

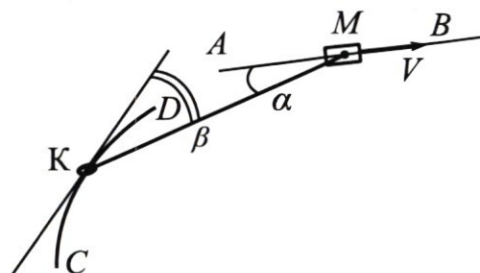
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-04

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

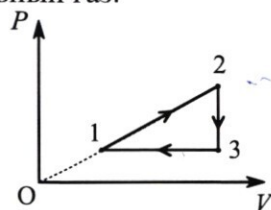
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной 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.



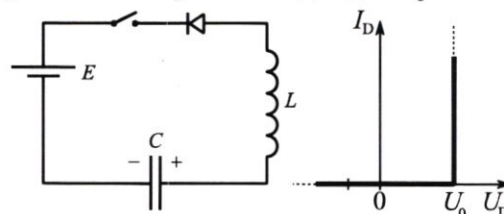
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью 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.

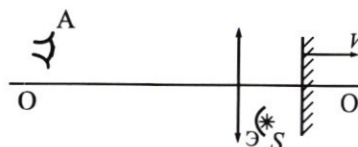
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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

3) Если ~~зеркало~~ зеркало движется со скоростью V , то изображение S' движется со скоростью $2V$.

Горизонтальная скорость S' и S'' относятся, как продольное увеличение изображений. Продольное увеличение: $\Gamma = \Gamma'^2$, где $\Gamma' = \frac{f}{s}$ — поперечное увеличение.

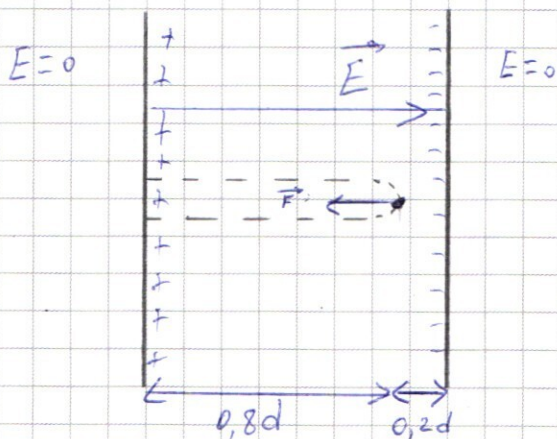
Из рисунка находим, что полная скорость U — это горизонтальная скорость дается на $\cos \beta$.

$$U = \frac{2V \cdot \left(\frac{f}{s}\right)^2}{\cos \beta}; \quad \cos \beta = \frac{15}{17}. \quad \text{Подставим значения:}$$

