

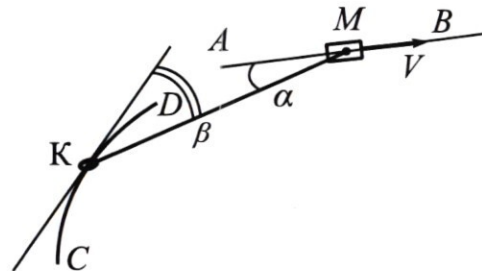
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

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.



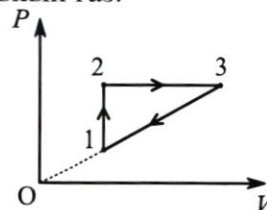
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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.

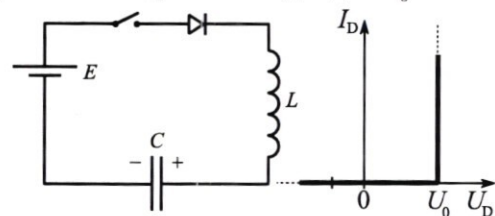
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

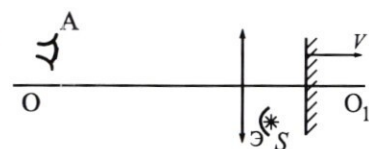


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

$$V = 68 \text{ м/с}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$l = \frac{5R}{3}$$

$$R = 3,9 \text{ м}$$

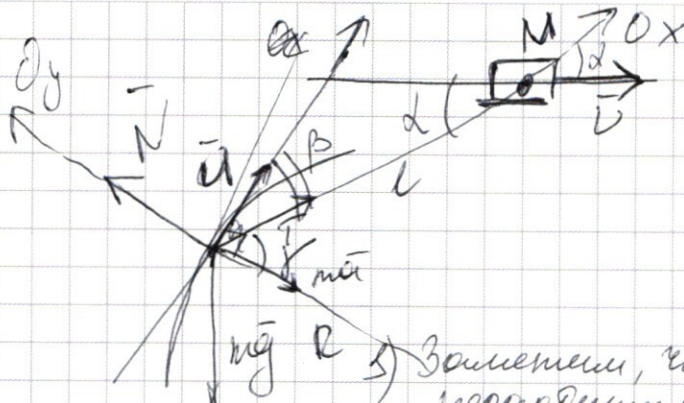
$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$$\cos \beta = \frac{4}{5}$$

3) U - ?

2) U' - ?

3) T - ?



5) Возьмем, что ^{если} $\vec{u}$ ~~перпендикулярно~~

$$\Rightarrow U \cdot \cos \beta = V \cdot \cos \alpha$$

$$\Rightarrow U = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

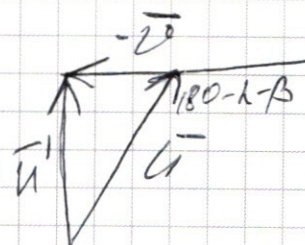
$$U = 68 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{4} = 75 \text{ м/с}$$

$$2) \vec{U} = \vec{V} + \vec{U}'$$

$$\Rightarrow \vec{U}' = \vec{U} - \vec{V}$$

$$\Rightarrow U = \sqrt{V^2 + U'^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) UV}$$

$$U = 13,7 = 77 \text{ м/с}$$



Введем $\vec{u}$ и разложим $\vec{u}$ на Ox и Oy

$$3) T + m a \cdot \cos \beta = m g \sin \alpha$$

$$T \cdot \cos \beta - m g \sin(\alpha + \beta) = 0 + N \cos \beta$$

$$\Rightarrow T = \frac{m g \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} + T \cdot \cos \beta$$

Σ моментов из Т.М:

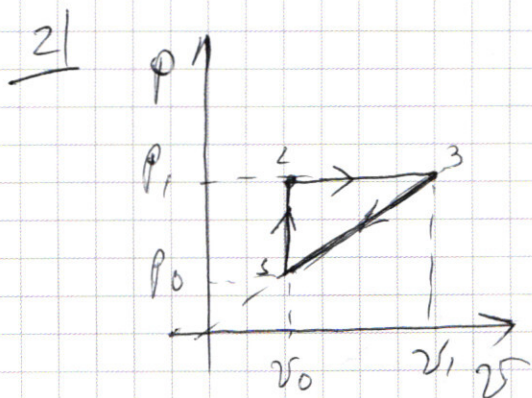
$$T = \frac{0,3 \cdot 10 \cdot (\frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} + \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{17})}{\frac{15}{17}} \approx 3,027 \text{ Н}$$

Отвечая: 75 м/с; 77 м/с; ~~3,027 Н~~

$$T + m \frac{v^2}{R} \cdot \cos \beta = m g \sin \alpha + m g \cos \beta + m g \cos \beta \cos \beta$$

$$m g + m g \cos \beta = m \frac{v^2}{R} + m g \sin(\alpha + \beta)$$

покажем из того что $\vec{u}$ перпендикулярно $\vec{v}$



$$1) \quad c_p = c_v + R$$

$$c_v = \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} R$$

$$\Rightarrow \frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3}$$

$$2) \quad A_p = p_1 (v_1 - v_0)$$

$$Q_p = \frac{3}{2} v R \Delta T + p \Delta v =$$

$$= \frac{5}{2} p_1 (v_1 - v_0)$$

$$\Rightarrow \frac{Q_p}{A_p} = \frac{5}{2}$$

Дано:

$$i = 3$$

$$1) \frac{c_p}{c_v} = ?$$

$$2) \frac{Q_p}{A_p} = ?$$

$$3) \eta_{\text{max}} = ?$$

$$3) \quad \eta_{\text{max}} = \frac{A}{Q_+} \cdot 100\%$$

$$A = \frac{1}{2} (p_1 - p_0) (v_1 - v_0)$$

$$\frac{p_0}{v_0} = \frac{p_1}{v_1} \Rightarrow p_0 = p_1 \frac{v_0}{v_1}$$

$$Q_+ = \frac{5}{2} p_1 (v_1 - v_0) + \frac{3}{2} (p_1 - p_0) v_0 = \frac{p_1}{2v_1} (5v_1 (v_1 - v_0) + 3v_0 (v_1 - v_0)) = \frac{p_1}{2v_1} (5v_1 + 3v_0) (v_1 - v_0)$$

$$A = \frac{1}{2} p_1 (v_1 - v_0)^2$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{A}{Q_+} = \frac{100\% v_1}{v_1 - v_0} \cdot \frac{100\% v_1}{5v_1 + 3v_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{100\%}{\frac{5v_1}{v_0} + 3} = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{5}{5} + \frac{3}{5}} = \frac{3}{8} = 0,375$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{max}} = 0,6 \cdot 100\% = 60$$

Ответ: 1) $\frac{5}{3}$ 2) $\frac{5}{2}$ 3) 60

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) Дано:

S

d

$r = \frac{1}{4}d$

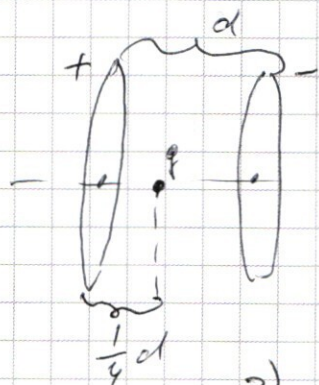
T

$\frac{Q}{m} = \gamma$

1) $v_1 - ?$

2) $Q - ?$

3) $v_2 - ?$



$$1) S = \frac{v_1 + v_0}{2} T$$

$$\frac{3}{4}d = \frac{v_1}{2} T$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{3d}{2T}$$

