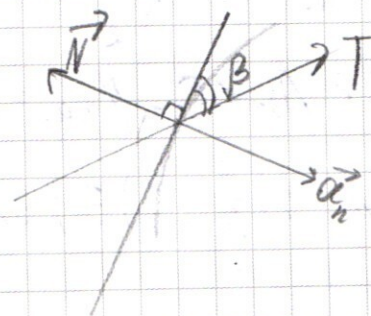
$$\frac{v_{\text{см}}}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{V}{\sin(\frac{\pi}{2} - \beta)} \Rightarrow v_{\text{см}} = V \frac{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta}{\cos \beta}$$

$$= V \cdot \frac{\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} + \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17}}{\frac{8}{17}} = V \cdot \frac{24 + 60}{40} = 2,1V = 4,2 \text{ м/с}$$

3) В ИСО кольцо движется по окружности радиуса R со скоростью v_k

$$T \sin \beta - N = \frac{mv_k^2}{R}$$

$$N = T \sin \beta - \frac{mv_k^2}{R}$$



В УСО муфты: (кольцо вращается по окружности радиуса $\ell = 17R/15$ со скор. $v_{\text{отн}}$)

$$T - N \sin \beta = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{\ell}$$

$$T - \left(T \sin \beta - \frac{m v_K^2}{R} \right) \sin \beta = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{\ell}$$

$$T(1 - \sin^2 \beta) + \frac{m v_K^2 \sin \beta}{R} = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{\ell}$$

$$T \cos^2 \beta = m \left(\frac{v_{\text{отн}}^2}{\ell} - \frac{v_K^2 \sin \beta}{R} \right)$$

$$T = \frac{m}{\cos^2 \beta} \left(\frac{v_{\text{отн}}^2}{\ell} - \frac{v_K^2 \sin \beta}{R} \right) = \frac{0,4 \text{ кН}}{\cos^2 \beta} = 5,1 \text{ кН}$$

Ответ: 1) 3,4 м/с; 2) 4,2 м/с; 3) 5,1 кН.

$\sqrt{2}$.

1) 1-2: $p \uparrow, V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

2-3: $p \downarrow, r = \text{const} \Rightarrow T \downarrow, C_{23} = C_r = \frac{3}{2} R$

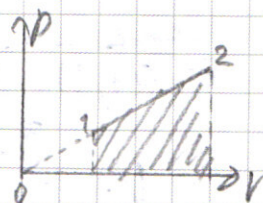
3-1: $p = \text{const}, V \downarrow \Rightarrow T \downarrow, C_{31} = C_p = \frac{5}{2} R$

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

2) $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} DR(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$

$$A_{12} = \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 = \frac{1}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3 \Rightarrow Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = A_{12} + 3A_{12} = 4A_{12}$$

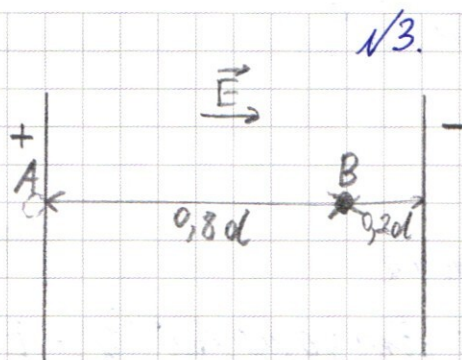


3) $\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{A_{12} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{A_{12}}{Q_{12}} + \frac{A_{31}}{Q_{12}} = \frac{1}{4} + \frac{A_{31}}{Q_{12}}$

т.к. $A_{31} < 0$, $\eta_{\text{max}} = \frac{1}{4}$ (достигается при $p_1 \rightarrow 0$, $Q_{12} \rightarrow p_2 V_2$)

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 3; 3) $\frac{1}{4}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) U = Ed \Rightarrow U_{AB} = 0,8U$$

$$|q|U_{AB} = \frac{mV_1^2}{2} \Rightarrow \gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{V_1^2}{2U_{AB}} = \frac{V_1^2}{1,6U} = \frac{5}{8} \frac{V_1^2}{U}$$

$$2) E = \frac{U}{d}$$

$$|F| = |q|E = \frac{|q|U}{d} \quad (\text{сила, действующая на частицу внутри конденсатора})$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{|q|U}{dm} = \frac{\gamma U}{d} = \frac{5}{8} \frac{V_1^2}{d}$$

$$t_{A \rightarrow B} = t_{B \rightarrow A} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,8d}{\frac{5}{8} \frac{V_1^2}{d}}} = \sqrt{\frac{8^2 d^2}{5^2 V_1^2}} = \frac{8d}{5V_1}$$

$$T = 2t_{A \rightarrow B} = \frac{16d}{5V_1}$$

3) Вне конденсатора на оси симметрии поля нет, поэтому $V_0 = V_1$.

