

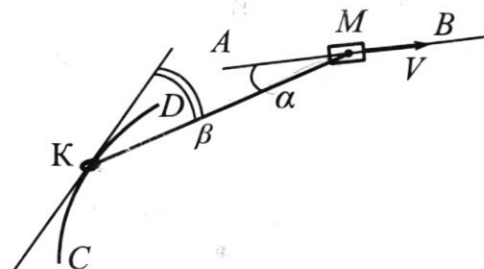
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 11

Вариант 11-04

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

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.



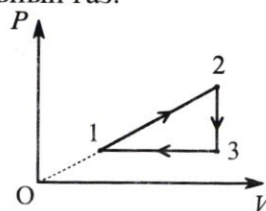
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

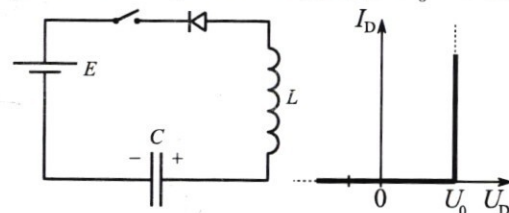
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

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.

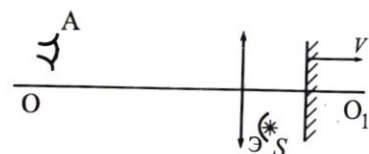


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

N 1

Дано:

$$v = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 0,4 \text{ кг}$$

$$R = 1,9 \text{ м}$$

$$l = \frac{17R}{5}$$

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

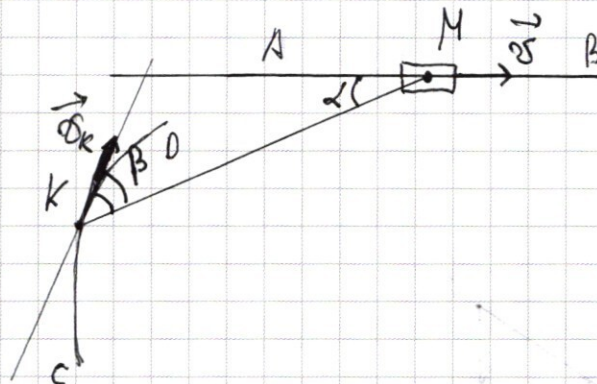
$$\cos \beta = \frac{8}{17}$$

1) v_k - ?

2) $v_{\text{отн}}$ - ?

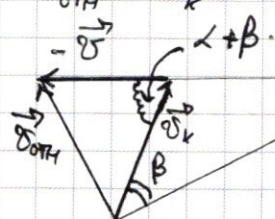
3) T - ?

Решение:



1) Проекции, то проекции $\vec{v}$ и $\vec{v}_k$ на трое
равны, т.е. $v_k \cos \beta = v \cos \alpha \Rightarrow v_k = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} =$
 $= 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

2) $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_k - \vec{v}$



$$v_{\text{отн}} = \sqrt{v^2 + v_k^2 - 2vv_k \cos(\alpha + \beta)}$$

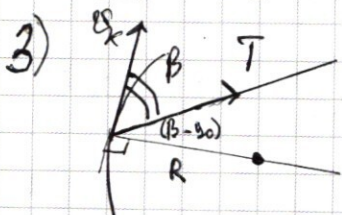
(по т. косинусов)

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

$$= \frac{32 - 45}{5 \cdot 17} = -\frac{13}{5 \cdot 17}$$

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{2^2 + \left(\frac{17}{5}\right)^2 - 2 \cdot 2 \cdot \frac{17}{5} \cdot \frac{13}{5 \cdot 17}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25 + 17^2 + 4 \cdot 13}{25}} =$$

$$= \sqrt{\frac{441}{25}} = \frac{21}{5} = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



