

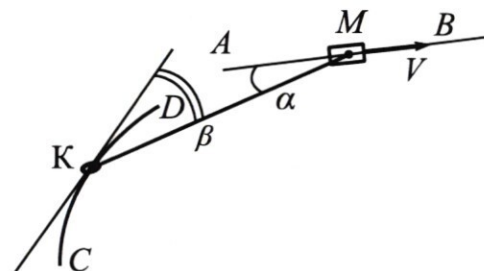
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Вариант 11-01

Класс 11

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

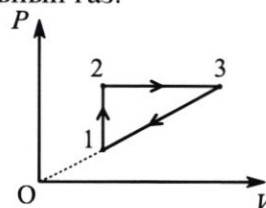
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной 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.



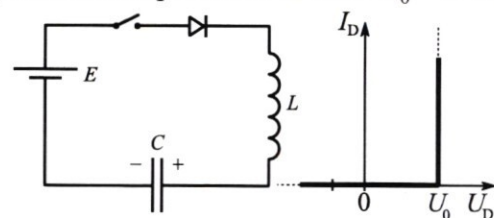
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица 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.

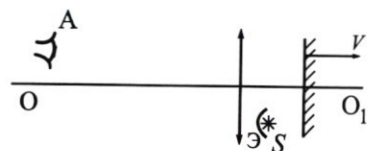
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.

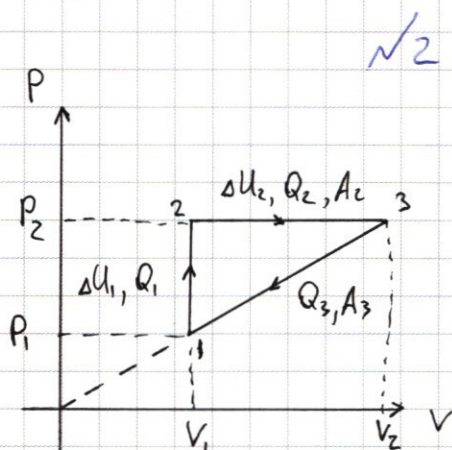


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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



кол-во вещества будем обозначать
буквой n

$$P_1 V_1 = n R T_1$$

$$P_2 V_2 = n R T_2$$

$$P_3 V_3 = n R T_3$$

$$1) \quad C_{12} = \frac{Q_1}{\Delta T_{12} \cdot n} = \frac{\Delta U_1 + 0}{\Delta T_{12} \cdot n} = \frac{\frac{3}{2} n R \Delta T_{12}}{\Delta T_{12} \cdot n} = \frac{3}{2} R$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\Delta T_{23} \cdot n} = \frac{\frac{3}{2} n R \Delta T_{23} + P_2 (V_2 - V_1)}{\Delta T_{23} \cdot n} = \frac{\frac{3}{2} n R \Delta T_{23} + n R (T_3 - T_2)}{\Delta T_{23} \cdot n} = \frac{5}{2} R$$

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

(как и ожидалось, $C_{23} > C_{12}$, ведь внутреннюю эн.
туда сложнее вернуть, когда газ расширяется

уходит на совершение работы)

2) Для 2-3:

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2$$

$$Q_2 = \frac{3}{5} Q_2 + A_2$$

$$\frac{2}{5} Q_2 = A_2$$

$$\boxed{\frac{Q_2}{A_2} = \frac{5}{2}}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{\frac{3}{2} n R Q}{C_n}$$

$$\Delta U_2 = \frac{\frac{3}{2} n R Q_2}{\frac{5}{2} R}$$

$$\Delta T \cdot C_n = Q \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{C_n}$$

3) Для подсчета КПД введем обозначения:

α - коэф. линейной зависимости, и.т. $P_1 = \alpha V_1$

$$k = \frac{V_2}{V_1} \quad kV_1 = V_2$$

Используем формулу для η :

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{нар}}} \quad \eta = \frac{A}{Q_{\text{нар}}}$$

$$Q_{\text{нар}} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = C_{\text{H2}} \Delta T_{12} = \frac{3}{2} R_{\text{H2}} \Delta T_{12} = \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1)$$

$$Q_2 = C_{\text{H23}} \Delta T_{23} = \frac{5}{2} R_{\text{H23}} \Delta T_{23} = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} \alpha V_1 (V_2 - V_1)$$

$$Q_2 = \frac{5}{2} V_2 \alpha (V_2 - V_1)$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\alpha (V_2 - V_1)}{2} (3V_1 + 5V_2)$$

$$A = A_2 - A_3 =$$

$$= P_2 (V_2 - V_1) - \frac{1}{2} (P_1 + P_2) (V_2 - V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_2 - P_1) =$$

$$= \frac{\alpha (V_2 - V_1)^2}{2}$$

$$\eta = \frac{\frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2}{\frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1) (3V_1 + 5V_2)} = \frac{V_2 - V_1}{3V_1 + 5V_2}$$

$$\eta = \frac{k-1}{5k+3} = \frac{1-\frac{1}{k}}{5+\frac{3}{k}}, \text{ и.т. } k > 0.$$