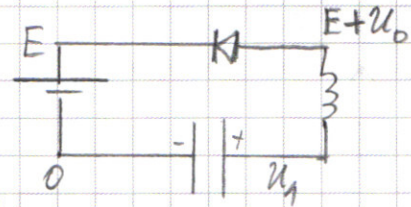
Ответ: 1) $\gamma = \frac{5V_1^2}{8U}$; 2) $T = \frac{16d}{5V_1}$; 3) $V_0 = V_1$.

№4.

1) Напряжение на катушке

$$U_{L,0} = U_1 - E - U_0 = 9 - 6 - 1 = 2 \text{ В}$$

$$U_{L,0} = L \frac{dI}{dt} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{U_{L,0}}{L} = \frac{2 \text{ В}}{0,4 \text{ мГн}} = 5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$



2) Когда $I = I_{\text{max}}$ $U_L = 0$

$$U_C = E + U_0$$

С момента замыкания ключа

через конденсатор протечёт заряд $q = C(U_1 - E - U_0) = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 2 \text{ В} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$. Работа источника $A = -qE$

ЗСЭ:

$$A = W_1 - W_0 - qE = \frac{CU_C^2}{2} + \frac{LI_m^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2}$$

$$LI_m^2 = C(U_1^2 - U_C^2) - 2qE$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C(U_1^2 - U_C^2) - 2qE}{L}} = \sqrt{\frac{10^{-5} \text{ Ф} (81 \text{ В}^2 - 49 \text{ В}^2) - 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ Кл} \cdot 6 \text{ В}}{0,4 \text{ мГн}}} =$$

$$= \sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{ А} \approx 14 \text{ мА}$$

3) В уст. режиме $I_L = 0$, $U_L = 0$

С нач. момента через конденсатор протечёт заряд $q_1 = C(U_1 - U_2)$. $A_{\text{ист}} = -EC(U_1 - U_2) = EC(U_2 - U_1)$

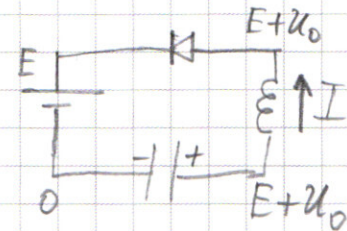
ЗСЭ:

$$EC(U_2 - U_1) = \frac{CU_2^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2}$$

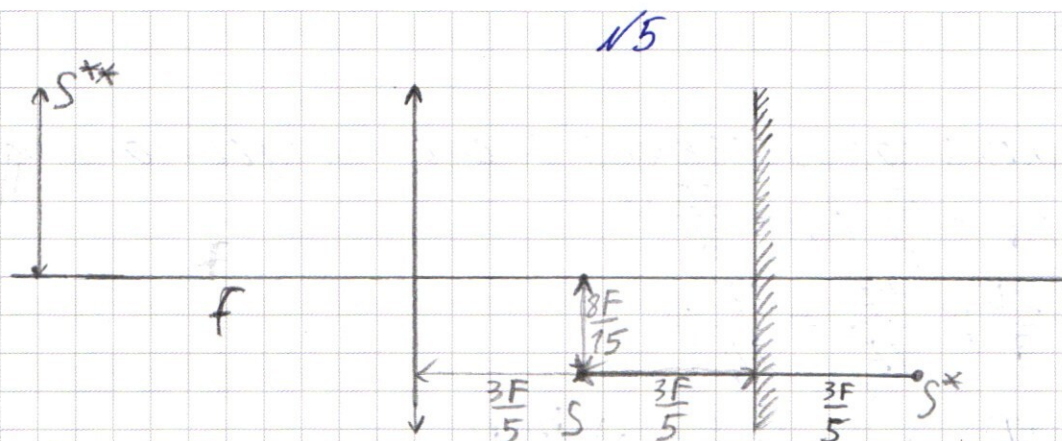
$$E(U_2 - U_1) = \frac{1}{2}(U_2 - U_1)(U_2 + U_1)$$

$$U_2 = 2E - U_1 = 2 \cdot 6 \text{ В} - 9 \text{ В} = 3 \text{ В}$$

Ответ: 1) $5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$; 2) 14 мА ; 3) 3 В



