

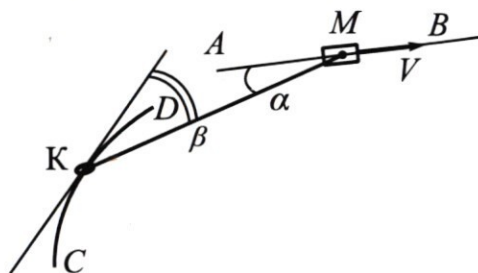
Олимпиада «Физтех» по физике, фе

Класс 11

Вариант 11-01

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

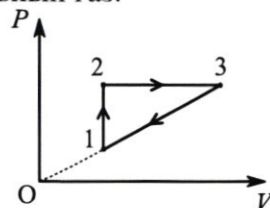
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной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



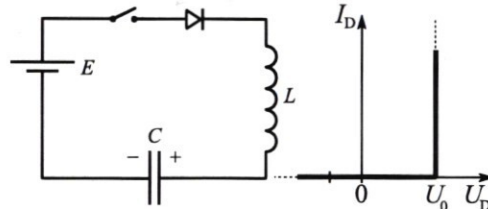
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица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

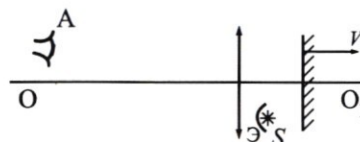
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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



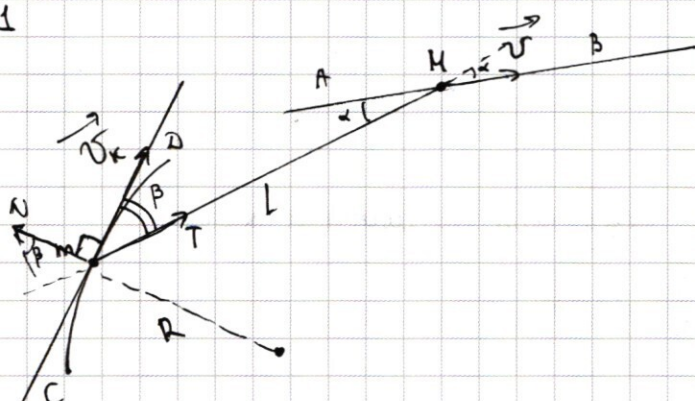
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

№ 1



Дано:

$$v = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad m = 0,1 \text{ кг}, \\ R = 1,9 \text{ м}, \quad L = \frac{5R}{3}, \\ \cos \alpha = \frac{15}{17}, \quad \cos \beta = \frac{4}{5},$$

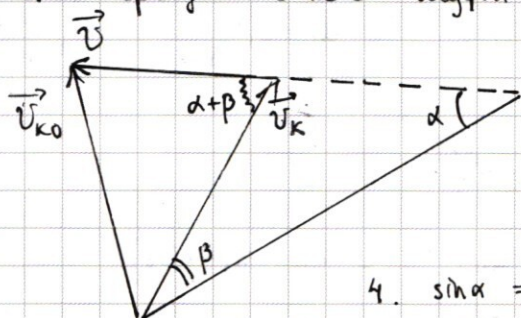
$$v_k = ?, \quad v_{\text{к.о.}} = ?, \quad T = ?$$

1. Скорость кольца направлена по касательной к траектории (угол β с нитью)
2. Так как нить не растяжима, то:

$$v_k \cos \beta = v \cos \alpha \quad (v_k - \text{скорость кольца в л.с.о.})$$

$$v_k = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17 \cdot 4} = 75 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

3. Перейдем в и.с.о. муфты: $v_{\text{к.о.}}$ - скорость кольца в этой с.о.