$$U = \frac{85}{24} V$$

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

~ 3

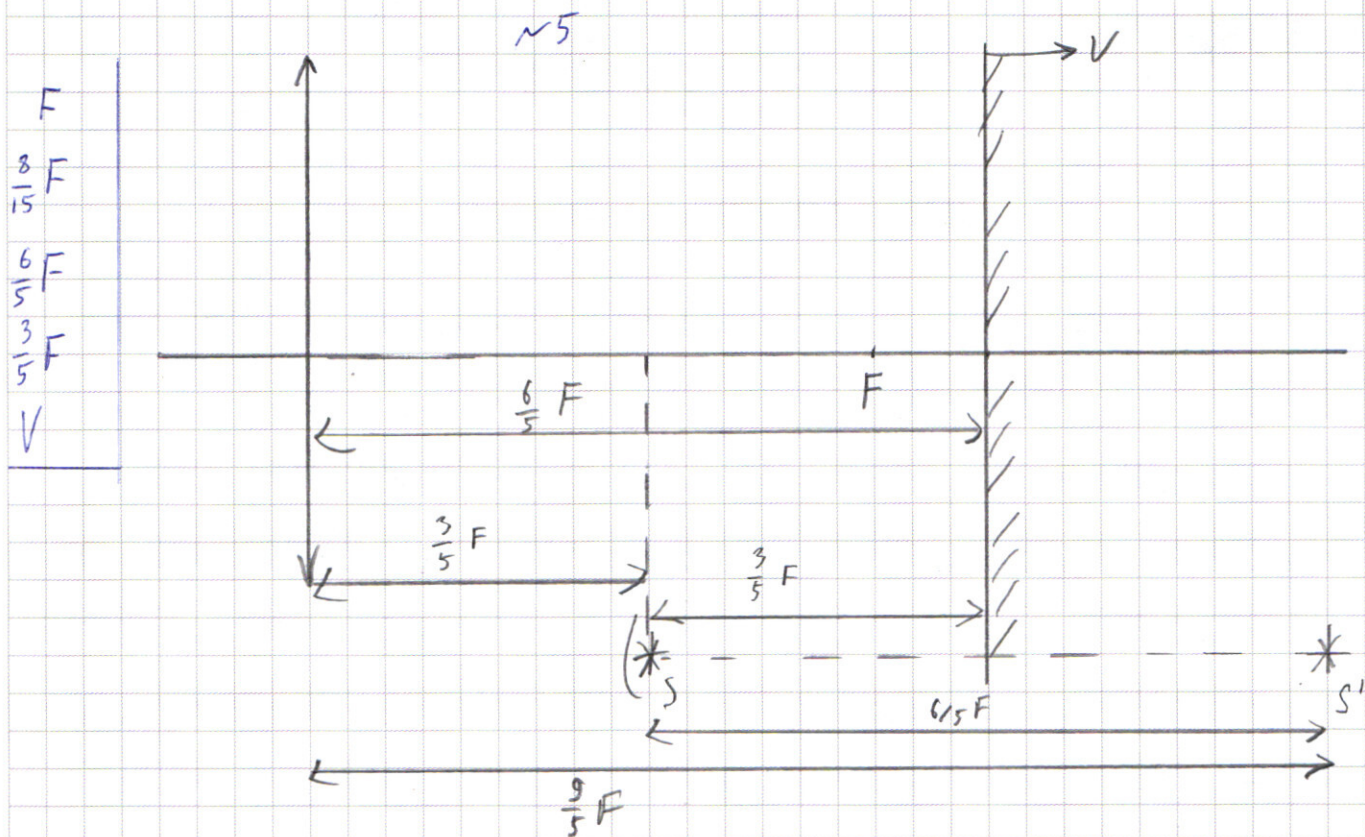


В данной модели мы считаем, что поле внутри конденсатора однородно и равно $\frac{U}{d}$, а вне конденсатора поля нет.

1) Поле $\vec{E}$ к моменту

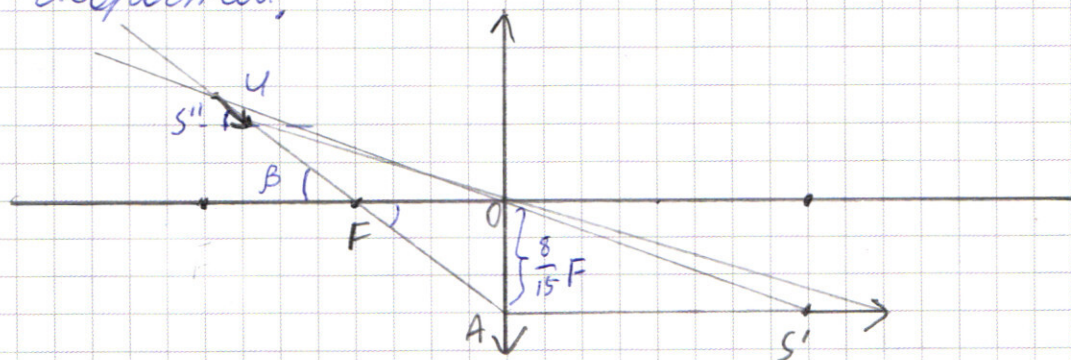
остановки совершило над частицей работу

$$A = q \Delta \varphi = q E \cdot 0,8d = 0,8 qU \quad (\text{без учёта знака})$$



1) Расстояние от линзы до S' : $d = \frac{9}{5} F$; Обозначим расстояние от линзы до изображения S'' предмета S' F . Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow F = \frac{Fd}{d-f} = \frac{9}{4} F$.