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) Изображение источника в зеркале S^* находится на расстоянии $d = \frac{9F}{5}$ от линзы

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d - F}{dF} \Rightarrow f = \frac{dF}{d - F} = \frac{\frac{9F}{5} \cdot F}{\frac{9F}{5} - F} = \frac{9F}{4}$$

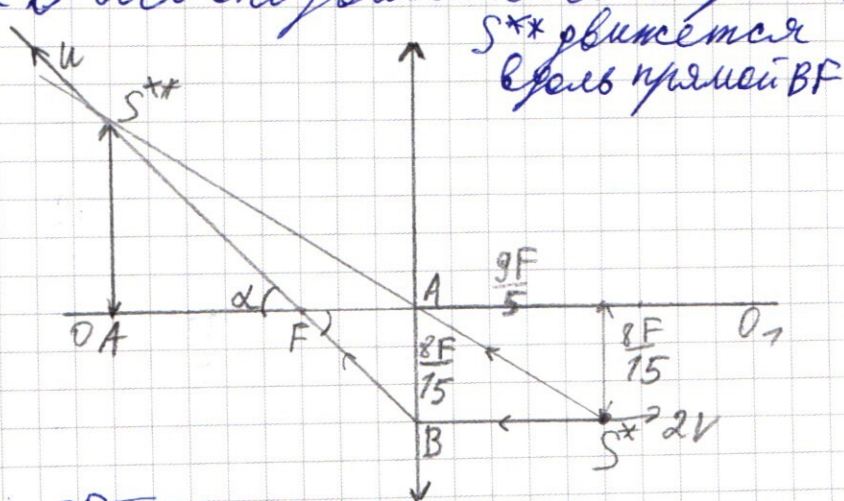
- 2) В КСО зеркала источник движется со скоростью V влево, его изображение в зеркале — со скоростью V вправо. Тогда в КСО оно движется со скоростью $2V$ вправо

$$\Gamma = \frac{F}{d} = \frac{\frac{9F}{4}}{\frac{9F}{5}} = \frac{5}{4}$$

~~Расстояние от S^* до O_1 : $H = \Gamma h = \frac{5}{4} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{2F}{3}$~~

~~$AF = f - F = \frac{9F}{4} - F = \frac{5F}{4}$~~

~~$\tan \alpha = \frac{AB}{AF} = \frac{8}{15} \Rightarrow \alpha = \arctan \frac{8}{15}$~~



$$3) 1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$1 + \frac{64}{225} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{289}{225}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

Горизонтальная проекция скорости изображения

$$S^*: u_x = \Gamma^2 \cdot 2V = \frac{25}{16} \cdot 2V = \frac{25}{8} V$$

$$u = \frac{u_x}{\cos \alpha} = \frac{\frac{25}{8} V}{\frac{15}{17}} = \frac{85}{24} V$$

$$\text{Ответ: } 1) \frac{9F}{4}; 2) \arctg \frac{8}{15}; 3) \frac{85}{24} V.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$v_k \cos \beta = V \cos \alpha$ $\frac{17}{5} \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$
 $v_{\text{отн}}^2 = V^2 + v_k^2 - 2Vv_k \cos(\alpha + \beta)$

$\frac{V}{\sin(\frac{\pi}{2} - \beta)} = \frac{v_{\text{отн}}}{\sin(\alpha + \beta)}$
 $\frac{6 + 15V}{10} = 3,7V$

$N \cos(\frac{\pi}{2} - \beta) + T = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{l}$
 $\frac{\sqrt{289 - 64}}{77} = \frac{\sqrt{225}}{77} = \frac{15}{77}$

$T - N \sin \beta = \frac{m v_{\text{отн}}^2}{l}$

$\frac{0,4}{1,9 \cdot \frac{8^2}{17^2}} \left(\frac{4,2^2}{\frac{17}{15}} - 3,4^2 \cdot \frac{15}{77} \right) = \frac{4 \cdot 17^2}{19 \cdot 8^2} \cdot \frac{15}{77} (0,8 \cdot 7,6) =$
 $= \frac{17 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 7,6}{19 \cdot 8 \cdot 2} = 17 \cdot 15 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 17 \cdot 3 \cdot 0,1 = 5,1 \text{ Н}$

$\eta = \frac{A}{Q_+}$

$A_{32} = p_4 (V_1 - V_3) = p_1 (V_1 - V_2)$ $Q_+ = 2 \nu R \Delta T_{12}$

$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 + p_1 V_1 - p_1 V_2}{2(p_2 V_2 - p_1 V_1)}$

