

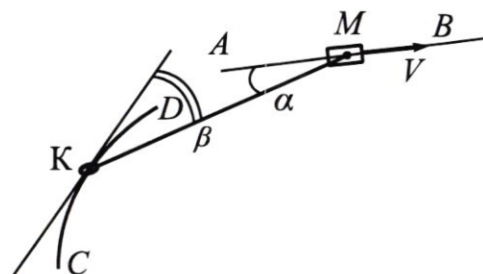
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



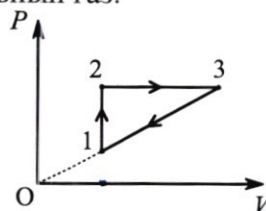
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



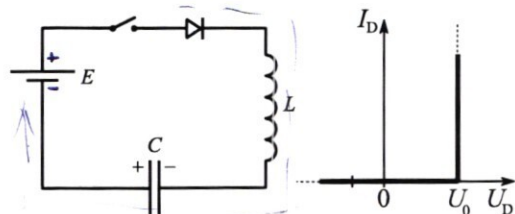
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

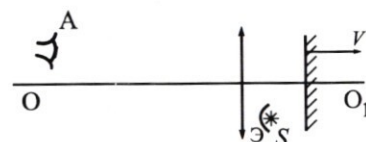
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



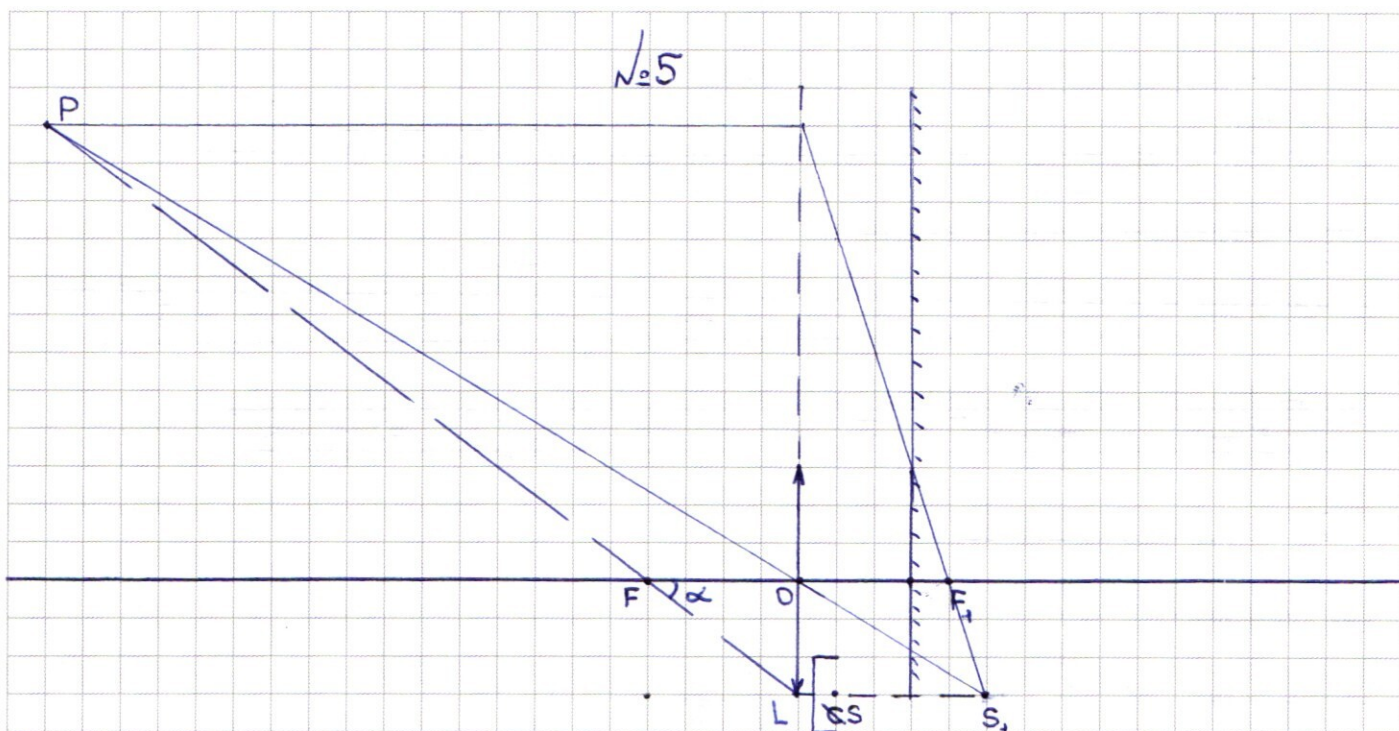
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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) Построим изображение S_1 источника S в зеркале. В данный момент расстояние между зеркалом и S равно $(\frac{3}{4}F - \frac{E}{4}) = \frac{F}{2}$. Тогда расстояние $SS_1 = 2 \cdot \frac{F}{2} = F$ и расстояние от линзы до S_1 равно $F + \frac{F}{4} = \frac{5}{4}F$. Именно S_1 будет источником света для линзы.