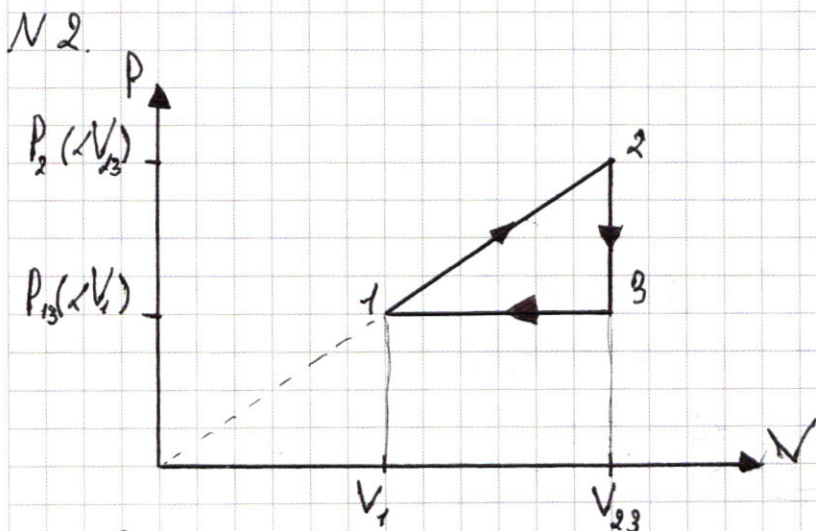
камень движется по дуге
окружности, значит её скорость
перпендикулярна радиусу окружности
 $m \frac{v^2}{R} = T \cos(\beta - \alpha)$ (т.к. движение вызвано силой
натяжения нити).

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

$$T = \frac{m v^2}{R \sin \beta} = \frac{0,4 \text{ кг} \cdot \left(\frac{17,1}{5} \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{1,9 \text{ м} \cdot \frac{18}{17}} = 4 \cdot \frac{17}{25} \cdot \left(\frac{17 \cdot 17}{19 \cdot 15}\right) =$$

$$= \frac{68}{25} \cdot \frac{289}{285} \approx 2,72 \text{ Н}$$

- Order: 1) $v_k = 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
 2) $v_{\text{котн}} = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
 3) $T = 2,72 \text{ Н}$.



1) Отрезок 2-3.

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}, \quad A_{23} = 0 \text{ (изохора)}$$

~~$$Q_{23} = \frac{i}{2} J R \Delta T_{23}$$~~

$$Q_{23} = \frac{i}{2} J R \Delta T_{23} \Rightarrow C_v = \frac{Q}{J \Delta T_{23}} = \frac{\frac{i}{2} J R \Delta T_{23}}{J \Delta T_{23}} = \frac{i}{2} R$$

Отрезок 3-1.

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \text{ (изобара)}$$

$$Q_{31} = \frac{i}{2} J R \Delta T_{31} + P \Delta V = \frac{i}{2} J R \Delta T_{31} + J R \Delta T_{31} = \frac{i+2}{2} J R \Delta T_{31}$$

$$C_p = \frac{Q_{31}}{J \Delta T_{31}} = \frac{\frac{i+2}{2} J R \Delta T_{31}}{J \Delta T_{31}} = \frac{i+2}{2} R$$

$$\frac{C_v}{C_p} = \frac{\frac{i}{2} R}{\frac{i+2}{2} R} = \frac{i}{i+2} = \frac{3}{3+2} = \frac{3}{5} \text{ (для одноатомного газа } i=3 \text{)}$$

2) $P_2 V_{23} = J R T_2$ $\Rightarrow V_{23}^2 = J R T_2$ $\Rightarrow J R T_2 = V_{23}^2$
 $P_1 V_1 = J R T_1$ $\Rightarrow V_1^2 = J R T_1$ $\Rightarrow J R T_1 = V_1^2$

$$A_{12} = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot (V_{23} - V_1) = \frac{V_{23}^2 - V_1^2}{2} \text{ (площадь под трапецией)}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ком 1-2).

$$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} R \Delta T_{12} = \frac{i}{2} \cdot (\lambda (V_{23}^2 - V_1^2))$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{i}{2} \cdot \lambda (V_{23}^2 - V_1^2) \cdot 2}{\lambda (V_{23}^2 - V_1^2)} = i = 3.$$

$$3) A_{\text{пол}} = (V_{23} - V_1) \cdot (P_2 - P_{13}) \cdot \frac{1}{2} = \frac{\lambda (V_{23}^2 - V_1^2)}{2} \quad (\text{площадь треугольника})$$

$$Q_{\text{загр}} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{i}{2} \cdot \lambda (V_{23}^2 - V_1^2) + \frac{1}{2} \cdot \lambda (V_{23}^2 - V_1^2) =$$