$\eta = \frac{A_{12} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{1}{4} + \frac{A_{31}}{Q_{12}}$



$$|q|E_0 = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$\frac{81}{32}$$

$$\frac{\frac{4}{5}d}{\frac{v_1}{2}} = \frac{8d}{5v_1}$$

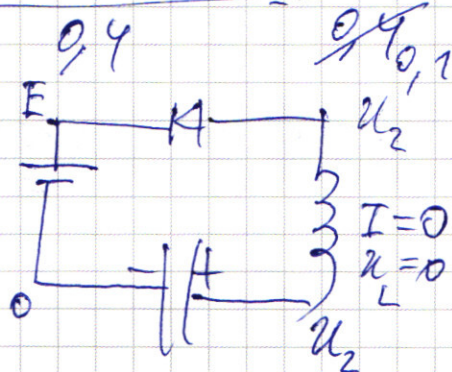
u

$$\varphi = \frac{kq}{l} + \frac{k(-q)}{l+d} =$$

$$= kq \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{l+d} \right) =$$

$$= \frac{kqd}{l(l+d)}$$

$$\frac{10^{-5}(32-24)}{0,4} = \frac{10^{-5} \cdot 8}{0,4} = \sqrt{2 \cdot 10^{-4}} = \sqrt{2} \cdot 10^{-2}$$



$$\frac{\frac{9F}{8}}{\frac{4F}{5}} = \frac{9F}{4F} = \frac{9}{4}$$

$$q = C(u_1 - u_2)$$

$$-qE = \frac{Cu_2^2}{2} - \frac{Cu_1^2}{2}$$

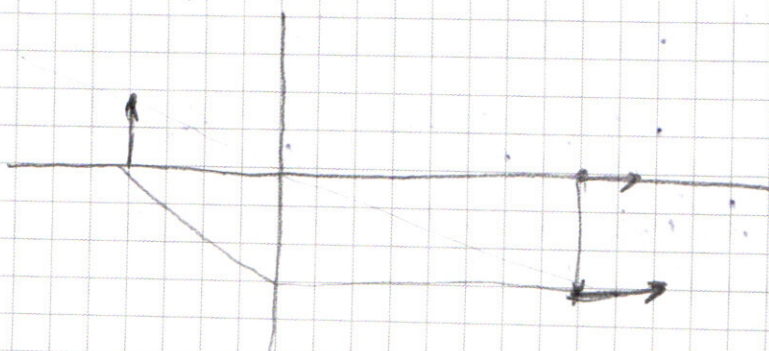
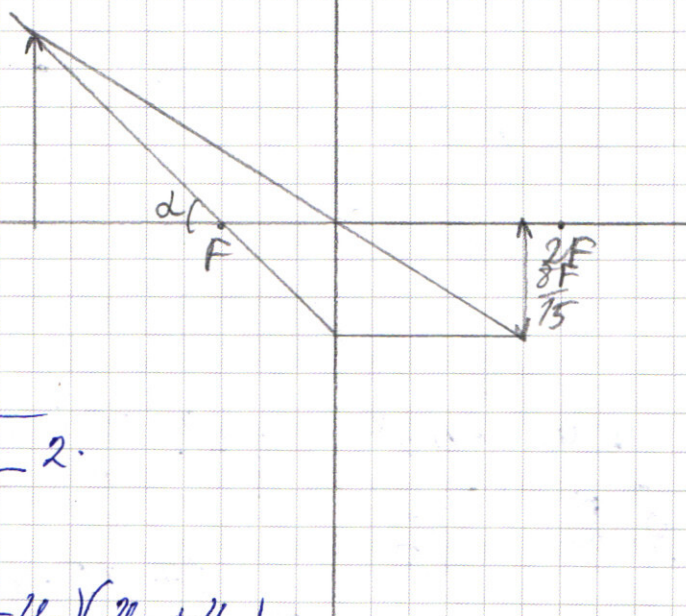
$$Cu_2^2 = Cu_1^2 - 2qE$$

$$u_2 = \sqrt{u_1^2 - \frac{2qE}{C}} = \sqrt{81 - 2}$$

$$-C(u_1 - u_2)E = \frac{C}{2}(u_2 - u_1)(u_2 + u_1)$$

$$E = \frac{1}{2}(u_2 + u_1)$$

$$u_2 = 2E - u_1 = 2 \cdot 6V - 9V = 3V$$





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