По формуле тонкой линзы расстояние от линзы до изображения P источника S_1 :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{\frac{5}{4}F} + \frac{1}{P} \Rightarrow P = 5F$$

2) Рассмотрим ход лучей $S_1 \rightarrow P$. Луч, идущий параллельно OO_1 до линзы (он перекрывает экран, но может быть построен) после линзы идёт через F и, таким образом, не меняет своей траектории при движении S_1 . Значит, все изображения P принадлежат этой лучу. Значит, он содержит вектор скорости P . Угол $\alpha = \angle OFL$

$$\tan \alpha = OL : OF = \frac{3}{4}F : F = \frac{3}{4}, \text{ т. к. } OL \parallel OO_1, \alpha = \arctg \frac{3}{4}$$

3) Скорость изображения относительно зеркала равна скорости S относительно зеркала, т. е. v . Скорость S_1 относительно ~~зеркала~~ радиогатания равна сумме скоростей S_1 относительно зеркала и зеркала относительно радиогатания, т. е. $v + v = 2v$.

~~Скорость горизонтального составляющей скорости $v_p = 2v$, т. к.~~

~~Уз формулу тонкой линзы:~~

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

$$f = \frac{Fd}{d-F} \quad \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{F \Delta d}{(d-F)^2} = \frac{Fd \Delta d}{(d-F)^2} = \frac{\Delta d (F(d-F))}{\Delta t (F-d)^2} \Rightarrow \frac{\Delta f}{\Delta t} \sim$$

~~Уз формулу, выражающую~~

Уз формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad f = \frac{Fd}{d-F} = F + \frac{F^2}{d-F} = F + F^2(d-F)^{-1}$$

$$\frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{F^2}{(d-F)^2} \cdot \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{f^2}{d^2} \cdot \frac{\Delta d}{\Delta t} \Rightarrow v_{px} = \frac{f^2}{d^2} \cdot 2v = \frac{25F^2}{16} \cdot 2v = 32v$$

$$v_p = \frac{v_{px}}{\cos \alpha} = \frac{32v}{F \cdot (\sqrt{F^2 + \frac{9}{16}F^2})} = \frac{32v}{4 \cdot \frac{5}{4}} = 40v$$

Ответ: 1) $5F$; 2) $\arctg \frac{3}{4}$; 3) $40v$;

$$1) C_v = \frac{i}{2} R$$

$$C_p = \frac{i+2}{2} R$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{C_v}{C_p} = \frac{i}{i+2} = \frac{3}{3+2} = 0,6$$

$$2) \Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V$$

$$A = p \Delta V$$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{2} = 1,5$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q_+}$$

$$A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_3 - V_1)$$

$$Q_+ = \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + A_{23} = \Delta U + A_{23} = \frac{3}{2} (p_2 V_3 - p_1 V_1) + p_2 (V_3 - V_1).$$

Так как по условию $p_1 = p_2$, то $p_1 = p_2 \frac{V_1}{V_3}$. Тогда:

$$A = \frac{1}{2} (1 - \frac{V_1}{V_3}) (V_3 - V_1) p_2 = (V_3 - V_1)^2 p_2 / 2V_3$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_+ = \frac{3}{2}(p_2 V_3 - p_2 \frac{V_1^2}{V_3}) + p_2(V_3 - V_1) = \frac{p_2}{V_3} \left(\frac{3(V_3 - V_1)(V_3 + V_1)}{2} + \frac{V_3^2}{2} \right) = \frac{p_2}{2V_3} \cdot (V_3 - V_1)(3V_3 + 3V_1 + 2V_3 - 2V_1) = \frac{p_2(V_3 - V_1)(5V_3 - V_1)}{2V_3}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{p_2(V_3 - V_1)^2}{2V_3} \cdot \frac{2V_3}{p_2(V_3 - V_1)(5V_3 - 3V_1)} = \frac{V_3 - V_1}{5V_3 - 3V_1}$$