$$= \frac{1+i}{2} \cdot \lambda (V_{23}^2 - V_1^2)$$

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{загр}}} \cdot 100\% = \frac{\frac{1}{2} \lambda (V_{23}^2 - V_1^2)}{\frac{1+i}{2} \lambda (V_{23}^2 - V_1^2)} \cdot 100\% = \frac{1}{i+1} \cdot \frac{V_{23} - V_1}{V_{23} + V_1} \cdot 100\%$$

$$\frac{V_{23} - V_1}{V_{23} + V_1} \leq 1 \quad (\text{т.к. } (V_{23} - V_1) \leq (V_{23} + V_1)) \Rightarrow \eta_{\text{max}} \text{ при } \frac{V_{23} - V_1}{V_{23} + V_1}$$

$$\text{т.е. } \eta_{\text{max}} = \frac{1}{i+1} \cdot 100\% = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_v}{C_p} = \frac{3}{5}$;

2) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$;

3) $\eta_{\text{max}} = 25\%$.

№3.

Дано:

d

U

σ_1

0,2d

1) $\gamma = \frac{121}{m} - ?$

2) $\gamma - ?$

3) $\sigma_0 - ?$

Решение:

1) $\frac{m \sigma_1^2}{2} = 121 \cdot U \cdot \frac{d-0,2d}{5}$

$\frac{m \sigma_1^2}{2} = 121 \cdot U \cdot \frac{4d}{5} \Rightarrow \gamma = \frac{121}{m} = \frac{5 \sigma_1^2}{8 U}$

2) $\Delta W_k = A \cdot \left(\frac{m \sigma_1^2}{2} \right) = 121 U \cdot dx$

$m \sigma_1 \cdot d\sigma_1 = 121 U \cdot dx \cdot \left| \cdot \frac{1}{dx} \right|$

$m \sigma_1 \cdot a = 121 \cdot U \cdot \sigma \Rightarrow a = \frac{121 U}{m} = \frac{5 \sigma_1^2}{8 m}$

~~$\sigma_0 = \sigma_1 \cdot \frac{1}{2}$~~

~~0.8F~~

$$0 = v_1 - at \Rightarrow t = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1 \cdot 8m}{5v_1^2} = \frac{8m}{5v_1}$$

Ситуации влета и вылета симметричны,
тогда $T = 2t = \frac{16m}{5v_1}$

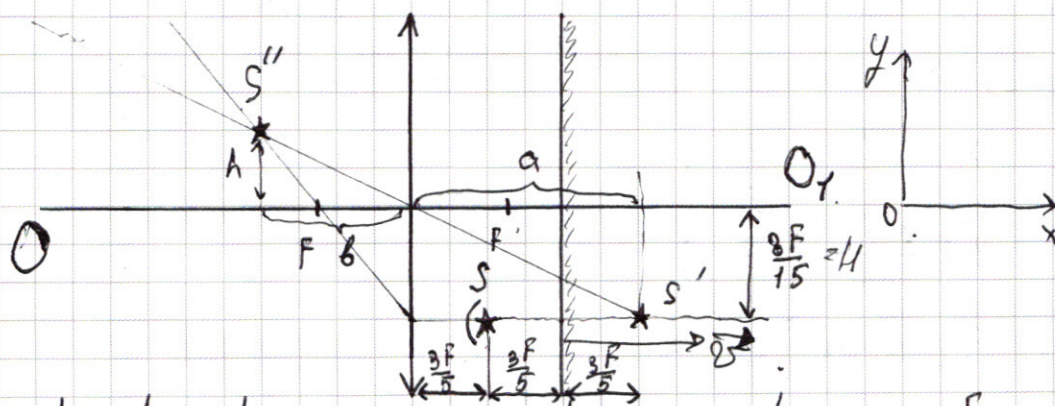
3) вне конденсатора поле нет, т.е. после вылета. Частицы из конденсатора на нее силы не действуют, а значит скорость сохраняется, тогда $v_0 = v_1$

Ответ: 1) $\gamma = \frac{121}{m} = \frac{5v_1^2}{8u}$;

2) $T = \frac{16m}{5v_1}$;

3) $v_0 = v_1$.