$$\begin{aligned} v_{\text{к.о.}}^2 &= v^2 + v_k^2 - 2 \cdot v \cdot v_k \cos(\alpha + \beta) = \\ &= v^2 + v^2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 v^2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cos(\alpha + \beta) = \\ &= v^2 \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) \right) \end{aligned}$$

$$4. \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{15^2}{17^2}} = \frac{8}{17}, \quad \sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5}$$

$$\begin{aligned} 5. v_{\text{к.о.}} &= v \sqrt{\left(1 + \frac{15^2}{17^2} \cdot \frac{25}{16} - 2 \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{4} \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} \right) \right)} = \frac{68 \frac{\text{см}}{\text{с}}}{17 \cdot 4} \sqrt{17^2 \cdot 16 + 15^2 \cdot 25 - 8 \cdot 15 \cdot 36} = \\ &= 1 \frac{\text{см}}{\text{с}} \sqrt{17^2 \cdot 16 + 15^2 \cdot 25 - 8 \cdot 15 \cdot 36} \approx 77 \frac{\text{см}}{\text{с}} \end{aligned}$$

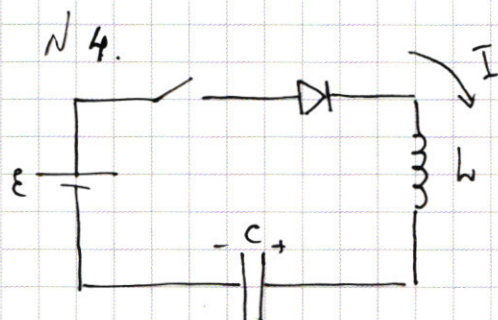
6. В с.о. муфты кольцо движется по окружности радиусом $\frac{5R}{3}$, скорость кольца $\perp$ нити

$$7. \begin{cases} T \sin \beta - N = m \frac{v_k^2}{R} \end{cases} \quad (\text{в л.с.о.})$$

$$8. \begin{cases} T - N \sin \beta = \frac{m v_{\text{к.о.}}^2}{\frac{5R}{3}} \end{cases} \quad (\text{в и.с.о. муфты})$$

$$9. T - \sin \beta \left(T \sin \beta - \frac{m v_k^2}{R} \right) = \frac{3 m v_{\text{к.о.}}^2}{5R} \Rightarrow T = \frac{m}{R \cos^2 \beta} \left(\frac{3}{5} v_{\text{к.о.}}^2 - v_k^2 \sin \beta \right)$$

№ 1
 10. $T = \frac{3}{5} \frac{m}{R \cos^2 \rho} (v_{K0}^2 - v_K^2) = \frac{3}{5} \cdot \frac{0,1 \text{ кг}}{1,94 \cdot 16} \cdot 2 \cdot 152 \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} = 11 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$
 Ответ: 1) $v_K = 75 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ 2) $v_{K0} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ 3) $T = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$.



1. $E - L \frac{dI(0)}{dt} = U_0 + U_1$ ← сразу после замыкания ключа

$$\frac{dI(0)}{dt} = \frac{E - U_0 - U_1}{L} = \frac{3 \text{ В}}{0,1 \text{ Гн}} = 30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2. $E - L \ddot{q} = U_0 + \frac{q}{C}$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} (q + (U_0 - E)C) = 0$$

$$q + C(U_0 - E) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\dot{q} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$q(0) = CU_1$$

$$\dot{q}(0) = 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0$$

$$C(U_0 - E) + CU_1 = A = C(U_1 + U_0 - E)$$

$$\dot{q}_{\max} = I_{\max} = -A\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} (E - U_0 - U_1)C = (E - U_0 - U_1) \sqrt{\frac{C}{L}} = 3 \text{ В} \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}{0,1 \text{ Гн}}} = 3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ А}$$