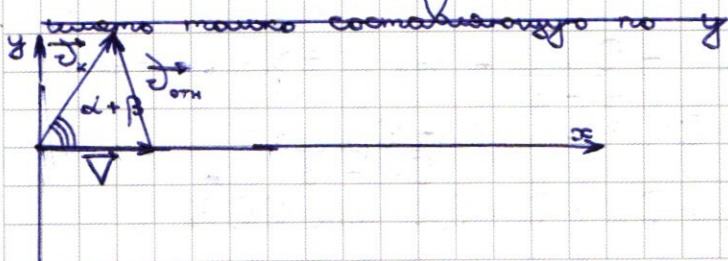
$$\eta_{\max} \text{ при } \frac{\Delta \eta}{\Delta V_3} = 0. \quad \frac{\Delta \eta}{\Delta V_3} = \frac{5V_3 - 3V_1 - 5V_1 - V_1}{(5V_3 - 3V_1)^2} = 0 \quad \begin{matrix} 2V_1 = 0 \\ V_1 = 0 \end{matrix}$$

$$\eta_{\max} = \frac{V_3 - 0}{5V_3} = \frac{1}{5} \quad \eta_{\%} = 20\% \quad Q_{\text{mem}}: 1) 0,6; 2) 1,5; \\ 3) 20\%;$$

4) Так как длина нити постоянна, т.е. она не растягивается и не провисает, можно записать уравнение кинематической связи нити: $v_x \cos \beta = v \cos \alpha$, т.к. во точки нити движутся с одинаковой скоростью в направлении "по нити".

$$v_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{V \cdot 45 \cdot 5}{47 \cdot 3} = 25 \text{ V} \quad v_k = \frac{25 \cdot 34 \text{ cm/c}}{47} = 50 \text{ cm/c}$$

2) Введем систему координат (декартову), ось x направим по движению шара, ось y - перпендикулярно ему. Тогда скорости (проекции) по оси x равны у шара и колыба относительно ЛСО. Значит, скорости в колыбе относительно шара будут



$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_k - \vec{v}_m$, где $\vec{v}_{\text{отн}}$ -
скорость искалая, $\vec{v}_k$ - скорость
капюла в ЛСО, $\vec{v}_m = \vec{v}$.

$$v_{отн\ x} = v_{k\ x} - v_m = v_k \cos(\alpha + \beta) - V$$

$$v_{отн\ y} = v_{k\ y} = v_k \sin(\alpha + \beta)$$

$$v_{отн} = \sqrt{v_k^2 \sin^2(\alpha + \beta) + v_k^2 \cos^2(\alpha + \beta) - 2Vv_k \cos(\alpha + \beta) + V^2} = \sqrt{\frac{V^2 \cos^2 \alpha - 2V^2 \cos(\alpha + \beta) \cos \alpha + V^2}{\cos^2 \beta}} = \frac{V \sqrt{\cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta) + \cos^2 \beta}}{\cos \beta}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} = \frac{13}{85}$$

$$-2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta) = -2 \cdot 3 \cdot 15 \cdot \frac{13}{85} = -\frac{1170}{85}$$

$$\cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cos \beta \cos(\alpha + \beta) + \cos^2 \beta = (9 \cdot 17^2 - 2 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 13 + 15^2 \cdot 5^2) : (5^2 \cdot 17^2) = (2601 - 1170 + 5625) : (5 \cdot 17)^2 = 84 : 5 \cdot 17$$

$$v_{отн} = \frac{V \cdot 84 \cdot 5}{5 \cdot 17 \cdot 3} = \frac{84V}{3 \cdot 17}$$

$$v_{отн} = 84$$

$$v_{отн} = \frac{28V}{17}$$

$$v_{отн} = \frac{28 \cdot 34 \text{ см/с}}{17} = 56 \text{ см/с}$$

3) В системе действующих сил: исканая T и центростремительная $\frac{mv^2}{R}$. В проекции на ось действия T :

$$T = \frac{mv^2}{R} \sin \beta, \text{ т.к. } \vec{v} \perp \vec{F}_c$$

$$T = \frac{0,3 \text{ кг} \cdot 50^2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}^2}{0,53 \text{ м}} : \frac{4}{5} = \frac{75 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{53 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = \frac{30}{53 \cdot 5} = \frac{6}{53} \text{ Н};$$

$$\text{Ответ: } 50 \text{ см/с}; 56 \text{ см/с}; \frac{6}{53} \text{ Н};$$

№2 (продолжение).