2) Пусть за малое время S'' прошло некое расстояние L . По направлению малые перемещения предмета и изображения совпадают в направлении векторов их скоростей.



Угол ~~наклона~~ вектора скорости - β . Из $\triangle FOA$: $OA = Ftg\beta$
По условию $OA = \frac{8}{15} F \Rightarrow tg\beta = \frac{8}{15}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

По ЗСЭ: $\frac{m V_1^2}{2} = A = 0,8 q U \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{V_1^2}{1,6 U}$

2) Разобьем время движения на два равных участка τ , от влета в конденсатор до остановки.

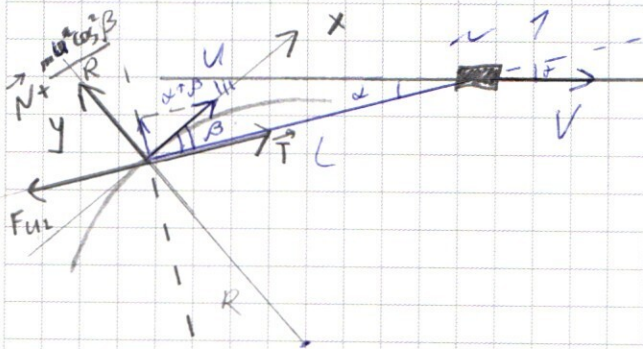
Ускорение частицы: $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{d}$

$a\tau = V_1 \Rightarrow \tau = \frac{V_1}{a} = 1,6 \frac{d}{V_1}$

$T = 2\tau = \frac{3,2 d}{V_1}$

3) Так как снаружи поле отсутствует, то частица после остановки пройдет ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 0,8 U$. Из ЗСЭ, ~~она~~ записанную в пункте 1, получим $V_0 = V_1$, однако направление движения изменится на противоположное $V_0 = -V_1$.

Ответ: 1) $\tau = \frac{V_1^2}{1,6 U}$; 2) $T = \frac{3,2 d}{V_1}$; 3) $V_0 = -V_1$



Обозначим скорости U и V .

1) Т.к. нить всегда натянута и не растягивается, то проекции скоростей U и V на нее равны.

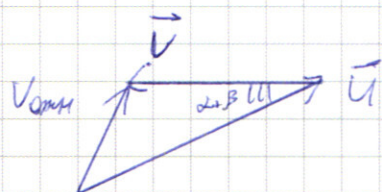
$V \cos \alpha = U \cos \beta \Rightarrow U = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$

$U = 1,7 V \approx 3,4 \text{ м/с}$

- 2) Векторно вычтем $\vec{V}$ от $\vec{U}$; угол между скоростями-внешний угол треугольника, равный $1+\beta$.

По т. косинусов: $V_{\text{отн}}^2 = V^2 + U^2 - 2UV \cos(1+\beta)$

$$\cos(1+\beta) = \cos 1 \cos \beta - \sin 1 \sin \beta = -\frac{13}{85}$$



$$V_{\text{отн}}^2 = V^2 + U^2 + \frac{26}{85} UV.$$

Подставим значение U , найд. в п. 1.

$$V_{\text{отн}}^2 = V^2 \left(3,89 + \frac{26}{85} \cdot \frac{17}{10} \right) = V^2 \left(3,89 + \frac{442}{850} \right) = V^2 \left(3,89 + \frac{227}{425} \right)$$

$$V_{\text{отн}} = V \sqrt{3,89 + \frac{227}{425}} \approx \overset{2,06}{1,8} V = \overset{4,12}{3,4} \text{ м/с}$$

- 3) На кольцо действуют 4 силы: реакция опоры, натяжения нити, инерция от вращения с радиусами L и R ;

$$O_x: T \cos \beta = F_{u2} \cos \beta, \text{ где } F_{u2} = \frac{mU^2 \sin^2 \beta}{L}$$

$$T = \frac{mU^2 \sin^2 \beta}{L} = \frac{2,25 \cdot 15}{17} \frac{mV^2}{R} \approx 2 \text{ Н}$$

Ответ: 1) $U = 1,7 V \approx 3,4 \text{ м/с}$, 2) $V_{\text{отн}} = V \sqrt{3,89 + \frac{227}{425}} \approx \overset{4,12}{3,4} \text{ м/с}$.