Видно, что при $\frac{1}{k} \downarrow$ и $\frac{3}{k} \downarrow$ растет КПД. Значит, η_{max} достигается при $k \rightarrow \infty$

$$\eta_{\text{max}} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1 - \frac{1}{k}}{5 + \frac{3}{k}} = \frac{1}{5}$$

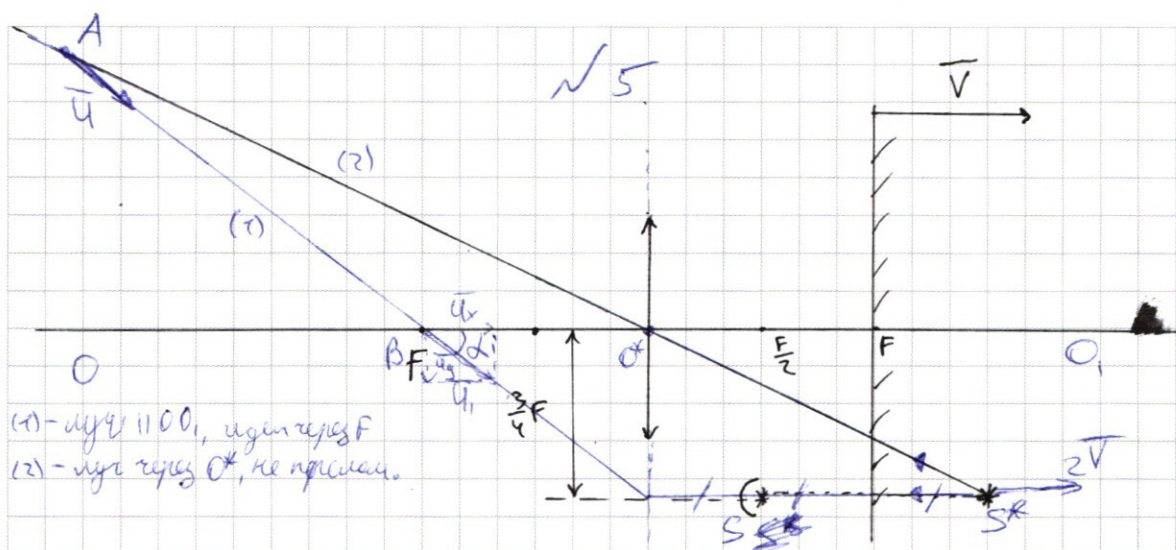
$$\boxed{\eta_{\text{max}} = \frac{1}{5}}$$

Ответ: 1) $\frac{C_{\text{H2}}}{C_{\text{H23}}} = \frac{3}{5}$

2) $\frac{Q_2}{A_2} = \frac{5}{2}$

3) $\eta_{\text{max}} = \frac{1}{5}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



(1) - луч HO , идет через F
(2) - луч через O^* , не преломл.

1) В момент, когда зеркало оказывается HO в фокусе линзы, расстояние до предмета у него $F - \frac{F}{2} = \frac{F}{2}$, тогда изображение S , и.е. S^* , удалено от линзы на $1,5F$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad d = 1,5F. \quad \text{Скорость изображения } S^* \text{ в зеркале и линзе, перемещаясь в } CO \text{ зеркала, в которой } S \text{ и линза } \leftarrow V, \text{ а лучи перемещаются обратно в } SO \text{ линзы, добавив } V_{\text{лин}} = V, \text{ иабо } V_{S^*} = 2V$$

