

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

Вариант 11-07

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

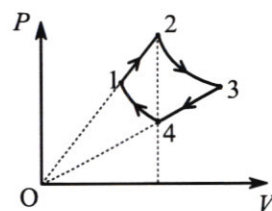


1. Шарик подвешен в поле тяжести на легкой упругой пружине с неизвестной жесткостью. Шарик поднимают вверх до положения, когда пружина не деформирована, и отпускают. При дальнейшем движении шарика вдоль вертикали в некоторые моменты времени силы, действующие на шарик со стороны пружины, отличаются в 3 раза, а модули ускорений равны.

- 1) Найти модуль ускорения в эти моменты.
- 2) Найти отношение кинетических энергий шарика в эти моменты.
- 3) Найти отношение максимальной энергии деформации пружины к максимальной кинетической энергии шарика.

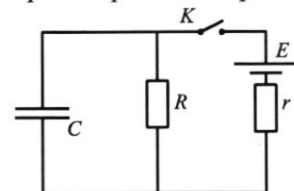
2. Идеальный одноатомный газ из состояния 1 с температурой T_1 расширяется в процессе 1-2 прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V . В процессе 1-2 объем газа увеличивается в $k = 1,8$ раза. Затем газ расширяется в изотермическом процессе 2-3, сжимается в процессе 3-4 прямо пропорциональной зависимости давления от объема и сжимается в изотермическом процессе 4-1. Объемы газа в состояниях 2 и 4 равны.

- 1) Найти температуру газа в процессе 2-3.
- 2) Найти отношение давлений в состояниях 1 и 3.
- 3) Найти молярную теплоемкость газа в процессе 1-2.



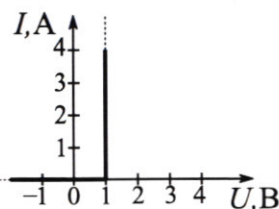
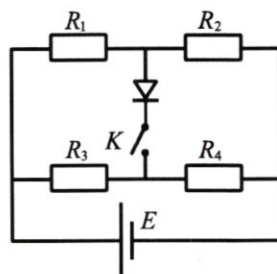
3. В электрической цепи (см. рис.) все элементы идеальные, конденсатор не заряжен. Величины E, R, C известны, $r = 3R$. Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают, когда скорость роста энергии конденсатора максимальна.

- 1) Найти ток, текущий через источник, сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти ток, текущий через конденсатор, непосредственно перед размыканием ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



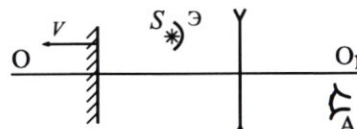
4. В цепи используется мостовая схема (см. рис.). ЭДС идеального источника $E = 8$ В, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 2$ Ом. Вольтамперная характеристика диода показана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

- 1) Найти ток через резистор R_3 при разомкнутом ключе K .
- 2) При каких значениях R_1 ток потечет через диод при замкнутом ключе K ?
- 3) При каком значении R_1 мощность тепловых потерь на диоде будет равна $P_D = 2$ Вт?



5. Оптическая система состоит из тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $-F$ ($F > 0$), 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 линзы OO_1 . Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии F от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/2$ от линзы.

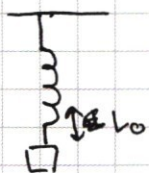
- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

l_0 - начальная деформация



$$mg = k l_0$$

$$m\ddot{a} = mg - kl$$

$$|ma| = |mg - kl| \Rightarrow m|a| = |mg - kl|$$

$$mg - kl_1 = 3kl_1 - mg$$

$$kl_1 = \frac{mg}{2}$$

$$ma_1 = \frac{mg}{2}$$

1)

$$a_1 = g/2$$

Ответ: $a_1 = g/2$

$$l_1 = l_0/2$$

$$l_2 = 3l_0/2$$

$$\frac{k l_0^2}{2} = \frac{k l_1^2}{2}$$

$$x_1 = l_1 - l_0 = -l_0/2$$

$$x_2 = l_2 - l_0 = l_0/2$$

$$E_1 + \frac{k x_1^2}{2} = \frac{E_2}{2} + \frac{k x_2^2}{2} = \frac{k l_0^2}{2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 1$$