3) $T = \frac{2,89 m V^2 \sin^2 \beta}{L} \approx 2 \text{ Н}$
 ~ 2

- 1) Газ остается на участках 2-3 и 3-1, температурой C_v и C_p постоянными. Для одноатомного газа

$$C_p = \frac{5}{2} R, C_v = \frac{3}{2} R \Rightarrow \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$$

- 2) Пусть $P = \alpha V$, где $\alpha > 0 = \text{const}$;

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \alpha \int_{V_1}^{V_2} V dV = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$PV = \nu RT \Rightarrow \nu R \Delta T = P_2 V_2 - P_1 V_1 = 2(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta U = \nu C_V \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \cdot 2(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{\frac{3}{2} \cdot 2(V_2^2 - V_1^2)}{\frac{1}{2} \cdot 2(V_2^2 - V_1^2)} = 3$$

Ответ:

3) Максимальное КПД: $\eta = \frac{Q}{A}$; $Q = 2\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$

$$A = A_{12} - A_{31}$$

$$\eta = 0,6 = 60\%$$

Ответ: 1) $\frac{5}{3}$ 2) 3 3) 60%

14

1) Сумма ЭДС равна сумме падений напряжения:

$$\mathcal{E} + L\dot{I} = U_1 - U_0 \Rightarrow \dot{I} = \frac{U_1 - U_0 - \mathcal{E}}{L} = 5 \frac{A}{C}$$

2) Уменьшение (увеличение) энергии конденсатора пошло на преодоление ЭДС источника и на возрастание энергии катушки:

$$\frac{C U_1^2}{2} - \frac{q^2}{2C} = \frac{L I^2}{2} + \mathcal{E} (q_0 - q), \quad \text{где } q - \text{заряд на конденса-} \\ \text{торе в данный момент}$$

Напряжения:

$$E = U_c - U_0 \Rightarrow \frac{q}{C} - U_0 \Rightarrow q = C(E + U_0) \quad - \text{ЭДС инд. } E_i = 0$$

Подставив в ЗСЭ, получим:

$$I = \sqrt{\frac{L}{C} (U_1^2 + E^2 - U_0^2 - 2U_1 E)} = \sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{ A} \approx 14,1 \mu\text{A}$$

3) В момент закрытия диода E_i принимает максимальное значение, т.е. $I = 0$.

$$E_i + E = U_c - U_0 \Rightarrow E_i = U_c - U_0 - E$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{C U_1^2}{2} - \frac{C U_c^2}{2} = E (C U_c + C U_1)$$

$$E U_c + E U_1 = \frac{U_1^2}{2} - \frac{U_c^2}{2}$$

$$U_c^2 - 2 E U_c + (E U_1 - \frac{U_1^2}{2}) = 0$$

$U_c \approx -1,5 \text{ В}$, то есть полярность изменится.

Ответ: 1) $\dot{I} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} \approx 5 \frac{\text{A}}{\text{с}}$; 2) $I \approx 14,1 \mu\text{A}$; 3) $U_c \approx -1,5 \text{ В}$.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

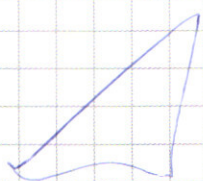
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № ____
(Нумеровать только чистовики)

$$E_i + E_k - U_0 =$$

~~$$pV = RT = \frac{pR}{V}, \quad pR \Delta T = \frac{p_2}{V_2} - \frac{p_1}{V_1}$$~~

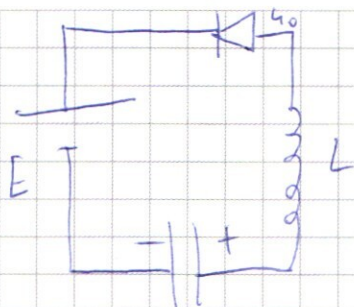
$$pV = RT \quad ; \quad pR \Delta T = p_2 V_2 - p_1 V_1 = \rho (V_2^2 - V_1^2)$$