3. Найдём заряд конденсатора, когда $I = 0$ ($\omega t = \pi$):

$$q = -A - C(U_0 - E) = C(E - U_1 - U_0 + E - U_0) = C(2E - U_1 - 2U_0)$$

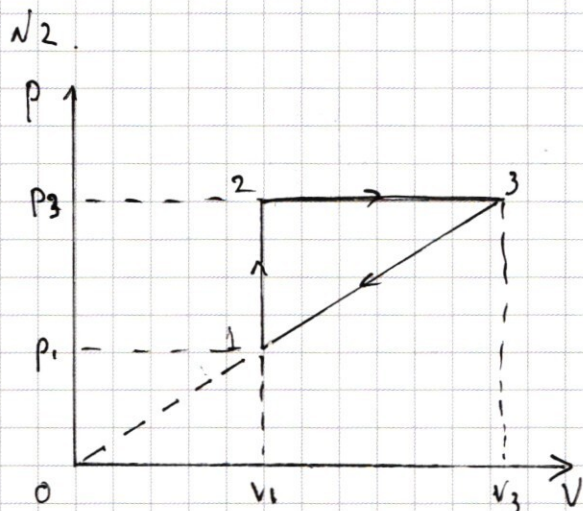
$$U_c = \frac{q}{C} = 2E - U_1 - 2U_0 = 18 \text{ В} - 5 \text{ В} - 2 \text{ В} = 11 \text{ В} \text{ — напряжение}$$

конденсатора когда ток равен 0. $E < U_c + U_0 \Rightarrow$ ток после этого

всегда будет равен 0. $\Rightarrow U_2 = U_c = 11 \text{ В}$

Ответ: 1) $\frac{dI}{dt}(0) = 30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$ 2) $I_{\max} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ А}$ 3) $U_2 = 11 \text{ В}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1. Повышение температуры газа происходит на 1-2 и 2-3
 $(p_3 V_1 > p_1 V_1) \quad (p_3 V_3 > p_3 V_1)$
 $(p_1 V_1 < p_3 V_1)$

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

$$C_{12} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

3. $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$

$$C_{23} \Delta T = p_3 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

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

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

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

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$$

6. $\eta = \frac{A_+}{Q_+} = 1 - \frac{|Q_-|}{Q_+}$

7. $Q_+ = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} p_3 V_1 - \frac{3}{2} p_1 V_1 + \frac{5}{2} p_3 V_3 - \frac{5}{2} p_3 V_1$
 $= \frac{5}{2} p_3 V_3 - \frac{3}{2} p_1 V_1 - p_3 V_1$

8. $Q_- = Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = -\left(\frac{p_3 V_3}{2} - \frac{p_1 V_1}{2}\right) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) \neq$

$$N^2 \quad 9. Q_- = \frac{p_1 V_1}{2} - \frac{p_3 V_3}{2} + \frac{3}{2} p_1 V_1 - \frac{3}{2} p_3 V_3 = 2 p_1 V_1 - 2 p_3 V_3, \quad |Q_-| = 2 p_3 V_3 - 2 p_1 V_1$$

$$10 \quad \eta = \frac{Q_+ - |Q_-|}{Q_+} = \frac{\frac{5}{2} p_3 V_3 - \frac{3}{2} p_1 V_1 - p_3 V_1 - 2 p_3 V_3 + 2 p_1 V_1}{\frac{5}{2} p_3 V_3 - \frac{3}{2} p_1 V_1 - p_3 V_1} =$$

$$= \frac{p_3 V_3 + p_1 V_1 - 2 p_3 V_1}{5 p_3 V_3 - 3 p_1 V_1 - 2 p_3 V_1} = \frac{1 + \frac{p_1 V_1}{p_3 V_3} - 2 \frac{V_1}{V_3}}{5 - 3 \frac{p_1 V_1}{p_3 V_3} - 2 \frac{V_1}{V_3}}$$