$$\eta = \left(\frac{V_3}{V_1} - 1\right) : \left(5 \frac{V_3}{V_1} - 3\right) \quad \text{Пусть } \frac{V_3}{V_1} = t, t > 1$$

$$\eta = \frac{t-1}{5t-3} \quad \eta_{\max} \text{ при } \frac{\Delta \eta}{\Delta t} = 0. \quad \frac{5t-3-5(t-1)}{(5t-3)^2} = 0$$

$$\eta = 0,2 + \frac{-0,4}{5t-3}$$

$$\eta_{\max} \text{ при } \frac{-0,4}{5t-3} = \max. \quad t \gg 1, \text{ значит, } 5t-3 > 0. \text{ Значит, } \frac{-0,4}{5t-3} \leq 0.$$

$$\text{Значит, } \left(\frac{-0,4}{5t-3}\right)_{\max} = 0 \quad \eta_{\max} = 0,2 + 0 = 0,2, \text{ или } 20\%$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: 0,5; 1,5; 20%;

№ 4

Несколько общие рассуждения:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{E}{L}, \text{ где } E - \text{ЭДС самоиндукции катушки.}$$

После установления U_2 ток в цепи не течёт, т.к. конденсатор разряжает цепь.

~~Указание. После открытия дуги $\Delta \Phi_{\text{св}} = E = U_0 = 5 \text{ В}$ (по закону~~

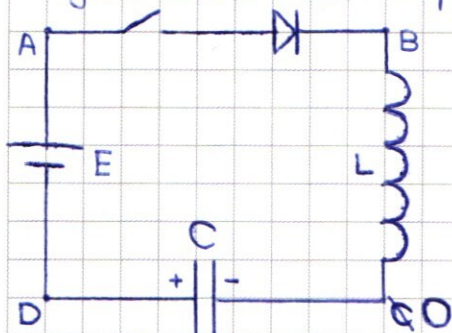


рис. 1

~~введен на рис. 1). $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0, \epsilon = 0$ а.~~

~~Но если тока нет, то $\Delta \Phi_{\text{св}} = U_2$.~~

~~$U_2 = 5 \text{ В}$. В это время, сразу после~~

~~открытия дуги $E = \Delta \Phi_{\text{св}} = U_0 = 5 \text{ В}$.~~

~~$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{5 \text{ В}}{0,1 \text{ Гс}} = 50 \text{ А/с}$ сразу после открытия дуги~~

Указание: конденсатор действует как батарея с уменьшающейся ЭДС. Тогда суммарная ЭДС сразу после замыкания ключа равна $2 + 6 = 8 \text{ В}$; тогда $E_{\text{макс}} = 8 \text{ В} - U_0 = 7 \text{ В}$;

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{7 \text{ В}}{0,1 \text{ Гс}} = 70 \text{ А/с}$$

Ответ к п. 1: 70 А/с;

В. При установившемся U_2 ток в цепи не течёт, тогда $E = 0$ и

$$U_2 = E - U_0 = 5 \text{ В};$$

Ответ к п. 3: 5 В;

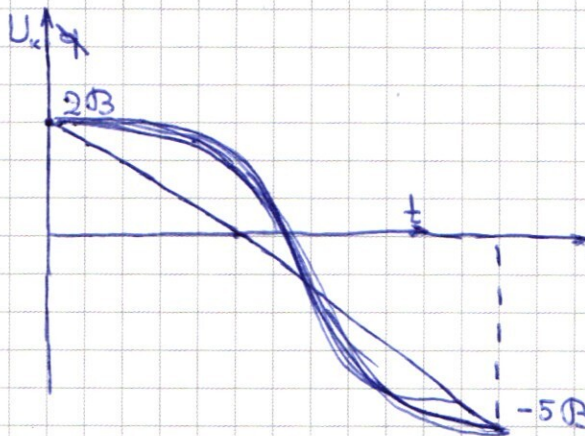
На конденсаторе напряжение уменьшилось от 2 В до 5 В, при этом зарядился конденсатор. Когда суммарный заряд, протек -