$$\boxed{f = 3F}, \quad d = 1,5f \rightarrow \Gamma = 2$$

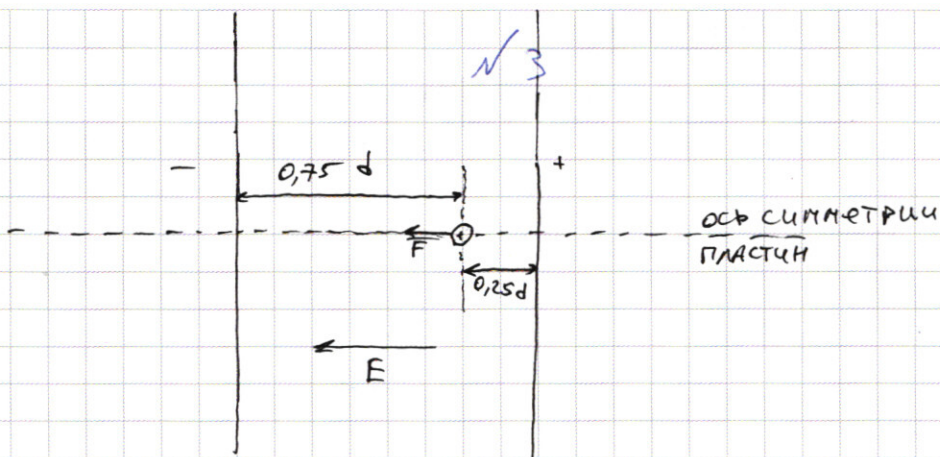
2) Скорость U изображения направлена по HO , а линза $\overline{U}_1 = \overline{U}$ из B , чтобы показать, ~~что~~ идеальное изображение некий угол α . Из дано теперь видно, что $\tan \alpha = \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \frac{3}{4} \rightarrow \boxed{\cos \alpha = \frac{4}{5}}$

3) Разложим $\overline{U}_1$ на $\overline{U}_x$ и $\overline{U}_y$. Требуемое изменение скорости линзой:

$$U_x = \Gamma^2 V_x = 4 V_{S^*} = 8V$$

$$U = \frac{U_x}{\cos \alpha} = \frac{8V}{\frac{4}{5}} = \boxed{10V = U}$$

Ответ: 1) $f = 3F$, 2) $\cos \alpha = \frac{4}{5}$, 3) $U = 10V$.



1) Из кинематики:

$$V = at$$

$$a = \frac{V}{t}$$

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{Vt}{2}$$

$$0,75d = \frac{Vt}{2}$$

$$V = \frac{1,5d}{T}$$

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

Заряд летит в сторону отрицательно заряженной пластины, т.к. он (а он положительный) положительный.

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

d — некое расстояние, обозначим, чтобы не путаться с d в задаче.

$$ma = F = qE$$

$$a = \frac{qE}{m}$$

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

$$U = Ed = \frac{1,5d^2}{T^2 \epsilon}$$

$$Q = C \cdot U, \quad C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{1,5d^2}{T^2 \epsilon} = \frac{1,5 \epsilon_0 S d}{T^2}$$

$$Q = \frac{1,5 \epsilon_0 S d}{T^2}$$

3) Введем функцию напряженности от расстояния: все конденсатора (за обкладкой '-')

$$E(x) = \dots$$

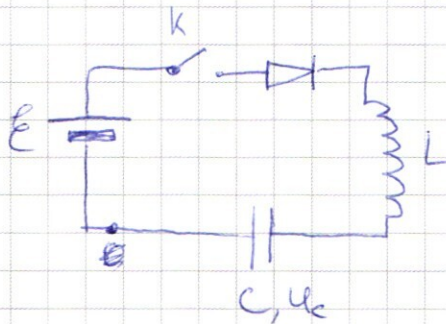
~~И заряды не притягиваются~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

После этого мы можем бы подсчитать $q(x) = \int E(x) dx$,
проинтегрировав ее, получим бы конечную скорость
(вероятно, есть ошибка, там V_{max})

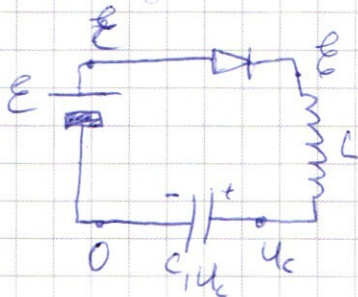
Ответ: 1) $V = \frac{1,5d}{T}$, 2) $Q = \frac{1,5 \epsilon_0 S d}{\delta T^2}$ 3) $V = \int_{x=0}^{\infty} \delta E(x) dx$.

№4



Используя метод узловой
потенциалов, найти ток
указанный в точках, после замыкания
ключа.

1) сразу после замыкания:



Изменение тока можно найти
через катушку:

$$I' L = \Delta \Phi$$

$$I' = \frac{E - U_C}{L}$$

$$I' = (9 - 5) / 0,1 = 40 \text{ А}$$

2) П.к. в цепи есть катушка, так сразу после замыкания
ключа не может резко измениться, а и.к. Имеется
конденсатор, но в устойчивом состоянии
через него ток идти не будет, значит, нам нужно
какой-то момент между этими двумя.