2) Ответ: 1

$$W_{\text{деп}} = \frac{m \cdot (2l_0)^2}{2}$$

$$W_{\text{кин}} = \frac{m l_0^2}{2}$$

$$\frac{W_{\text{деп}}}{W_{\text{кин}}} = 4$$

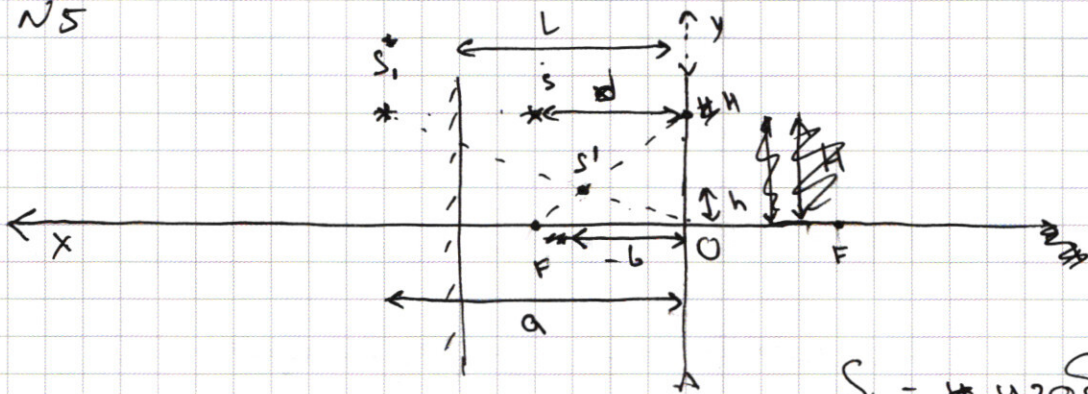
3) Ответ: 4

x - отклонение
относительно
равновесия

E - кинет. энергия

(т.к. максимальное отклонение
будет при откл. от равновесия
на $l_0 \Rightarrow$ растяжении на $2l_0$)

N5



S_1 - изображение в зеркале

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{F}$$

$$a = 2L - \cancel{L} = 3F - F = 2F$$

$$a_0 = 2F$$

$$U = \frac{da}{dt} = 2V$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{F}$$

$$b = \frac{aF}{a+F}$$

$$b_0 = \frac{2F}{1+2} = 2 \cancel{1} \cancel{2} F \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{3} F$$

1) Ответ: $\frac{2}{3} F$

$$\frac{db}{dt} = \frac{\frac{da}{dt} F(a+F) - \frac{da}{dt} \cdot aF}{(a+F)^2} = \frac{2VF(2a+F)}{(a+F)^2} = \frac{2VF^2}{(a+F)^2}$$

$$\frac{h}{OH-h} = \frac{F}{a}$$

(По подобию треугольников

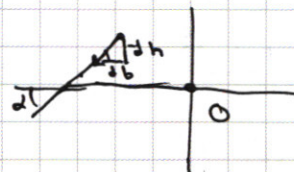
$S_1 H S' \sim O S F$)

(на узлам)

$$ah = FHO - Fh$$

$$h = \frac{FHO}{a+F}$$

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{F \frac{da}{dt}}{(a+F)^2} = - \frac{2VF \cdot OH}{(a+F)^2}$$



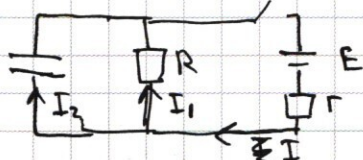
$$\tan \alpha = \frac{dh/dt}{db/dt} = \frac{2VF \cdot OH}{2VF(2a+F)} = \frac{OH}{2a+F} = \frac{3}{4}$$

2) Ответ: $\tan \alpha = 3/4$

$$3) U = \sqrt{\left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + \left(\frac{db}{dt}\right)^2} = \frac{2VF}{(a+F)^2} \sqrt{(a+F)^2 + OH^2} = \frac{2VF}{6} \cdot \frac{5}{18} V \quad \text{Ответ: } \frac{5}{18} V$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 3 начало