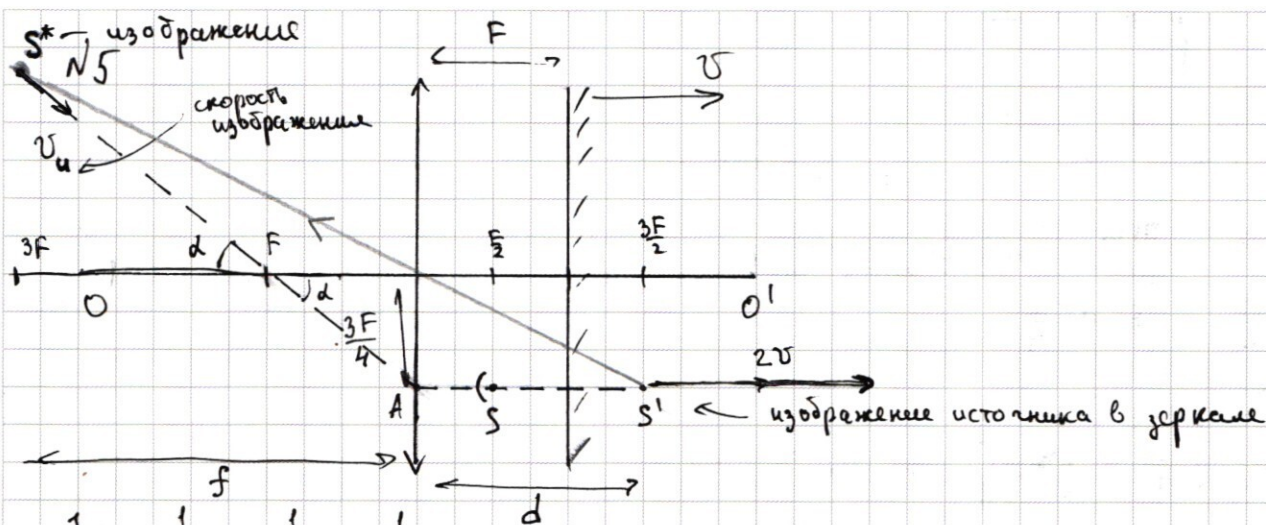
$$11. \quad \frac{p_3}{V_3} = \frac{p_1}{V_1} \Rightarrow \frac{p_1}{p_3} = \frac{V_1}{V_3} = k < 1$$

$$12 \quad \eta = \frac{1 + k^2 - 2k}{5 - 3k^2 - 2k} = \frac{(k-1)^2}{3(k-1)(k+\frac{5}{3})} = \frac{k-1}{3(k+\frac{5}{3})} = \frac{1-k}{3(k+\frac{5}{3})}$$

$$\eta_{\max} = \frac{1-0}{3(0+\frac{5}{3})} = \frac{1}{5} = 20\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_{22}}{C_u} = \frac{5}{3}$ 2) $\frac{Q_{22}}{A_{22}} = \frac{5}{2}$ 3) $\eta_{\max} = 20\%$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$f = \frac{Fd}{d-F} = \frac{F \cdot \frac{3F}{2}}{\frac{3F}{2} - F} = 3F - \text{расстояние от источника линзы до изображения.}$$

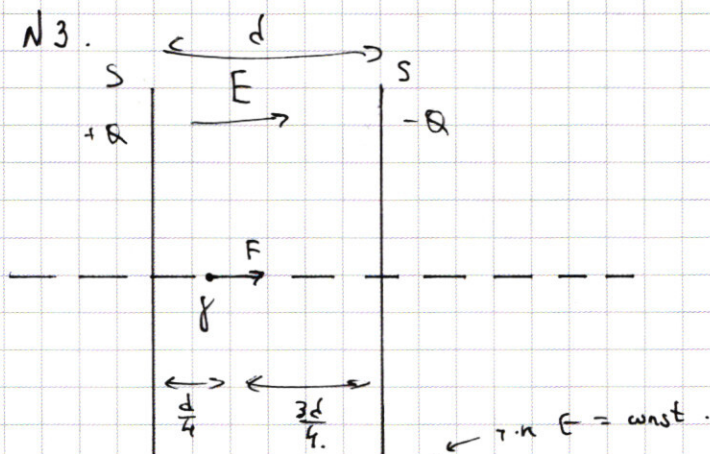
2. S' движется со скоростью $25 \parallel OO'$