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

$$A =$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E = U_1 - U_0 = -U_0 + \frac{q}{C}$$

$$\begin{array}{r} 18 \\ \times 6 \\ \hline 108 \end{array}$$

$$q = C(U_0 + E)$$

$$\frac{CU_1^2}{2} - \frac{C^2(U_1 + E)^2}{2C} = (q_0 - q)E + \frac{LI^2}{2}$$

$$CU_1^2 - CU_0^2 - CE^2 - 2CU_0E = 2CU_1E - 2CU_0E - CE^2 + \frac{LI^2}{C}$$

$$C(U_1^2 - U_0^2 - 2U_1E + E^2) = LI^2$$

$$I = \sqrt{\frac{10^{-4}}{4} (81 - 1 + 36 - 108)} = \sqrt{\frac{10^{-4}}{4} (116 - 108)} =$$

$$\begin{array}{r} 88 + 36 = 100 + 36 - 12 \\ = 136 - 12 \\ = 124 \end{array}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 10^{-4}} =$$

$$\sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{ A} =$$

$$= 1,41 \cdot 10^{-2} \text{ A} =$$

$$= 14,1 \text{ mA}$$

$$\frac{q_2}{C} - U_0 = E_i + E$$

$$LI = E + U_0 + \frac{q_2}{C}$$

$$E - U_0 + \frac{q_2}{C} = CU_1^2 + \frac{q_2^2}{C} = 2(E_i + U_0)E$$

$$E_i = E + \frac{U_0 + q_2}{C}$$

$$CU_1^2 - CU_0^2 = CE^2 - 2CU_0E = 2CU_1E$$

$$q_2 = C(E_i - E - U_0)$$

$$CU_1^2 = CU_0^2 + C(E_i - E - U_0)^2$$

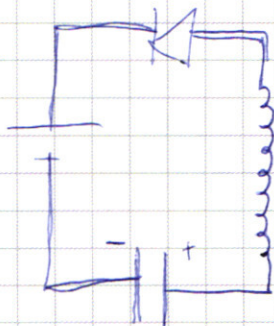
$$54 - 40$$

$$\frac{12 + 15}{2} =$$

$$12 + \sqrt{144 + 56}$$

$$x^2 + 12x + 14$$

2)



$$\frac{q}{C} = E + U_0$$

$$-qE = \frac{q^2 - q_0^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}$$

$$E = -U_0 + \frac{q}{C} \Rightarrow q = C(E + U_0)$$

$$-\frac{2C}{L}(E^2 + U_0 E) = -\frac{CU_1^2}{L} + \frac{C(E + U_0)^2}{L} + \frac{LI^2}{L}$$

$$-2CE^2 - 2CU_0 E = -CU_1^2 + CE^2 + CU_0^2 + 2CU_0 E + LI^2$$

$$LI^2 = C(-2E^2 - 2U_0 E + U_1^2)$$

$$\frac{q_0^2 - q^2}{2C} = qE + \frac{LI^2}{2}$$

$$LI^2 = -2CE^2 - 2CU_0 E - \frac{CU_0^2}{2} + \frac{C(E + U_0)^2}{2} = CE^2 + CU_0^2 + 2CU_0 E$$