$$2) Eq = m a$$

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

$$S = \frac{a T^2}{2} \Rightarrow Q = \frac{3d}{2T^2}$$

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

3) Возьмем ЗВЖ: $E_{\text{нач}} = E_{\text{кон}}$

$$\gamma_1 q + \gamma_2 q = \frac{m v_2^2}{2}$$

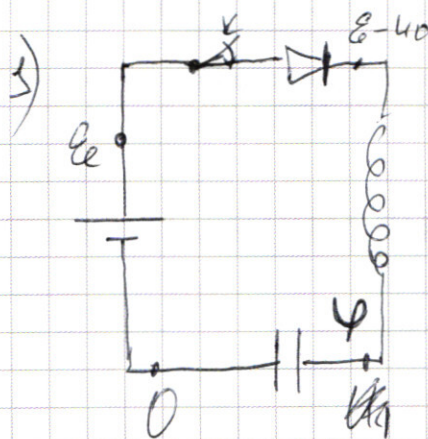
$$\gamma (\gamma_1 + \gamma_2) = \frac{v_2^2}{2}$$

$$\gamma \frac{E}{2} d = \frac{v_2^2}{2} \Rightarrow v_2 = \sqrt{\gamma E d}$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{3d}{2T^2 \gamma} \Rightarrow v_2 = \frac{d}{T} \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Ответ: 1) $\frac{3d}{2T}$; 2) $\frac{3d \epsilon_0 S}{2T^2 \gamma}$; 3) $\frac{d}{T} \sqrt{\frac{3}{2}}$

4) Дано:
 $\mathcal{E} = 9 \text{ В}$
 $\mathcal{E}_0 = 40 \text{ мВ}$
 $U_1 = 5 \text{ В}$
 $L = 0,5 \text{ Гн}$
 $U_0 = 2 \text{ В}$



1) $\mathcal{U} = U_1$
 $\Rightarrow L \dot{I} = \mathcal{E} - U_0 - U_1$
 $\Rightarrow \dot{I} = \frac{\mathcal{E} - U_0 - U_1}{L}$
 $\dot{I} = 30 \text{ А/с}$

2) Запишем ВЭД для данного момента

$$\mathcal{E} q = \frac{L I_{\text{max}}^2}{2} + \frac{C U^2}{2}$$

$$q = C U \Rightarrow \mathcal{E} C U = \frac{L I_{\text{max}}^2}{2} + \frac{C U^2}{2}$$

$$\Rightarrow I_{\text{max}}^2 = \frac{2C(\mathcal{E} U - U^2)}{L}, \text{ но } U \leq \mathcal{E} - U_0$$

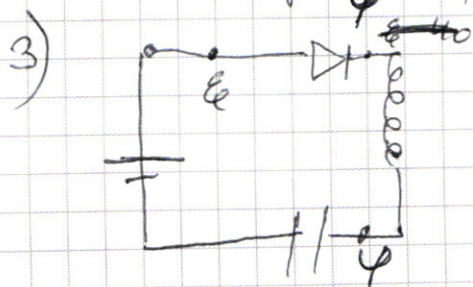
максимум будет достигнут

$$\Rightarrow I_{\text{max}}^2 = \frac{2C(\mathcal{E}^2 - \mathcal{E} U_0 + \mathcal{E}^2 + 2\mathcal{E} U_0 - U_0^2)}{L}$$

$$I_{\text{max}}^2 = \frac{2C U_0 (\mathcal{E} - U_0)}{L}$$

$$I_{\text{max}}^2 = \frac{C(\mathcal{E} - U_0)(2\mathcal{E} - \mathcal{E} + U_0)}{L} = \frac{C(\mathcal{E}^2 - U_0^2)}{L}$$

$$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot 80}{0,5}} = 20 \cdot 10^{-3} \sqrt{80} \approx 0,18 \text{ А}$$



Через диод не будет идти ток

$$\mathcal{E} - U \leq U_0$$

$$U - 0 = U_{\text{отс}}$$

$$\Rightarrow U_{\text{отс}} = \mathcal{E} - U_0 = 8 \text{ В}$$

Ответ: 1) 30 А/с; 2) 0,18 А; 8 В

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) Дано:

$$y = \frac{3F}{4}$$

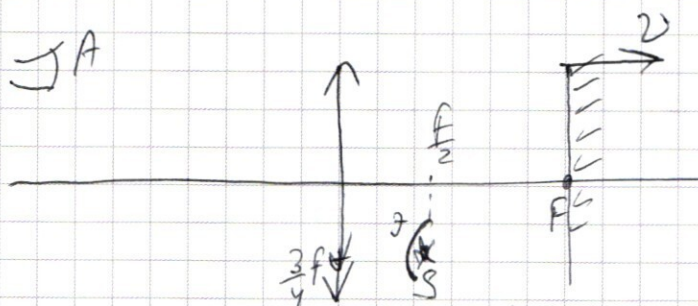
$$x = \frac{F}{2}$$

$$v$$

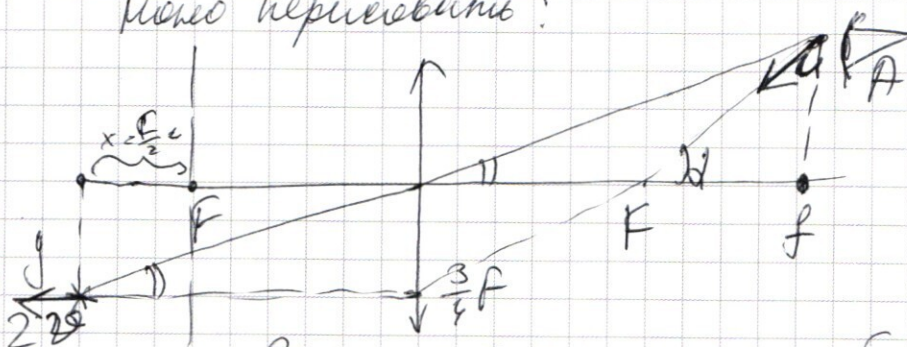
1) $f = ?$

2) $\alpha = ?$

3) $u = ?$



Заметим, что эту конструкцию можно перевернуть:



Заметим формулу тонкой линзы:

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

2) Угол наклона:

$$\frac{y}{x+f} = \frac{y'}{f} \Rightarrow y' = f \frac{y}{x+f} = 3F \frac{\frac{3}{4}F}{\frac{3}{2}F} = \frac{3}{2}F$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{y'}{f-f} = \frac{\frac{3}{2}F}{2F} = \frac{3}{4}$$

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

3) $\Gamma_{\text{порт}} = \frac{S_{\text{изл}} \cdot \cos \alpha}{S_{\text{пр}}} = \frac{u \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2v \cdot \sin \alpha} = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2$

т.к. $\alpha \rightarrow 0 \Rightarrow \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 = \Gamma^2$

$$\Rightarrow \frac{u \cdot \cos \alpha}{2v} = \left(\frac{1}{\alpha} \right)^2 = \left(\frac{3F}{\frac{3}{2}F} \right)^2 = 4$$

$$\Rightarrow U \cdot \cos \alpha = 8 \text{ V}$$

$$U = \frac{8 \text{ V}}{\cos(\arctg \frac{3}{4})}, \text{ где } \cos(\arctg \frac{3}{4}) = \frac{4}{5}$$

$$\Rightarrow U = 10 \text{ V}$$

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

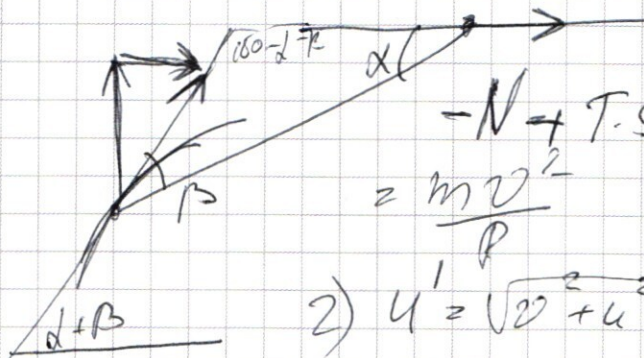
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1