N5



$$1) \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow b = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{a}} = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{5}{9F}} = \frac{9F}{4}$$

$$2) \frac{1}{a+2v_1 dt} + \frac{1}{b+u_x dt} = \frac{1}{F}$$

$$(b + u_x dt + a + 2v_1 dt) F = ab - a u_x dt + 2v_1 b dt + 2u_x v_1 (dt)^2 \rightarrow 0$$

$$\left(\frac{9F}{4} + u_x dt + \frac{9F}{5} + 2v_1 dt\right) F = \frac{9F}{4} \cdot \frac{9F}{5} + \frac{9F}{5} u_x dt + 2v_1 \cdot \frac{9F}{4} dt$$

$$\frac{81}{20} F + u_x dt + 2v_1 dt = \frac{81}{20} F + \frac{9}{5} u_x dt + \frac{9}{2} v_1 dt$$

$$u_x + 2v_1 = \frac{9}{5} u_x + \frac{9}{2} v_1 \Rightarrow u_x = -\frac{25}{8} v_1$$

$$\Gamma_1 = \frac{H}{h_H} = \frac{a}{b}$$

$$\Rightarrow h = \frac{b}{a} H = \frac{\frac{9F}{5}}{\frac{9F}{4}} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{5}{4} \cdot \frac{8}{15} F = \frac{2}{3} F$$

$$F_2 = \frac{h_H}{h + u_x dt} = \frac{a + 2v_1 dt}{b + u_x dt}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

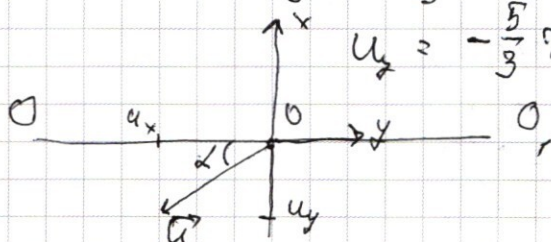
~~17.8. ah + au_y dt~~

$$Hb = H u_x dt = ah + 2vsh dt + au_y dt + 2v u_y (dt)^2 \rightarrow 0$$

$$\frac{8F}{15} \cdot \frac{9F}{4} + \frac{8F}{15} \cdot \left(-\frac{25}{8}v\right) dt = \frac{9F}{5} \cdot \frac{2}{3}F + 2v \cdot \frac{2}{3}F \cdot dt + \frac{9F}{5}F \cdot dt$$

$$-\frac{5}{3}v = \frac{4}{3}v + \frac{9}{5}u_y$$

$$u_y = -\frac{5}{3}v$$



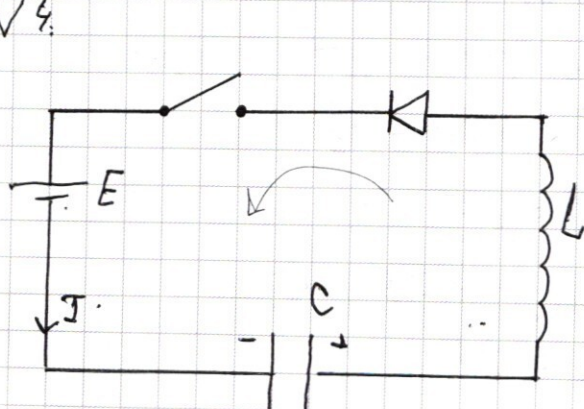
$$\alpha = \arctg \frac{u_y}{u_x} = \arctg \frac{\frac{5}{3}v}{\frac{25}{8}v} = \arctg \frac{8}{15}$$

$$3) u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{\left(\frac{25}{8}v\right)^2 + \left(\frac{5}{3}v\right)^2} = v \sqrt{\frac{25^2 \cdot 9 + 25 \cdot 8^2}{8^2 \cdot 3^2}} =$$

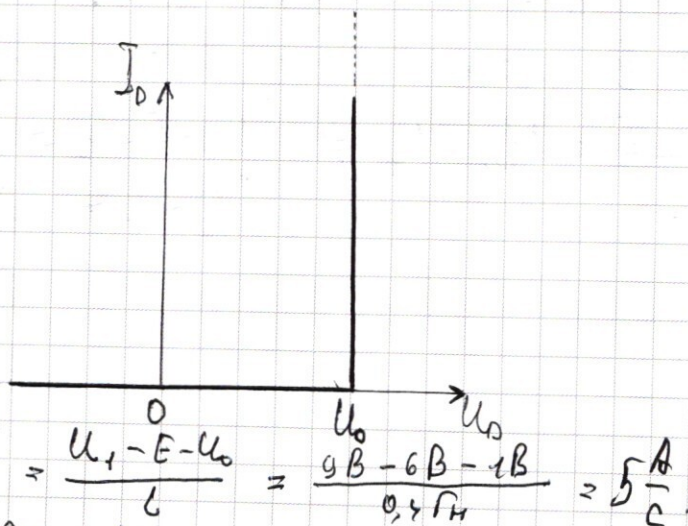
$$= v \sqrt{\frac{25(25 \cdot 9 + 64)}{8^2 \cdot 3^2}} = v \sqrt{\frac{25 \cdot 289}{8^2 \cdot 3^2}} = v \frac{5 \cdot 17}{8 \cdot 3} = \frac{85}{24}v$$