U - напряжение на конденсаторе

$$CU = q$$

$$I_2 = C \frac{dU}{dt}$$

~~$$E = I_r + I_1 R = I_r + U$$~~

$$I_1 R = U$$

В начале $U_0 = 0$

$$E = I_r + I_1 R$$

~~$$I_0 = I_1 = 0$$~~

~~$$\frac{dU}{dt} \quad I = I_1 + I_2$$~~

$$I_r = E$$

1) Ответ: $I = \frac{E}{r} = \frac{E}{3R}$

~~$$W_k = \frac{CU^2}{2}$$~~

~~$$\frac{dW_k}{dt} = UI_2$$~~

~~$$N_0 = E(I_1 + I_2)$$~~

~~$$I_2 = I - I_1$$~~

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

$$\dot{W}_k = \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} = \frac{qI_2}{C} \quad N_0 = (I_1 + I_2)^2 r + I_1^2 R$$

~~$$\dot{W}_k = \dots$$~~

$$E = I_1 r + I_2 r + I_1 R = \frac{U(r+R)}{R} + Cr \frac{dU}{dt}$$

$$Cr \ddot{U} = E - U \left(\frac{r}{R} + 1 \right)$$

$$\ddot{U} = -U \frac{\left(\frac{r}{R} + 1 \right)}{Cr}$$

$$\ddot{U} = -\alpha U \quad e^{-\alpha t}$$

$$U(t) = U_0 (1 - e^{-\alpha t})$$

$$\boxed{\frac{r+R}{Cr} = \alpha}$$

$$U_0 = \frac{Er}{r+R}$$

~~$$U_0 = \frac{E}{r}$$~~

~~$$U_0 = \frac{ECr}{r+R}$$~~

~~$$U_0 = \frac{Er}{r+R} \quad U_0 = \frac{ECr}{r+R}$$~~

~~$$U_0 = \frac{ECr}{r+R}$$~~

$$I_2(t) = C \frac{dU}{dt} = \alpha C U_0 e^{-\alpha t}$$

$$\frac{dW}{dt} = U(t) \cdot I_2(t) = \alpha C U_0^2 e^{-\alpha t} (1 - e^{-\alpha t}) = \alpha C U_0^2 (-e^{-\alpha t} + e^{-2\alpha t})$$

- параболы ветви вниз (от $e^{-\alpha t}$)

N3 продолжение

Вершина параболы при $e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$ (в ней максимальное значение)

$$I_2 = \frac{C d U_0}{2} = \frac{(r+R) \frac{1}{2} R E}{2 r R (r+R)} = \frac{E}{2r}$$

2) Ответ: $I_2 = \frac{E}{2r} = \frac{E}{6R}$

$$U_{\frac{R}{2}} = \frac{U_0}{2} = \frac{ER}{2(r+R)}$$

$$W_k = \frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2 R^2}{8(r+R)^2} = \frac{CE^2}{16 \cdot 8} = \frac{CE^2}{128}$$

$$Q = W_k \quad (\text{вся энергия конденсатора уйдёт в тепло})$$

3) Ответ: $Q = \frac{CE^2}{128}$

Более подробное объяснение:

$$* \quad \dot{U}(t) = I_0 e^{-\lambda t}$$

$$U(t) = -U_0 e^{-\lambda t} + \text{const}$$

т.к. $U(0) = 0 = -U_0 + \text{const}$

$$\text{const} = U_0$$

$$U(t) = U_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

т.к. при $t \rightarrow \infty$

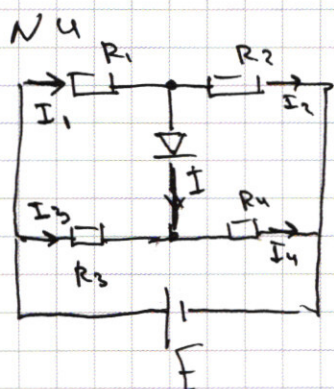
$$U \rightarrow \frac{ER}{r+R} = U_0$$

$$U_0 = \frac{ER}{r+R}$$

~~тогда~~



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E = I_3 (R_3 + R_4)$$

1) Ответ: $I_3 = \frac{E}{R_3 + R_4} = 1 \text{ A}$

U - напряжение на вольтметре $U_n = 1 \text{ B}$

$$U = -I_2 R_3 + I_1 R_1 \neq \neq$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$I_3 = \frac{E}{R_3 + R_4}$$

$$U = E \left(\frac{-R_3}{R_3 + R_4} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$1 \text{ B} = -6 \text{ B} + 8 \text{ B} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \frac{2}{7} \text{ Ом}$$