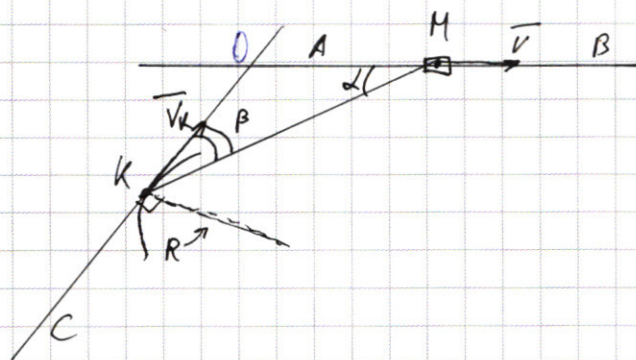
3) Из-за того, что в цепи есть диод, в момент, когда через него перестанет идти ток, т.е. при разности потенциалов на его концах меньше U_0 , положительно заряженная пластинка конденсатора не сможет получить себе этого заряд. Выходит, при $U_C - E < U_0$ наступит устойчивое состояние цепи, т.к. конденсатор уже превратится в проводником и будет считаться обрывком провода.

Итого $U_C = U_0 - E - U_0 = 0$

$U_2 = 0$

Ответ: 1) $I' = \frac{U_0}{R}$ 3) $U_2 = 0$

2) $I_{\max} = \frac{U_0}{R}$



Нить нерастянута, т.е. ее длина в каждый момент неизменна. Выразим через это, зная направление и модуль скорости M ~~в данный момент~~ скорости K . Обозначим скорость K в этот момент за V_K .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

сразу дадим ответ на 3й вопрос: (в виде формулы)

$$a_n = \frac{v_k^2}{R} = \frac{T}{m}$$

$$T = \frac{mv_k^2}{R} = \frac{1}{\gamma g} v_k^2$$

Попробуем теперь найти v_k .

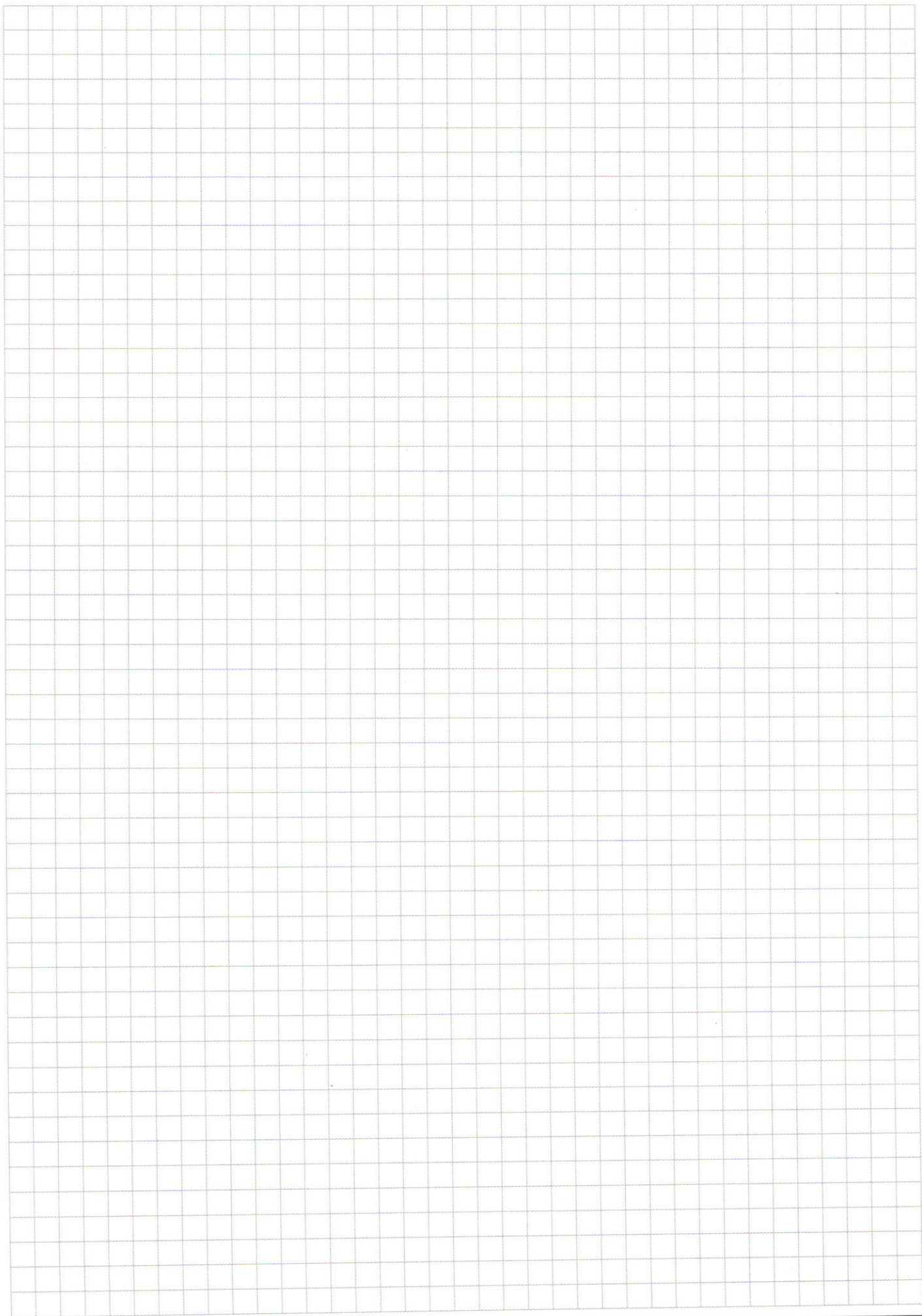
~~Вопрос~~ Если $KH = \text{const}$, то и $KOM = \text{const}$ (длина $KO + OM$)
определяется