Ответ: 1) $b = \frac{9F}{4}$;
2) $\alpha = \arctg \frac{8}{15}$;
3) $u = \frac{85}{24}v$.

N 4.



I_0



$$1) -E = -U_1 + U_0 + L \frac{dI}{dt} \Rightarrow I = \frac{dI}{dt} = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{9V - 6V - 1V}{0,4 \text{ Гн}} = 5 \frac{A}{c}$$

$$2) \frac{CU_1^2}{2} = \frac{1}{2} I^2 + \frac{CU_0^2}{2} - Eq, \quad q = CU_1 - CU_0$$

$$\frac{C u_1^2}{2} = \frac{C u^2}{2} + \frac{L I^2}{2} - E(C u_1 - u)$$

$$\frac{L I^2}{2} = \frac{E(C u_1^2 - u^2)}{2} + E(C u_1 - u)$$

$I = \sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 - u)(u_1 + u + 2E)$ - максимально, когда $(u_1 - u)(u_1 + u + 2E)$ максимально $(u_1 - u)(u_1 + u + 2E)$.

1) $I = \frac{u - E - u_0}{L}$, ток растёт, пока $I' \geq 0$, т.е. $\frac{u - E - u_0}{L} \geq 0 \Rightarrow u \geq E + u_0 \Rightarrow u \geq 7В$, значит максимальный ток при $u = 7В$ (до $u = 7В$ I растёт, а после падает, что следует из знака производной).

$$\frac{C u_1^2}{2} = \frac{C u^2}{2} + \frac{L I_{max}^2}{2} - E(C u_1 - u)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 - u) + \frac{2 E C}{L} (u_1 - u)$$

2) $\frac{C u_1^2}{2} = \frac{C u^2}{2} + \frac{L I^2}{2} - E(C u_1 - u)$
 $I = \sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 - u)(u_1 + u + 2E)$, максимально, если $(u_1 - u)(u_1 + u + 2E)$ максимально $(u_1 - u)(u_1 + u + 2E) = -u^2 + 2Eu_1 + u_1(u_1 + 2E)$ - парабола, ветви вниз, то максимум в вершине $u = -\frac{-2E}{2} = -E$, тогда
 $I_{max} = \sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 + E)^2 = \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot 9}{0,4 \cdot 10^{-3}}} (9В + 6В)^2 = 0 \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot 15^2}{4}} = 10^{-2} \cdot \frac{15}{4} = 3,75 \cdot 10^{-2} А = 37,5 мА$

3) В установившемся режиме тока нет, тогда $-E = u_2 + u_0 \Rightarrow u_2 = E - u_0 = -6В - 1В = -7В$

- Ответ: 1) $I' = 5 \frac{А}{с}$;
 2) $I_{max} = 37,5 мА$;
 3) $u_2 = 7В$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Handwritten calculations and diagrams on grid paper:

Top left:
$$\left(\frac{17^2 - 8^2}{2} + \frac{cu^2}{2} - \frac{cu^2}{2 \cdot 8.5} \right) = \frac{17^2 - 8^2}{2} = 58$$

Top right:
$$17^2 - 8^2 = (17-8)(17+8) = 9 \cdot 25 = 225$$

Middle left:
$$\frac{m v_1^2}{2} = U \cdot \frac{4}{5} \cdot 2$$

Middle right:
$$\frac{q}{m} = \frac{84}{5 V_1}$$

Bottom left:
$$T = 0,4 \cdot \left(\frac{17}{5} \right) \cdot \frac{17}{15} \cdot \frac{1}{1,5} = 1,4 \cdot \frac{17}{5} \cdot \frac{17}{15}$$