3. Изображение будет двигаться по прямой S^*A , где $S^*A \perp$ линзе и $F \in S^*A$

$$4. \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4} \rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{3}{4}, \quad \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$5. \quad U_a \cos \alpha = 2U \cdot r^2 \Rightarrow U_a = \frac{2U}{\cos \alpha} \frac{F^2}{(F-d)^2} = \frac{5 \cdot 2 \cdot U}{4} \cdot \frac{F^2}{F^2} = 10U$$

Übungen! 1) $f = 3F$ 2) $\alpha = \arctg \frac{3}{4}$ 3) $v_4 = 10 \sqrt{\cos \alpha (F-d)}$



1. $E q = m a = m \frac{v_1}{T}$ — $\leftarrow$ изменение кинетической энергии
 $\frac{m v}{2} = E \cdot q \cdot \frac{3d}{4}$ — $\leftarrow$ работа поле.
 $E = \frac{Q}{S \epsilon_0}$

2. $E = \frac{1}{\gamma} \frac{v_1}{T} = \frac{2}{3} \frac{v_1^2}{\gamma d} \rightarrow v_1 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$

3. $\frac{Q}{S \epsilon_0} = \frac{1}{\gamma T} \cdot \frac{3}{2} \frac{d}{T} \rightarrow Q = \frac{3}{2} \frac{S \epsilon_0 d}{\gamma T^2}$

4. Когда частица вылетела из конденсатора, на нее перестали действовать силы, т.к. поле вне конденсатора $= 0$, значит $v_2 = v_1$

Ответ: 1) $v_1 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$ 2) $Q = \frac{3}{2} \frac{S \epsilon_0 d}{\gamma T^2}$ 3) $v_2 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

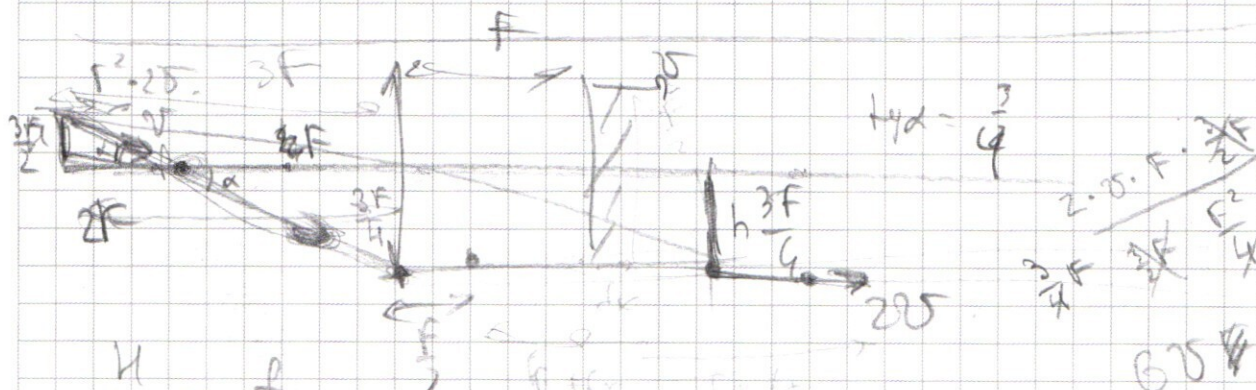
$$c(\varepsilon - u_0)(\varepsilon - u_0 - u_1) = \frac{LI^2}{2} + \frac{c(\varepsilon - u_0)^2}{2} - \frac{cu_1^2}{2}$$