По сути через угол:

Ответ: 1) $v_k =$

2)

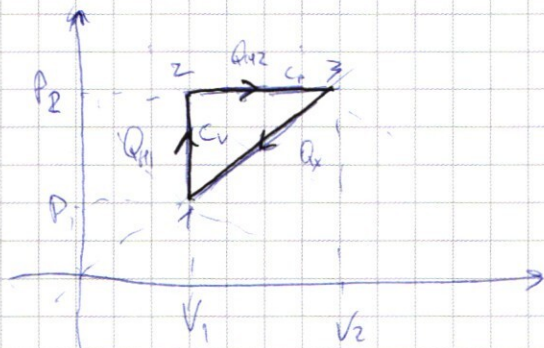
$$3) \frac{1}{\gamma g} v_k^2 =$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$c = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\Delta U + A = Q$$

$$\text{for } 1 \rightarrow 2: \frac{3}{2} n R \Delta T = Q$$

$$C_v = \frac{\frac{3}{2} n R \Delta T}{\Delta T} = \frac{3}{2} R$$

$$\Delta t = \frac{Q}{C}$$

$$P = \alpha V$$

$$P_1 = \alpha V_1$$

$$P_2 = \alpha V_2$$

$$P_2 = \alpha \frac{V_2}{V_1} P_1$$

$$C_p = C_v + R$$

$$P_1 V_1 = n R T_1$$

$$P_2 V_1 = n R T_2$$

$$P_2 V_2 = n R T_3$$

$$\frac{3}{2} n R T_2 = \frac{3}{2} P_2 V_1$$

$$P_1 V_2 = n R T_2$$

$$\alpha P_1 \frac{V_2^2}{V_1} = n R T_3$$

$$\frac{C_v}{C_p + R} = \frac{3}{5}$$

$$Q_H = Q_{H1} + Q_{H2} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + A_2$$

$$A_2 = (P_2 - P_1)(V_2 - V_1)/2 = \alpha(V_2 - V_1)^2/2$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2 = \frac{3}{2} n R (T_3 - T_2) + \frac{\alpha(V_2 - V_1)^2}{2}$$

$$\frac{3}{2} n R T_3 - \frac{3}{2} n R T_2 - \frac{3}{2} P_2 V_2 + \frac{3}{2} P_2 V_1 = \frac{3}{2} P_2 (V_2 - V_1) = \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$= \frac{3}{2} \alpha V_2^2 - \frac{3}{2} \alpha V_2 V_1 = \frac{3}{2} \alpha V_2 (V_2 - V_1)$$

$$\frac{Q_2}{A_2} = 1 + \frac{\frac{3}{2} \alpha V_2 (V_2 - V_1)}{\frac{\alpha(V_2 - V_1)^2}{2}} = \frac{V_2}{V_2 - V_1}$$

$$Q_H = Q_1 + Q_2 =$$

$$P_2 = C_p n$$

$$A_2 = P_2(V_2 - V_1) - \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(V_2 - V_1)(P_2 - P_1) = \frac{\alpha(V_2 - V_1)^2}{2}$$

$$\Delta t = (T_3 - T_2) = \frac{Q}{\frac{5}{2} n R} \quad C_p \Delta T = Q$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$Q_2 = \frac{\frac{3}{2} n R Q_2}{\frac{5}{2} n R} + A_2$$

$$Q_2 = \frac{3}{5} Q_2 + A_2$$

$$\frac{2}{5} Q_2 = A_2$$

$$\frac{Q_2}{A_2} = \frac{5}{2}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + A = 0$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$

$$A = \frac{\Delta(V_2 - V_1)^2}{2}$$

$$\eta = \frac{\frac{\Delta(V_2 - V_1)^2}{2}}{\frac{\Delta(V_2 - V_1)(3V_1 + 5V_2)}{2}}$$