Bottom right:
$$\frac{17}{15} \cdot \frac{17}{15} = \frac{289}{225}$$

Diagrams: Several diagrams showing particle paths and interactions, including a central vertical line with arrows pointing left and right, and a circular diagram with a central dot and arrows pointing outwards.

$$\frac{mv^2}{2} + U \cdot x = \text{const}$$

$$\frac{LJ_m^2}{2} = \frac{cu^2}{2} + Ecu$$

$$\frac{1}{\delta + 2054t} + \frac{3F + 4u}{\delta} = \frac{1}{\delta}$$

$$J_m = \sqrt{\frac{c}{L} u^2 + \frac{2Ecu}{L}}$$

$$J_m = \sqrt{\frac{10^{-6}}{0,4} \cdot 9^2 + \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot 9}{0,4}} = \sqrt{\frac{10^{-6}}{4} (81 + 12 \cdot 9)}$$

$$\frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) = q(U \cdot dx)$$

$$\frac{m \cdot 985 \cdot 10^3}{2} = q \cdot U \cdot dx$$

$$\frac{dx}{dt} = a$$

$$mv \cdot dv = qU \cdot dx$$

$$mv \cdot a = qU \cdot v$$

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

$$\frac{LJ_m^2}{2} = \frac{cu^2}{2} + E \cdot cu \quad E = \frac{dU}{dx} = \frac{q}{2\epsilon}$$

$$J_m = \sqrt{\frac{c}{L} u^2 + \frac{2Ecu}{L}} \quad E = -U_1 + U_2 - (2)$$

$$\left(\frac{LJ}{2} + \frac{cu^2}{2} \right) - \left(\frac{cu_1^2}{2} \right) = -E \cdot (U_1 - U_2)$$

$$\frac{cu_1^2}{2} - cu_2^2 = -E \cdot (U_1 - U_2)$$

$$\frac{588}{6}$$

$$\frac{85(95 \cdot 9 \cdot 1)}{1}$$

$$\frac{9}{95} + \frac{1}{95} = \frac{10}{95}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

6.23

$$\frac{cu_1^2}{2} = \frac{U^2}{2} - \frac{cu^2}{2} + E \cdot l = \frac{U^2}{2} - \frac{cu^2}{2} + \sqrt{(U-E)(U+U)}$$

$$q = (cu - cu)$$

$$\frac{cu_1^2}{2} - cu E$$

$$cu \left(\frac{u_1}{2} - E \right)$$

$$\frac{U^2}{2} - cu U_1 - \frac{cu_1^2}{2}$$

$$I = \sqrt{\frac{cu_1^2}{L} + \frac{2cuU_1}{L}} = \sqrt{cu_1 \frac{cu_1}{L} (U_1 + 2E)} = \frac{11}{1}$$

$$= \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot 9}{0,4} \left(\frac{2}{3} + 12 \right)} = \sqrt{\frac{10^{-4} \cdot 9}{4} \cdot 14} = \frac{10^{-2} \cdot 3}{2} \cdot 1,5$$

$$\frac{45}{2} \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$22,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$\frac{cu_1 - cu}{2} = \frac{E(U_1 - U)}{2}$$

$$I = \sqrt{\frac{e \cdot U}{L}}$$

$$u = \frac{U - E - U_0}{L}$$

$$u - E - U_0 \geq 0$$

$$u \geq E + U_0$$

$$\frac{c}{2} (u_1 - u) (u_1 + u + 2E)$$

$$\frac{3 \cdot 5}{10} \cdot (5 - 7) (5 + 7 + 19)$$

$$\frac{10^4 \cdot 2 \cdot 88}{10^4 \cdot 2 \cdot 88}$$

$$-4 \cdot 2 \cdot E + u_1 \cdot -2E$$

$$\frac{10^5 \cdot 2 \cdot 4}{10^5 \cdot 2 \cdot 4}$$

$$\frac{16}{21} \cdot \frac{88}{28}$$

$$(21 + 7 + 19)$$

$$10^4 \cdot 2 \cdot 88$$

$$(u_1 + E) (u_1 + E) \cdot \frac{c}{2}$$

$$\frac{10^4 \cdot 17}{4}$$

$$\frac{u_1 - u_1 + 2E}{2} \cdot E$$