$$-\frac{c\varepsilon^2}{2} + cu_0^2 - 2c\varepsilon u_0 - cu_1\varepsilon + cu_0u_1 = \frac{LI^2}{2} + \frac{c\varepsilon^2}{2} + \frac{cu_0^2}{2} - \frac{cu_1^2}{2} - c\varepsilon u_0 - c\varepsilon u_1 + cu_0u_1$$

$$\frac{LI^2}{2} = cu_0^2 - c\varepsilon u_0 - \frac{c\varepsilon^2}{2} - \frac{cu_0^2}{2}$$

$$c(\varepsilon - u_0)^2 - u_1 c(\varepsilon - u_0) = \frac{LI^2}{2} + \frac{c(\varepsilon - u_0)^2}{2} - \frac{cu_1^2}{2}$$

$$\frac{LI^2}{2} = c(\varepsilon - u_0)^2 - u_1 c(\varepsilon - u_0) + \frac{cu_1^2}{2} = \frac{c}{2}(\varepsilon - u_0 - u_1)$$



$$\frac{h}{h} = \frac{f}{d} \Rightarrow$$

$$h = h \left(\frac{f}{d} \right)'$$

$$f' = \left(\frac{f \cdot d}{d - f} \right)'$$

$$\frac{F \cdot d \cdot (d - f) - F \cdot f \cdot d}{(d - f)^2} =$$

$$h' = h \frac{f' \cdot d - d \cdot f}{d^2} =$$

$$\frac{-F^2 d}{(d - f)^2} = \frac{F^2}{(d - f) \cdot d}$$

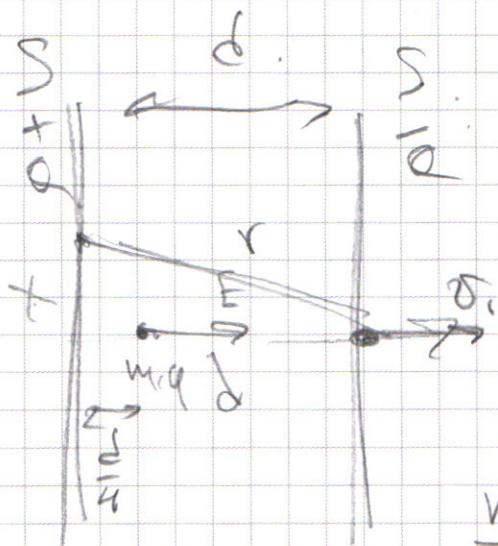
$$d = \frac{3}{2} F$$

$$= \frac{F^2}{(d - f) \cdot 2.5} + 2.5 \frac{F \cdot d}{d - f}$$

$$= 2.5 \frac{F}{d - f} \left(\frac{F}{d - f} + d \right) = \frac{2.5 F \cdot (F + d)}{d(d - f)^2}$$

$$8.75 = h \cdot 2.5 = f'$$

$$h' = 2 \cdot \frac{3F}{4} \cdot 2.5 \cdot \frac{F}{d - f} = 2.5$$



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

$$V_2 = V_1$$

$$\frac{Q}{S \epsilon_0} \frac{q}{m} = v_T$$

$$W = q \phi$$

$$\frac{mv^2}{2} = E q \frac{3d}{4} = \frac{Q}{S \epsilon_0} q \frac{3d}{4}$$

$$W = \frac{k q d Q}{2 S}$$

$$\frac{k q d Q}{2 S}$$

$$\gamma E_T = v_T \rightarrow \epsilon = \frac{v_T}{\gamma T}$$

$$\frac{mv^2}{2} = E q \frac{3d}{4}$$

$$\frac{v^2}{2} = \gamma \frac{3d}{4} +$$

$$\frac{539}{539} = 1$$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{Q q d}{2 S}$$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{Q q d}{2 S} +$$

$$= \frac{mv^2}{2} + \frac{Q q d}{2 S} + 0$$

$$17^2 \cdot 16 = 289 \cdot 16$$

$$15^2 = 225$$

$$1200$$

$$\frac{Q}{S \epsilon_0} = \frac{3d}{\gamma^2 T^2}$$

$$15 \cdot 8 = 120$$

$$1 \times 120$$

$$224$$

$$-k q \frac{2 \pi Q}{\sqrt{S}}$$

$$Q = \frac{3}{\gamma^2} \frac{d}{T^2} S \epsilon_0$$

$$dQ = \frac{2 \pi r dr d}{\gamma}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten work on grid paper showing physics calculations and diagrams.