2) Ответ: $R_1 \leq \frac{2}{7} \text{ Ом}$

$$P_0 = I \cdot U$$

2) Ответ: $R_1 = 5 \text{ Ом}$

$$P_0 = I \cdot U$$

$$I_2 = I_1 - I$$

$$I_4 = I_3 + I$$

$$R_3 I_3 + R_4 (I_3 + I) = E$$

$$R_2 (I_1 - I) + R_1 I_1 = E$$

$$I_1 R_1 + U = R_3 I_3$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$\frac{(R_3 + R_4)}{R_3} (I_1 R_1 + U) = E$$

$$(R_2 + R_1) I_1 = E + R_2 I$$

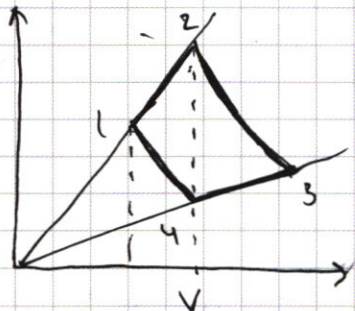
$$I_1 = (8 + 6) / (R_1 + R_2)$$

$$6 \text{ B} = (1 \text{ B} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot 14 \text{ B})$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{5}{7}$$

3) Ответ: $R_1 = \frac{5}{3} \text{ Ом} = 1,67 \text{ Ом}$

N 2



$$p_1 V_1 = 2 R T_1$$

$$p_2 = 1,8 p_1$$

$$V_2 = 1,8 V_1$$

$$T_2 = (1,8)^2 T_1$$

$$p_2 V_2 = 2 R T_2$$

$$p_3 V_3 = 2 R T_2$$

$$p_4 V_4 = 2 R T_1$$

$$p_2 V_2 = p_3 V_3$$

$$p_1 V_1 = p_4 V_4$$

$$V_2 = V_4$$

$$\frac{p_3}{p_4} = \frac{V_3}{V_4}$$

1) Ответ: $T_2 = T_3 = (1,8)^2 T_1 = 3,24 T_1$

$$T_4 = T_1$$

$$V_4 = V_2 = 1,8 V_1$$

$$p_4 = \frac{p_1 V_1}{V_4} = \frac{p_1}{1,8}$$

$$T_4 = T_1$$

$$p_3 V_3 = (1,8)^2 p_1 V_1$$

$$\frac{p_3}{V_3} = \frac{p_4}{V_4} = \frac{V_3}{p_3} = \frac{V_4}{p_4} = (1,8)^2 \frac{p_1}{V_1}$$

$$V_3 \left(\frac{p_1}{V_1} (1,8)^2 \right) = p_1 V_1$$

$$V_3 = V_1$$

$$p_3 (1,8)^2 \frac{p_1 V_1}{p_1 V_1} = (1,8)^2 p_1$$

$$p_3 = p_1$$

2) Ответ: $p_1 : p_3 = 1$

$$\Delta Q = c \Delta T = \frac{3}{2} \frac{3}{2} 2 R \Delta T + \int p dV = \frac{3}{2} 2 R \Delta T + \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1)$$