$$\eta = \frac{V_2 - V_1}{3V_1 + 5V_2}$$

$$\text{предположим } V_2 = kV_1$$

$$\eta = \frac{(k-1)V_1}{3k+5}$$

$$\eta(k) = \frac{k-1}{5k+3} = \frac{1 - \frac{1}{k}}{5 + \frac{3}{k}} = \frac{1}{5}$$

$$\eta'(k) = \frac{1 \cdot (5k+3) - 5(k-1)}{(5k+3)^2} = \frac{5k+3-5k}{(5k+3)^2}$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} n R \Delta T_{12}$$

$$Q_2 = \frac{3}{2} n R \Delta T_{23} + A_2$$

$$Q_3 = \frac{3}{2} n R \Delta T_{32} + A_3$$

$$Q_1 = C_1 \Delta T_{12} = \frac{3}{2} R n \Delta T_{12} = \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1)$$

$$Q_2 = C_2 \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \frac{5}{2} P_2 V_2 \Delta T_{23} = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} \Delta V_1 (V_2 - V_1)$$

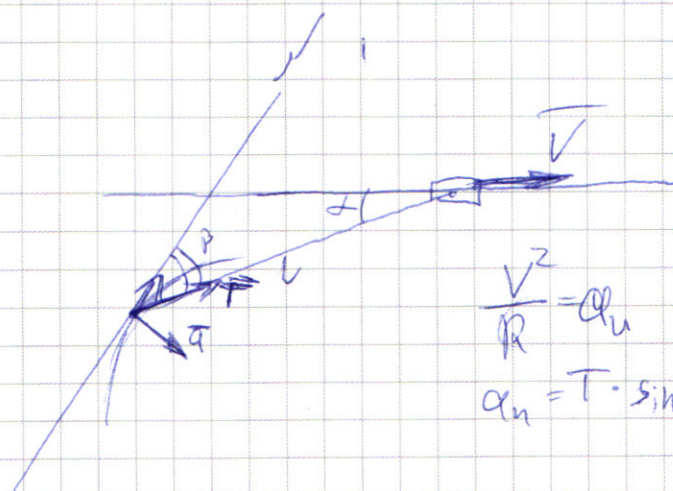
$$Q_2 = \frac{5}{2} \Delta V_2 (V_2 - V_1)$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\Delta(V_2 - V_1)(3V_1 + 5V_2)}{2}$$

$$Q_2 = \Delta U_2 + A_2 = \Delta U_2 + P_2 (V_2 - V_1)$$

$$\downarrow nR(T_3 - T_2)$$

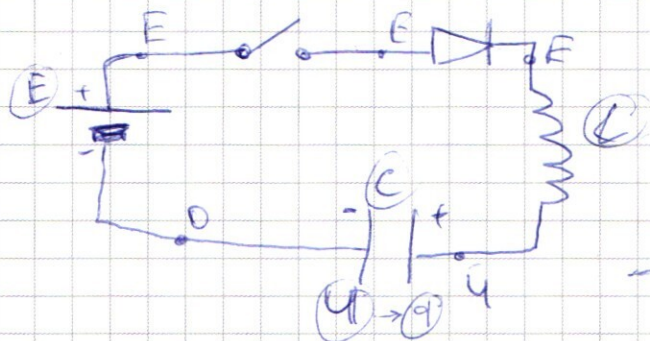
$$\frac{3}{2} nR(T_3 - T_2)$$



$$\frac{V^2}{R} = a_n$$

$$a_n = T \cdot \sin \beta / m$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E - U = IR$$

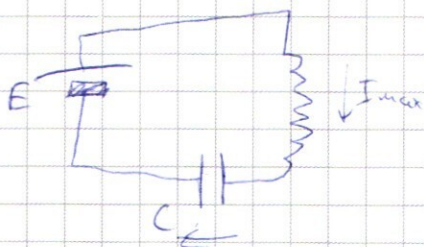
$$I' = \frac{q'}{\Delta t}$$

$$I'L = U$$

$$I' = \frac{E - U}{L}$$

$$I'L = E - U$$

$$I = \max \rightarrow U_C = 0$$

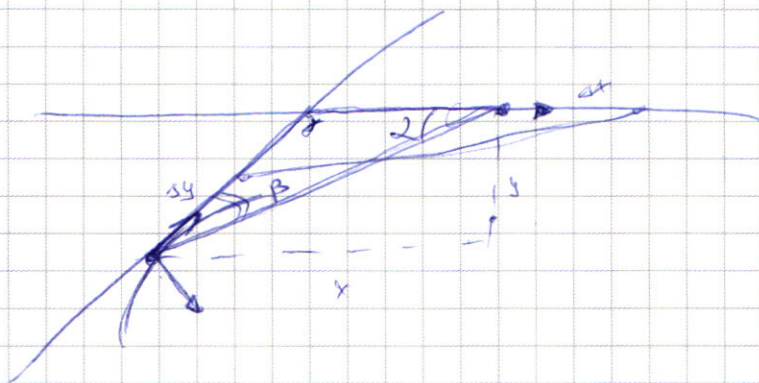


$$\frac{U_0}{2} + \frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$E(t) = \frac{0,5d}{t^2}$$