$$3) T \cos \beta = mg \sin(\alpha + \beta)$$

$$T = \frac{mg \sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}$$



$$-N + T \sin \beta + mg \cos(\alpha + \beta) = \frac{mv^2}{R}$$

$$1) v \cos \beta = v \cos \alpha$$

$$v = 25 \text{ cm/s}$$

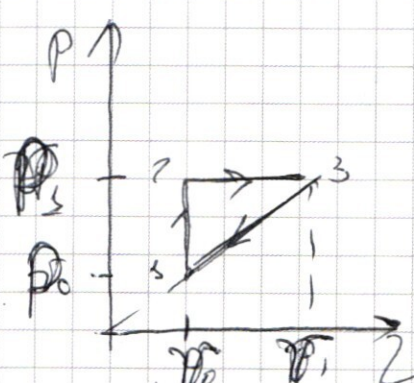
$$2) v' = \sqrt{v^2 + u^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) v u}$$

$$Q = cv \Delta T$$

$$C_v = \frac{1}{2} R - \frac{3}{2} R$$

$$C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R$$

$$a) \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$$



$$A = p_1(v_1 - v_0) = \frac{1}{2}(v_1 - v_0)(p_1 - p_0) = \frac{1}{2} p_1 (v_1 - v_0) \frac{p_1 - p_0}{p_1}$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} v R \Delta T + p \Delta V =$$

$$= \frac{3}{2} v R (p_1 v_1 - p_1 v_0) + p_1 v_1 - p_1 v_0 =$$

$$= \frac{5}{2} p_1 (v_1 - v_0)$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{\frac{5}{2} p_1 (v_1 - v_0) v_1}{\frac{1}{2} p_1 (v_1 - v_0)} =$$

$$= 5 \frac{v_1}{v_1 - v_0}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{5}{2}$$

$$b) \quad \eta = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+} \quad \# = \frac{1}{2} \rho_1 \frac{(v_1 - v_0)^2}{v_1}$$

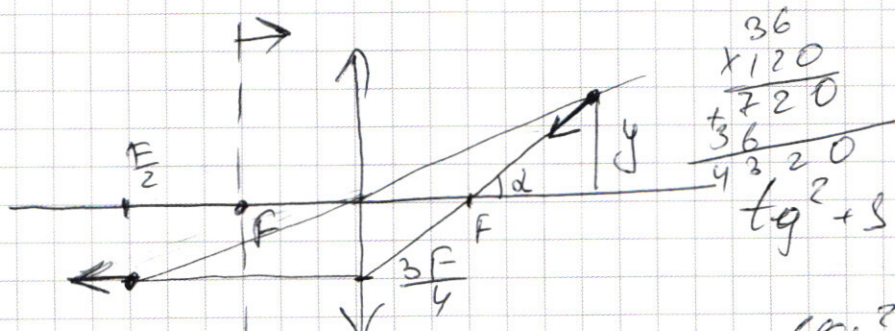
$$Q_+ = \frac{5}{2} \rho_1 (v_1 - v_0) + \frac{3}{2} \rho_1 (v_1 - v_0) v_0 =$$

$$p_0 = \frac{\rho_1 v_0}{v_1} = \frac{1}{2} \rho_1 (5v_1 - 5v_0 + \frac{3v_0}{v_1} (v_1 - v_0))$$

$$= \frac{1}{2} \rho_1 (5v_1 (v_1 - v_0) + 3v_0 (v_1 - v_0)) = \frac{\rho_1}{2v_1} (5v_1 + 3v_0) \cdot (v_1 - v_0)$$

$$\eta = \frac{v_1 - v_0}{5v_1 + 3v_0} = \frac{\frac{v_1}{v_0} - 1}{\frac{5v_1}{v_0} + 3} = \frac{3}{5} - \frac{\frac{8}{5}}{\frac{5v_1}{v_0} + 3} \Rightarrow 0.6$$

5)



$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 120 \\ \hline 720 \\ + 36 \\ \hline 4320 \end{array}$$

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

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

$$= \frac{16}{25} = \frac{4}{5}$$

$$1) \quad \frac{1}{f} = \frac{2}{3f} + \frac{1}{f} \quad f = 3f$$

$$2) \quad \frac{3f}{4 \cdot \frac{3f}{2}} = \frac{4}{3f} \Rightarrow y = \frac{9f}{8}$$

$$\tan \alpha = \frac{9f}{8 \cdot 2f} = \frac{9}{16} \quad \alpha = \arctan \frac{9}{16}$$

$$3) \quad \frac{v \cdot 2f}{u \cdot \cos \alpha} = \left(\frac{3f}{\frac{f}{2}} \right)^2 = 36$$

$$u = \frac{v}{36 \cdot \cos \alpha} = \frac{v}{36 \cdot \cos (\arctan \frac{9}{16})} + \frac{375}{525}$$