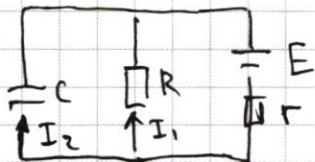
$$= \frac{3}{2} 2 R \Delta T + 1,4 p_1 \cdot 0,8 V_1 = 0,8 \cdot 1,5 + 1,4 \cdot 0,8$$

$$= 2 R T_1 \cdot 2,24 = c \Delta T \cdot 2,24$$

3) Ответ: $c = 2 R$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Черновик



$$CU = q$$

$$I_2 = C \frac{dU}{dt}$$

$$I_1 = \frac{U}{R}$$

$$E = (I_1 + I_2)r + I_1 R = I_1(r + R) + I_2 r$$

$$E = Cr \frac{dU}{dt} + (r + R) \frac{U}{R} = C \frac{dU}{dt} + \frac{(r + R)}{R} U$$

$$Cr \dot{U} = E - \frac{(r + R)}{R} U$$

$$\ddot{U} = -\frac{(r + R)}{RCr} U = -\alpha \dot{U}$$

$$\dot{U} = I_0 e^{-\alpha t}$$

$$\alpha = \frac{r + R}{CR}$$

$$U = -\frac{1}{\alpha} I_0 e^{-\alpha t} + \text{const}$$

$$\alpha I_0 = + \text{const}$$

$$U = U_0 (1 - e^{-\alpha t})$$

$$U(t) = U_0 (1 - e^{-\alpha t})$$

$$t \rightarrow \infty \quad U_0 \rightarrow E \frac{R}{r + R}$$

$$t = 0 \quad \dot{U} = \frac{U_0}{\alpha} = \frac{I_0}{C} = \frac{E}{rC} = \frac{E \cdot R}{r + R} = \frac{E}{C \frac{r}{R}}$$

$$U_0 = \frac{E}{4}$$

$$U = \frac{E}{8}$$

4 EPHOBUR

8 бэ

$$b = \frac{aF}{a+F}$$

$$\frac{db}{dt} = \frac{\frac{da}{dt} F(a+F) - aF \frac{da}{dt}}{(a+F)^2} = \frac{F^2 \frac{da}{dt}}{(a+F)^2}$$

$$ha = F \cdot OH - Fh$$

$$h = \frac{F \cdot OH}{a+F}$$

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{F \cdot OH \frac{da}{dt}}{(a+F)^2} = -\frac{2VF \cdot OH}{(a+F)^2}$$

$$\frac{2VF}{(a+F)^2} \sqrt{F^2 + OH^2} = \frac{5VF^2}{2(a+F)^2} = \frac{5V}{18}$$

$$\frac{2VF}{(a+F)^2} = \frac{2V}{9} \cdot \frac{5}{4}$$

$$\alpha U_0 = \frac{E}{F}$$

$$\frac{1}{Cr} = \frac{1}{R}$$

$$E = I_1(r+R) + I_2 r = U \frac{r+R}{R} = rC \frac{dU}{dt}$$

$$rC \ddot{U} = E - U \frac{r+R}{R}$$

$$\begin{array}{r} \times 2,24 \\ 1,5 \\ \hline 1820 \\ 224 \\ \hline 3360 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,36 \\ 1 \\ \hline \times 1,4 \\ 0,8 \\ \hline 1,12 \end{array}$$

$$\dot{U} = \frac{E}{rC} - U \frac{r+R}{rRc}$$

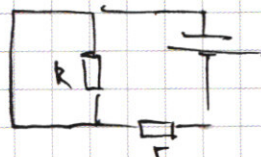
$$\ddot{U} = -\dot{U} \frac{r+R}{rRc}$$

$$\dot{U} = U_0 e^{-\lambda t}$$

$$U(t) = -U_0 e^{-\lambda t} + U_0 = U_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$-U_0 + U_0 = 0$$