$$V = \int_{t_0}^{\infty} E(t) \cdot r = r \int_{t_0}^{\infty} E(t) dt = \frac{0,5d}{t^2} = 0,5d \int \frac{1}{t^2} =$$

$$= 0,5d \int t^{-2} = 0,5d \frac{t^{-1}}{-1}$$

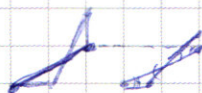
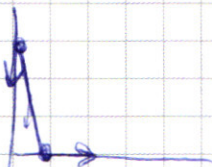


$$\sqrt{x^2 + y^2} = \text{const} = L$$

$$\Delta x = v_x t$$

$$\sqrt{(\Delta x + x)^2 + (y + \Delta y)^2} = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$x^2 + 2\Delta x x + \Delta x^2 + \dots = x^2 + y^2 + 2y\Delta y + \Delta y^2 + \dots$$



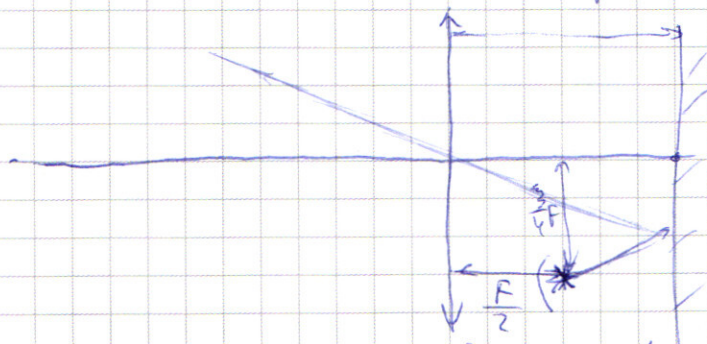
$$2\Delta x \cdot x + \Delta x^2 + 2y \cdot \Delta y + \Delta y^2 = 0$$

$$2v_x t x + v_x^2 t^2 + 2v_y t y + v_y^2 t^2 = 0$$

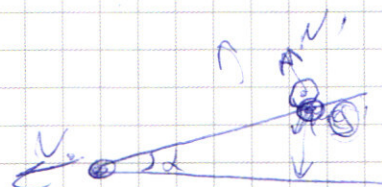
$$2v_x x + v_x^2 t + 2v_y y + v_y^2 t = 0$$

$$E = \frac{q\phi}{d}$$

$$E = \frac{u}{\delta}$$



uq



$$S = \frac{V \cdot t}{2}$$

$$0,25d = \frac{v \cdot T}{2}$$

$$v = \frac{0,5d}{T}$$

$$a = \frac{0,5d}{T^2}$$

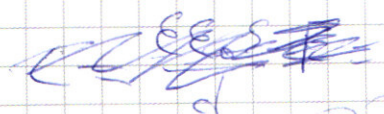
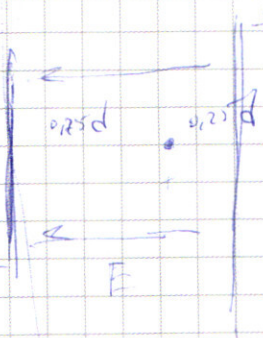
~~0,25d~~

$$E = \frac{q}{\delta} = \frac{0,5d}{\delta T^2}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{cu^2}{2}$$