Diagram 1 (Top Left): A vector diagram showing forces T and N acting on a mass m moving in a circular path of radius R . The angle between the forces is β . The velocity vector v is tangent to the path.

Diagram 2 (Top Right): A geometric diagram showing a right triangle with sides R , d , and $\sqrt{R^2 + d^2}$. The angle between R and the hypotenuse is α .

Equations:

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

$$\frac{mv^2}{\frac{5R}{2}} =$$

$$2\pi d k q \left(\int_0^R \frac{R^2 + d^2}{r^4} dr - \int_0^R \frac{R^2 + d^2}{r^4} dr \right) = 2\pi d k q \left(R \left(1 + \frac{1}{2} \frac{d^2}{R^2} \right) + \frac{3d^3}{12R^3} \right) \Big|_0^R =$$

$$= 2\pi d k q \left(R + \frac{d^2}{2R} + \frac{d^3}{12R^3} + \frac{d^3}{12R^3} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{d^2}{R^2} \right) \right)$$

Calculations:

$$87 \cdot 3 = 261$$

$$\begin{array}{r} 87 \\ \times 15 \\ \hline 435 \\ + 870 \\ \hline 1305 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 87 \\ \times 289 \\ \hline 783 \\ + 1734 \\ + 17340 \\ \hline 25143 \end{array}$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}$$

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

$$F = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{m}$$

Diagram 3 (Bottom Left): A diagram showing a vertical rod of length $2R$ with a point charge q at its center. The rod is surrounded by a cylindrical shell of radius R and height $2R$.

Equation:

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

$$L \frac{dI}{dt} = U_0 + U_1 \quad c(\varepsilon - u_0)(\varepsilon - u_0 - u_1) = \frac{L I^2}{2} + \frac{C u^2}{2} - \frac{C u_0^2}{2}$$

$$c \varepsilon^2 + c u_0^2 - 2 c \varepsilon u_0 - c \varepsilon u_1 + c u_0 u_1 = \frac{L I^2}{2} + \frac{C u^2}{2} - \frac{C u_0^2}{2}$$

$$\varepsilon = u_0 + u_1$$

$$u_1 = \varepsilon - u_0 = \frac{q}{C}$$

$$u_1 = \varepsilon - u_0 = \frac{q}{C}$$

$$q = \int_{u_0}^{\varepsilon} C(u - u_0) du = C \left(\frac{\varepsilon^2}{2} - u_0 \varepsilon + \frac{u_0^2}{2} \right)$$

$$\varepsilon = L \dot{q} + u_0 + \frac{q}{C}$$

$$L \ddot{q} + \frac{1}{C} (\dot{q} + u_0) - \varepsilon = 0$$

$$\dot{q} = -q_0 \omega \sin \omega t$$

$$q = q_0 - u_0 k t + \varepsilon k t = u_1$$

$$q_0 = (u_1 + u_0 - \varepsilon)$$

$$q = \varepsilon C - u_0 C - u_1$$

$$q = C(\varepsilon - u_0 - u_1 - u_0 + \varepsilon)$$

$$2\varepsilon - 2u_0 - u_1 = 7C$$

$$\frac{5 \cdot 11}{22} = \frac{5 \cdot 11}{32 + 48} = \frac{5 \cdot 11}{80} = \frac{5}{8}$$

$$\frac{\varepsilon}{h \cdot 22} = \frac{8}{8} \cdot \frac{8}{8} = 1$$

$$\frac{8}{8} = 1$$