U₀



$$I = \frac{E}{r+R}$$

$$U = \frac{ER}{r+R}$$

$$R_1 I_1 + 1B = I_3 R_3$$

$$R_1 \cdot I_1 + (I_1 - 2A) R_2 = 8$$

$$xI_1 + 1 = I_3 \cdot 6$$

$$xI_1 + (I_1 - 2) \cdot 3 = 8$$

$$(x+3)I_1 = 14$$

$$I_3 \cdot 6 + 2 \cdot 2 = 8$$

$$I_3 = \frac{1}{2}$$

$$xI_1 = 2$$

$$(x+3)I_1 = 14$$

$$xI_1 + 1 = I_3 \cdot 6$$

$$xI_1 + I_1(x+3) - 2 \cdot 3 = 8$$

$$I_3 \cdot 6 + 2 \cdot 2 = 8$$

$$I_3 = \frac{1}{2}$$

$$xI_1 = 2$$

$$(x+3)I_1 = 14$$

$$\frac{x}{x+3} = \frac{1}{7}$$

$$7x = x+3$$

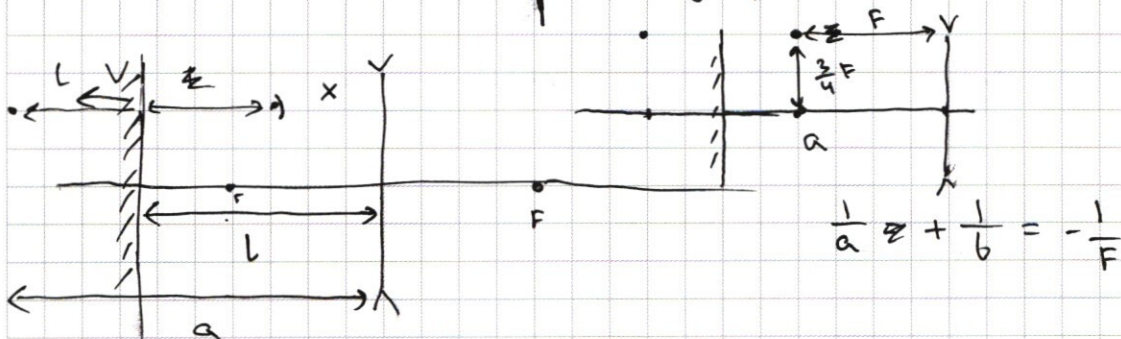
$$x =$$

$$\frac{r+R}{rRc} = \lambda$$

$$\alpha U_0 = \frac{E}{F}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Черновик



$$a = 2l - x$$

$$u = 2v$$

$$\left(\frac{v}{u}\right)' = \frac{v'}{u} + \frac{-u'v}{u^2} = \frac{v'u - u'v}{u^2}$$

$$\frac{2vF}{(a+F)^2} \sqrt{(2a+F)^2 + 0H^2}$$

$$= \frac{2v}{9} \sqrt{9 + \frac{9}{16}}$$

$$\frac{2v}{3} \sqrt{1 + \frac{1}{16}} = \frac{2}{36} v \sqrt{17}$$

ЧЕРНОВИК

$$I_2 = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt}$$

$$E = \cancel{I_1 r} + \cancel{I_2 r} (I_1 + I_2) r + U = U \left(\frac{r}{R} + 1 \right) + I_2 r = U \left(\frac{r}{R} + 1 \right) + C \frac{dU}{dt} r$$

$$\cancel{I_1} + I_2 = E - R I_1 \quad I_1 R = U$$

$$\cancel{C} \frac{dU}{dt} = \frac{E}{R} - \cancel{U} \left(\frac{r+R}{RRC} \right)$$

$$\lambda = \frac{r+R}{RRC}$$

$$\cancel{U} \ddot{U} = -\lambda \dot{U}$$

$$I_2 = CR \frac{dI_1}{dt}$$

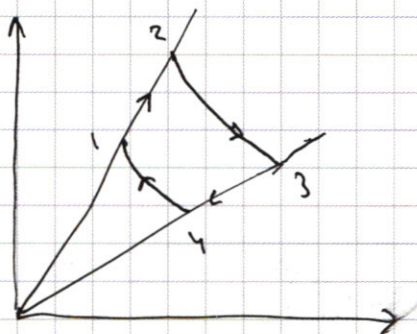
$$E = (I_1 + I_2) r + I_2 R$$

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{acr.}} = E (I_1 + I_2) -$$

$$(2 - 0,2)^2 = 4 (1,2 - 0,1)^2$$

$$0,81 \cdot 4 = \overset{32}{\cancel{16}} 4$$

$$\begin{array}{r} \overset{C}{\times} 1,8 \\ 1,8 \\ \hline 144 \\ 18 \\ \hline 324 \end{array}$$



$$E (I_1 + I_2)$$

$$P_1 V_1 = \gamma R T_1$$

$$1,8 P_1 = P_2$$

$$1,8 V_1 = V_2$$