$$mv^2 = cu^2$$

$$mv^2 = \frac{\epsilon_0 S \cdot q^2}{d \delta^2 T^4}$$



$$Q = cu = \frac{\epsilon_0 S u}{d}$$

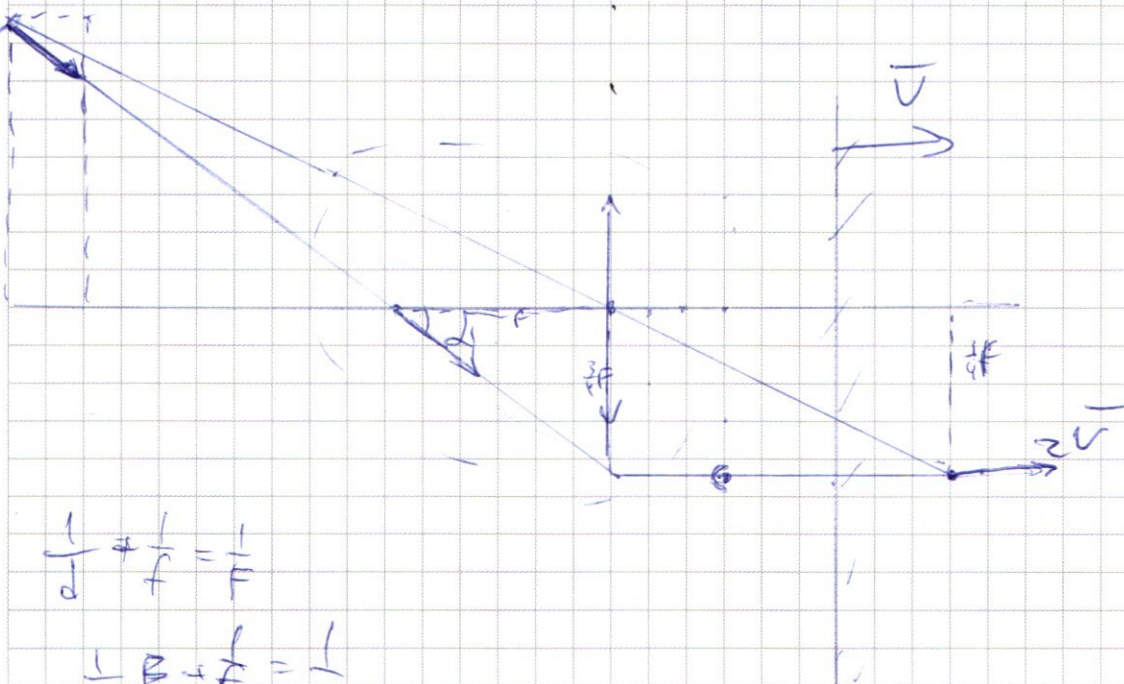
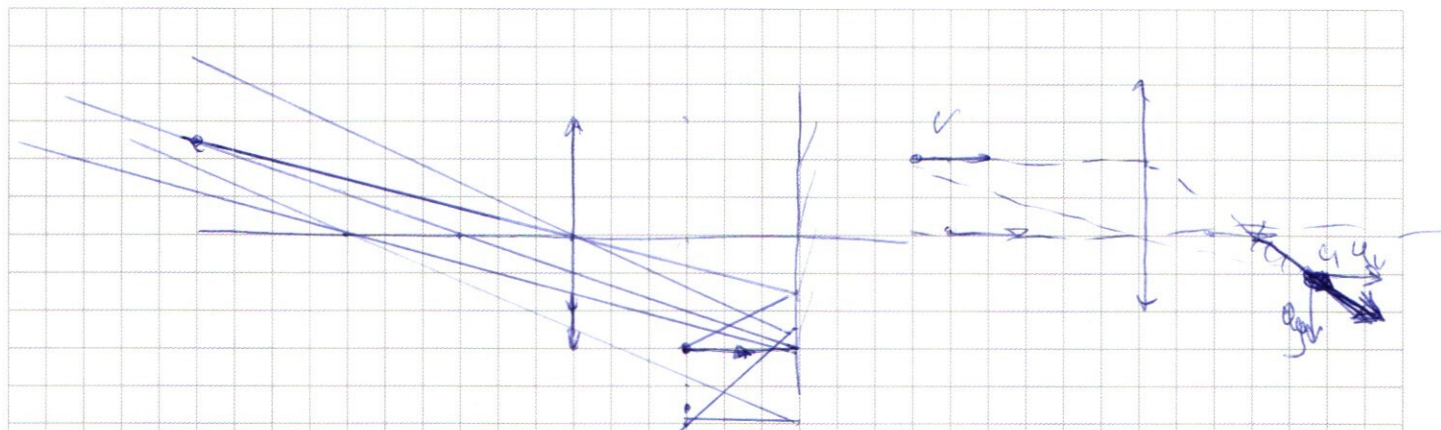
$$2F = \frac{u}{\delta}$$

$$u = \frac{F}{\delta} = \frac{0,5}{\delta T^2}$$

$$ma = qE$$

$$a = \delta E$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$\frac{1}{1,5F} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{3} + \frac{F}{2f} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{F}{2f} = \frac{1}{6}$$

$$2f = 6F$$

$$f = 3F$$

$$d = 1,5F \quad \Gamma = 2$$

$$\cos \alpha = \frac{3F}{2f} = \frac{3}{4} \quad \frac{s}{c} = \frac{3}{4} \quad c = \frac{4}{3}s$$

$$\frac{8}{16} = \frac{25}{16} \quad c = \frac{4}{3}$$

$$U_x = U \cdot \cos \alpha = 2V \cdot \frac{3}{4} = 8V \rightarrow U = \frac{U_x}{\cos \alpha} = \frac{8V}{\frac{3}{4}} = 10V$$