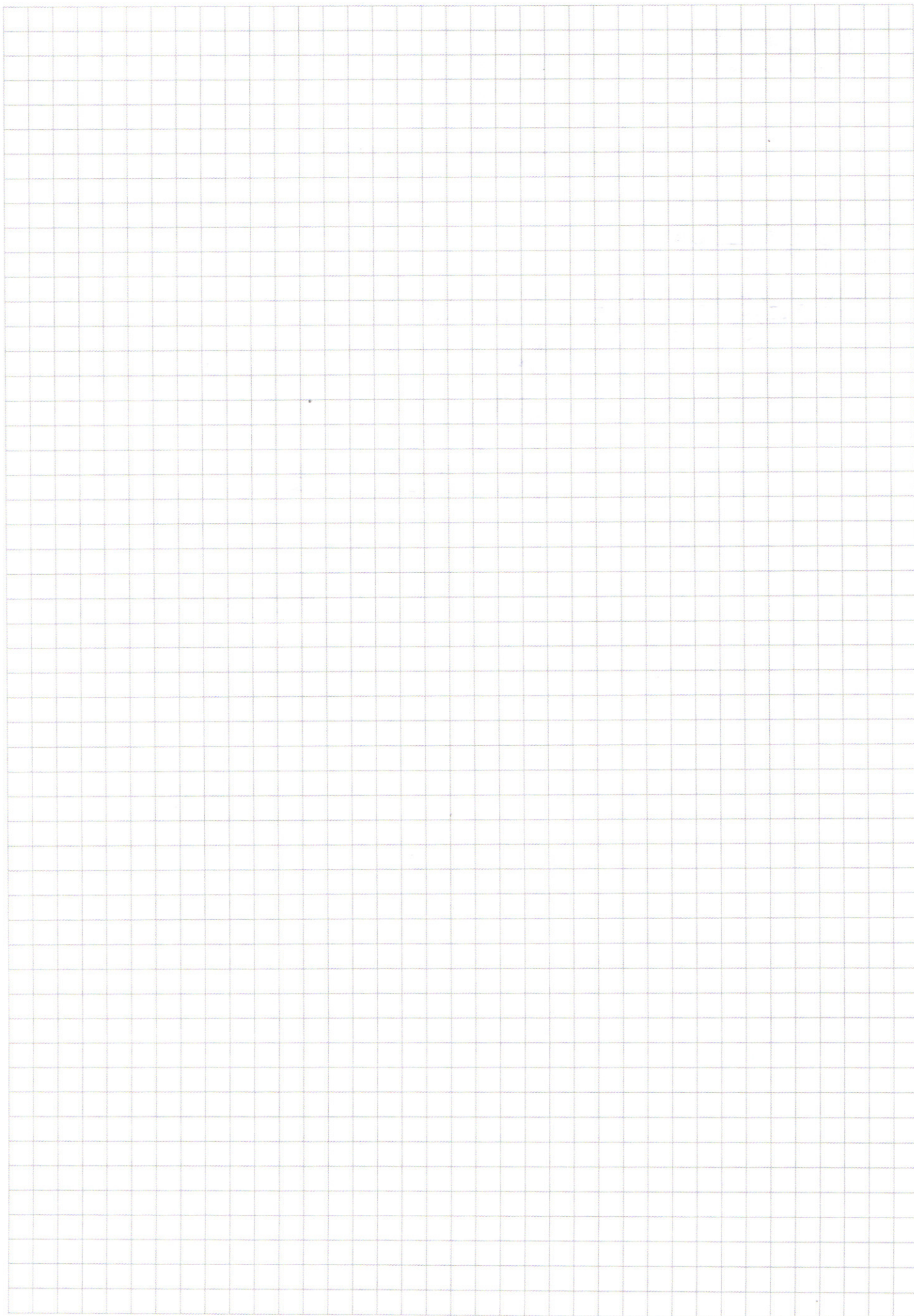
здесь $q_z = 40 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot (2 + 5) \text{ В} = 280 \text{ мкВ};$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$f(V_1) = \frac{V_3 - V_1}{5V_3 - 3V_1} \times 2$$

$$f'(V_1) = \frac{-(5V_3 - 3V_1)}{(5V_3 - 3V_1)^2} - (-3)(V_3 - V_1) = V_3$$





☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten calculations and diagrams on graph paper.