~~ИИИ~~

$$q = C(E + U_0)$$

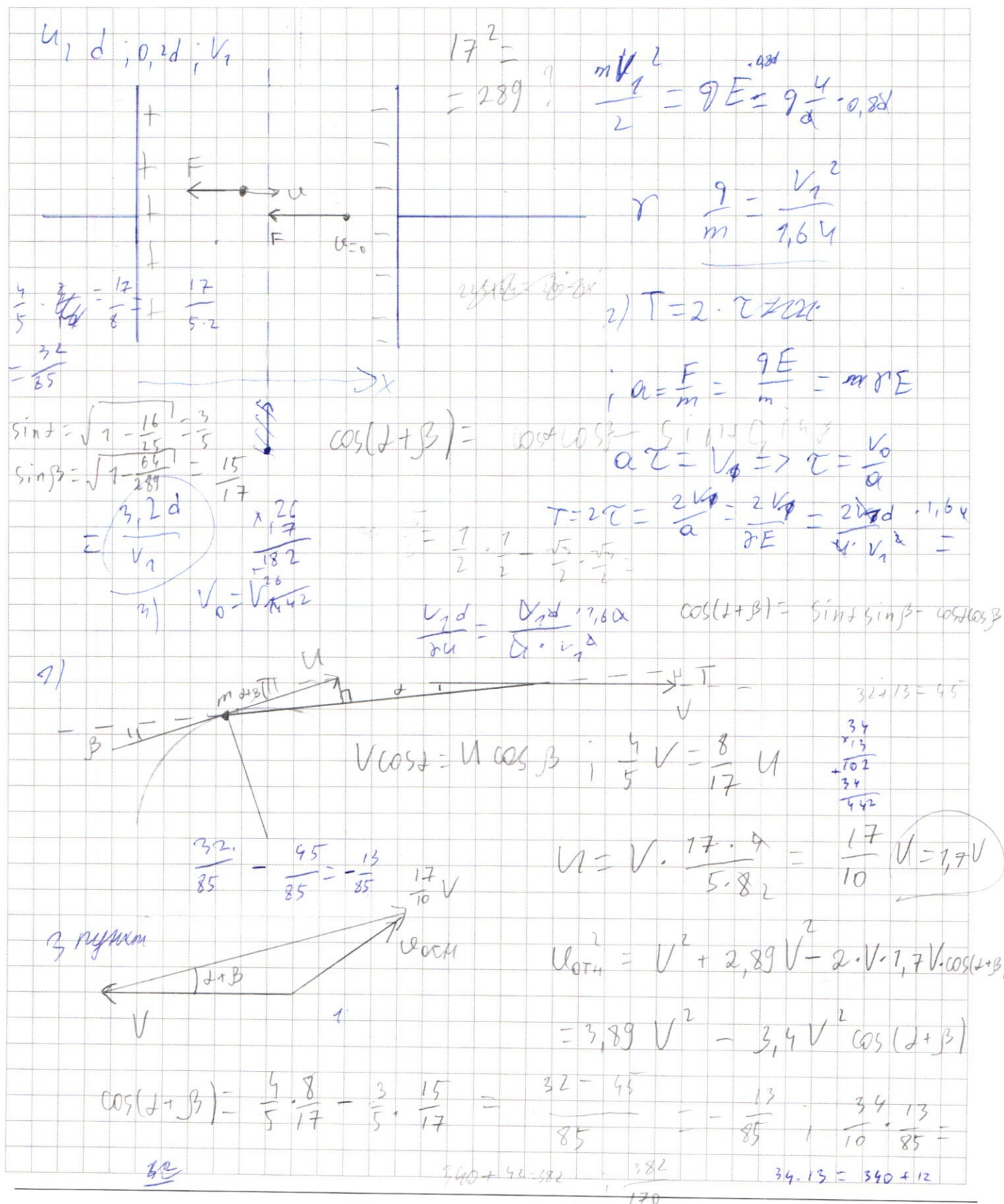
$$\frac{q_0^2 - q^2}{2C} = qE + \frac{LI^2}{2}; \quad LI^2 = -2CE^2 + 2CEU_0 + \frac{CU_1^2}{2}$$

$$= -2CE^2 + 2CEU_0 + CU_1^2 - CE^2 - CU_0^2 - 2CU_0 E = \frac{C(E + U_0)^2}{2}$$

$$= C(U_1^2 - 3E^2 - U_0^2) = 0$$

$$I = \sqrt{\frac{C}{L} (U_1^2 - 3E^2 - U_0^2)} = \sqrt{\frac{10^{-6}}{0,4} \cdot (8^2 - 1 - 3)}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U_{omn} = \frac{389}{100} V^2 + \frac{382}{170} V^2 \cdot \frac{4 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{3 \cdot 15}{5 \cdot 17} = \frac{32 - 45}{85} = -\frac{13}{85}$$

$$\frac{4}{5} V = \frac{8}{17} U \Rightarrow U = V \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{10} = 1,7$$

$$U_{omn}^2 = 3,89 V^2 + 2 \cdot 1,7 \cdot \frac{13}{85} V^2 = V^2 \left(3,89 + \frac{3 \cdot 4 \cdot 13}{85} \right) =$$