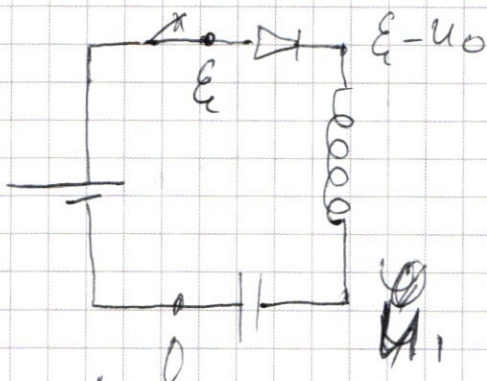
$$\begin{array}{r} 10249 \\ - 4320 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10249 \\ - 4320 \\ \hline 5929 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 582917 \\ - 56 \\ \hline 582917 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4)



$$1) \quad \varphi = 0 \Rightarrow L \dot{I} = E - U_0 - U, \\ \dot{I} = \frac{E - U_0 - U}{L}$$

2)

$$L \dot{I} + \frac{Q}{C} = E - U_0$$

$$E - \varphi < U_0$$

$$\frac{L \dot{I}^2}{2} + \frac{Q^2}{2C} = E - U_0$$

$$E Q = \frac{L \dot{I}^2}{2} + \frac{Q U^2}{2}$$

$$Q = C U$$

$$E C U = \frac{L \dot{I}^2}{2} + \frac{C U^3}{2}$$

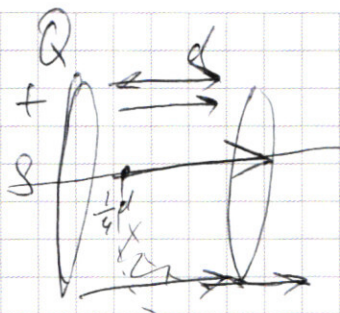
$$U =$$

$$2 \left(\frac{E C U - C U^3}{2} \right) = \dot{I}^2 = \frac{2 E C U - C U^3}{L} = \frac{C L (2 E - U)^2}{L}$$

$$\Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{(E - U_0) C (E + U_0)}{L}} = \sqrt{\frac{80 - 40 \cdot 10^{-6}}{0,5}} = 2 \cdot 10^{-3} \sqrt{80}$$

$$68^2 + 75^2 - 2 \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{3}{8} \cdot \frac{8}{17} \right) 68 \cdot 75 = 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 36 \cdot 4 \cdot 15 = 15,4$$

31



$$S = \pi R^2 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$l = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$RT =$$

$$\frac{3}{4}d = \frac{at^2}{2} \quad \frac{v^2}{2} = 0$$

$$\Rightarrow 0 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$$

$$2) \quad Eq = ma$$

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

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

$$E = \frac{Q}{4\epsilon_0 S}$$

$$\frac{3}{4}d = \frac{aT^2}{2}$$

$$Q_1 = \frac{3}{2} \frac{d}{T^2}$$

$$E = \frac{3}{2} \frac{d}{T^2} f$$

$$T + ma \cdot \cos f = mg \cdot \sin f + N \cdot \cos f$$

$$3) \quad \frac{1}{2}d + \frac{3}{4}d = \frac{mv^2}{2}$$

$$y_1 q_1 + y_2 q_2 = \frac{mv^2}{2}$$

$$f(y_1 + y_2) = \frac{v^2}{2}$$

$$f \frac{E}{2} d = \frac{v^2}{2}$$

$$f \cdot d \cdot \frac{3}{2} \frac{d}{T^2} = v^2 \Rightarrow v = \frac{d}{T} \sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$N = mg + \frac{mg \cos f}{\sin f}$$

$$l \cdot N - l \cdot m a \cdot \sin f - \sin(90-f) \cdot mg$$