Arithmetic:

$$\begin{array}{r} 2604 \\ + 5625 \\ \hline 8226 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8226 \\ - 4470 \\ \hline 3756 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 225 \\ + 25 \\ \hline 250 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 450 \\ + 5625 \\ \hline 6075 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 804 \\ + 336 \\ \hline 1140 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 804 \\ + 336 \\ \hline 1140 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 289 \\ \times 13 \\ \hline 2604 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 13 \\ \times 90 \\ \hline 1170 \end{array}$$

$$6 \cdot 15 = 90$$

Formulas:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$$

$$\frac{1}{5F} = \frac{1}{F}$$

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

$$f = \frac{F d - F^2 + F^2}{d - F} = F + \frac{F^2}{d - F}$$

$$\frac{\Delta f}{\Delta d} = F^2 ((d - F)^{-1})' = \frac{F^2 \Delta d}{(d - F)^2}$$

$$\frac{F d}{d - F} = f$$

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

$$\mathcal{E} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} = \mathcal{E} - U_1 - U_0$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\mathcal{E} - U_1 - U_0}{L}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{30}{0,15} = 30 \text{ A/c}$$

$$CU^2 = \frac{q^2}{2C}$$

$$q = CU$$

Diagram: A geometric diagram showing a right triangle with vertices labeled u_0 , u_1 , and F . A vertical dashed line is drawn from the vertex F to the horizontal axis.

Other notes:

$\frac{3}{4} 13;$

$$1-2: A=0; \Delta U_+ = Q_+$$

~~2-3~~ X

$$2-3: Q_+ = A_+ + \Delta U_+$$

$$Q_+ - A_+ = Q_- - A_-$$

$$3-1: Q_- = A_- + \Delta U_-$$

$$Q_+ - Q_- = A_+ - A_-$$

$$A = \frac{1}{2}(p_1 - p_2)(V_3 - V_2)$$

$$Q_+ = \Delta U_+ + A_+$$

$$\Delta U_+ = \frac{3}{2}(p_1 V_2 + p_2 V_3)$$

$$A_+ = p_2(V_3 - V_2)$$

$$15^2 = 225$$

$$17^2 = 289$$

$$64$$

$$\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1) \cdot \frac{1}{2}}{\frac{3}{2}(p_2 V_3 - p_1 V_1) + p_2(V_3 - V_1)}$$

$$45 - 32 = 13 \quad \eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{3p_2 V_3 - 3p_1 V_1 + 2p_2 V_3 - 2p_2 V_1}$$

$$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2} = \frac{p_3}{V_3}$$

$$p_1 = p_2 \frac{V_1}{V_3}$$

$$\eta = \frac{(1 - \frac{V_1}{V_3})(V_3 - V_1)}{3V_3 - 3\frac{V_1^2}{V_3} + 2V_3 - 2V_1}$$

$$\eta = \frac{(V_3 - V_1)^2}{5V_3^2 - 3V_1^2 + 2V_1 V_3}$$

$$5x^2 - 2xy - 3y^2 = 0$$

$$D = 4y^2 + 60y^2 = 64y^2$$

$$x_1 = y$$

$$x_2 = -\frac{6}{10}y$$

$$m a_u \sin \beta = T x = \frac{2y + 8y}{10y}$$

$$\frac{m v_x^2 \sin \beta}{R} = T$$

$$\eta = \frac{\Delta V^2}{\Delta V(V_3 + 0,6V_1)}$$

$$\eta = \frac{(V_3 - V_1)}{(V_3 + 0,6V_1)}$$

$$\frac{KL}{v_x} = \frac{KM - ML}{v_m}$$

$$\frac{KL}{\sin \alpha} = \frac{KL}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$\frac{ML}{\sin \beta} = \frac{ML}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$\frac{1 \sin \alpha}{v_x} = \frac{1 \sin(\alpha + \beta)}{v_m} - \frac{1 \sin \beta}{v_m}$$

$$v_x = \frac{v_m \sin \alpha}{\sin \alpha \sin \beta + \sin \beta \cos \alpha - \sin \beta \cos \beta}$$