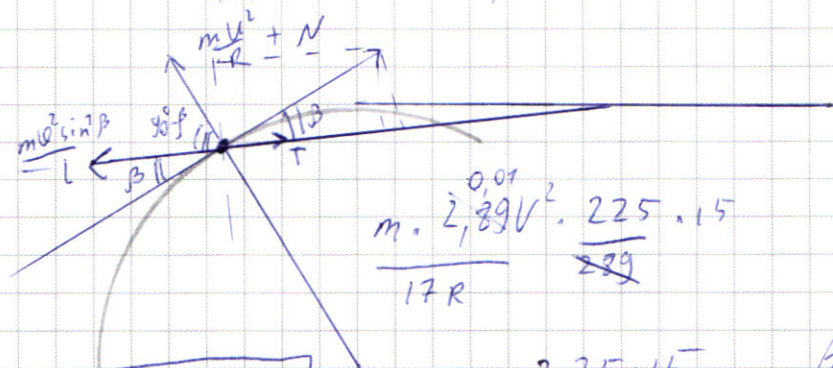
$$= V^2 \left(\frac{389}{100} + \frac{442}{850} \right) = V^2$$

$$\begin{array}{r} 17 \\ \times 12 \\ \hline 119 \\ 17 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 34 \cdot 13 = \\ 34 \\ \times 13 \\ \hline 102 \\ 34 \\ \hline 442 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1000 \overline{) 85} \\ - 85 \overline{) 11} \\ \hline 150 \\ - 85 \\ \hline 650 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 227 \\ \times 85 \\ \hline 425 \end{array}$$



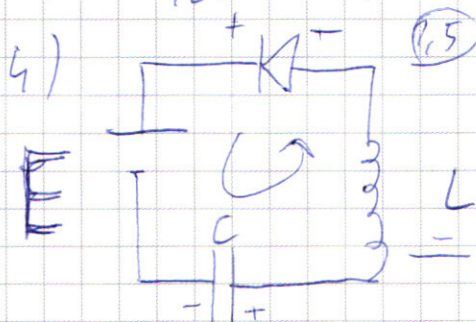
$$\frac{m \cdot \frac{0,01}{17R} \cdot 2,89 V^2 \cdot \frac{225 \cdot 15}{289}}{17R}$$

$$\frac{mU^2 \sin^2 \beta}{L} \cos \beta + \frac{mU^2}{R} \sin \beta + U \sin \beta = T \cos \beta$$

$$\frac{mU^2}{L} \sin^3 \beta + \frac{mU^2}{R} + N$$

$$\sqrt{3,89 + \frac{227}{425}}$$

$$\frac{2,25 \cdot 15}{17R}$$



$$-LI + E = U_1$$

$$\frac{U_1 - E}{L} =$$

$$-LI + E = U_1 + U_0$$

$$\dot{I} = \frac{E - U_1 + U_0}{L}$$

$$\frac{2,25 \cdot 15 \cdot 4}{17 \cdot 7,9} \approx$$

$$\frac{4 \cdot 0,4 \cdot 2,25 \cdot \frac{1}{17}}{1,9} = \frac{U_1 + U_0}{1,9 \cdot 17}$$

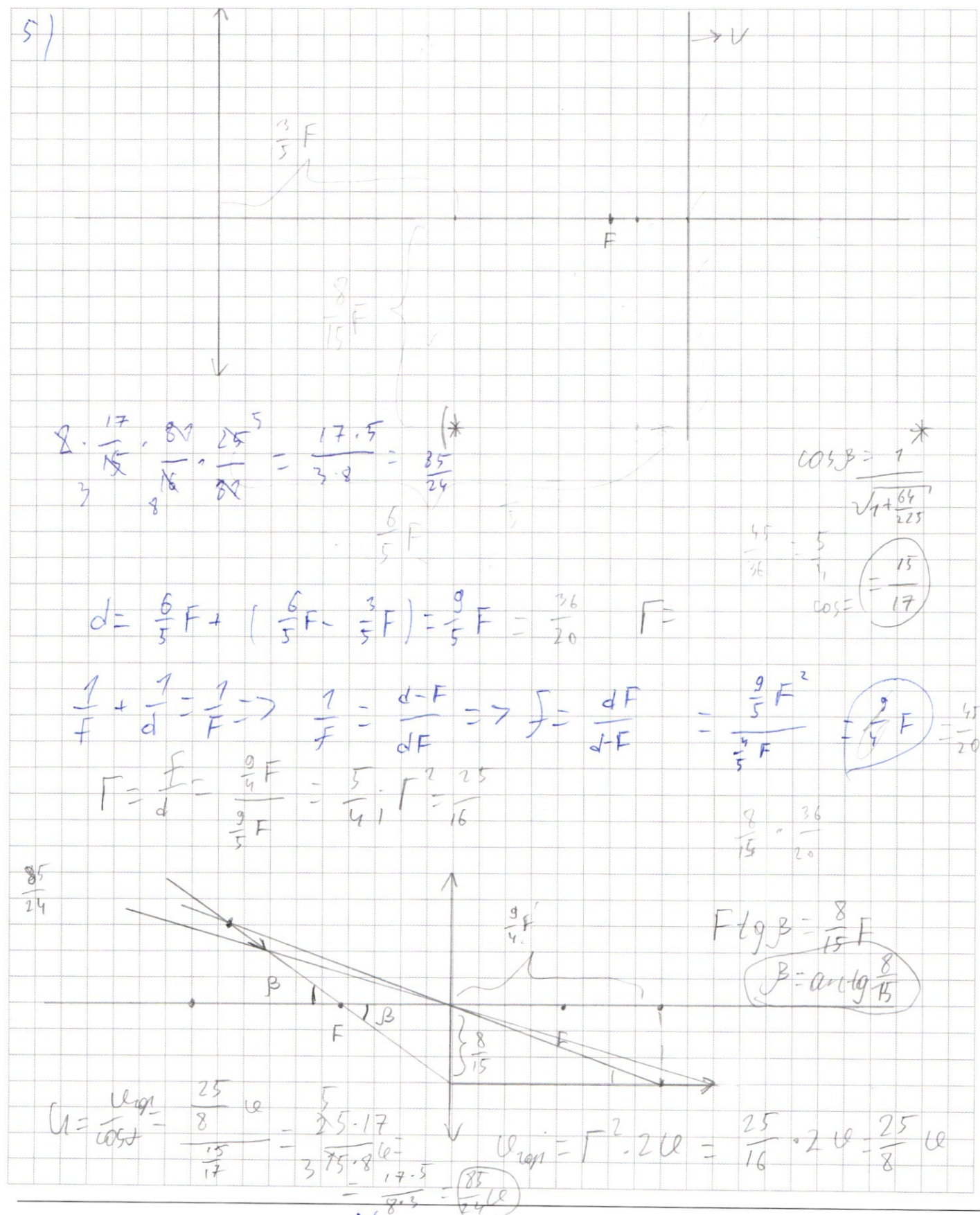
$$E + LI = U_1 + U_0; \quad \dot{I} = \frac{U_1 + U_0 - E}{L}$$

$$\frac{1,6 \cdot 2,25 \cdot 15}{1,9 \cdot 17}$$

$$E + LI = U_1 - U_0; \quad \dot{I} = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{2}{0,4} = \frac{20}{4} = 5 \frac{A}{C}$$

$$\underline{2,25}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



2) $1 \rightarrow 3$: $p = \pm V$; $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$; $1-2$ процесс

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$; $2 \rightarrow 3$: увеличивается ; $3 \rightarrow 1$ уменьшается

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{C_v + R}{C_v} = \frac{\frac{3}{2}R + R}{\frac{3}{2}R} = \left(\frac{5}{3}\right)$$

а) $\frac{\Delta U}{A} = ?$ $A = \int p dV = \int \pm V dV = \frac{\pm}{2} (V_2^2 - V_1^2)$; $\Delta T = \Delta(PV)$

$$\Delta U = C_v \Delta T = \underline{C_v} \cdot \frac{\Delta(PV)}{\Delta R} = \frac{C_v}{R} \cdot \left(\frac{\pm}{2} (V_2^2 - V_1^2)\right) \Delta T = \frac{\Delta(PV)}{\Delta R}$$

$$= \underline{\frac{3}{2} A}$$

3) $\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} = 1 - \frac{T_x}{T_n}$; $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$;

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{\pm V_1^2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{\pm V_2^2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

$$\frac{V_1}{V_2} =$$