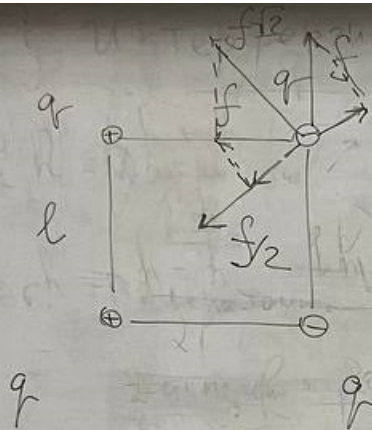


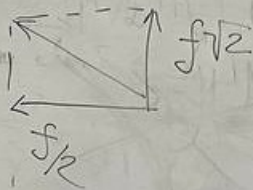
①



q

q

$$F = \frac{3}{2}f = \frac{3}{2}k \frac{q^2}{l^2}$$

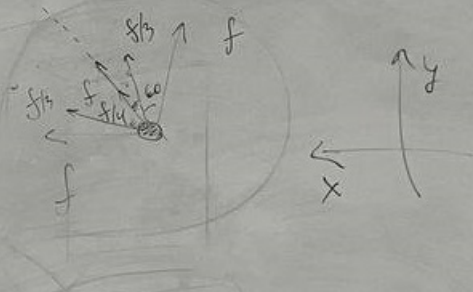
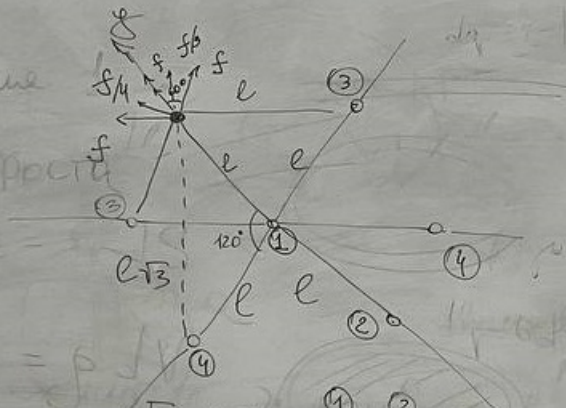


$$(F_{+-})_{\text{net}} = k \frac{q^2}{(l\sqrt{2})^2} = \frac{f}{2}$$

$$F = \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + (f\sqrt{2})^2} = \sqrt{\frac{f^2}{4} + 2f^2} = f\sqrt{2 + \frac{1}{4}}$$

1.2

$$f = k \frac{q_1^2}{l^2}$$



Ог:  $F = F_y = f + \frac{f}{4} + 2 \frac{f}{2} + 2 \frac{f}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = f \left( \frac{9}{4} + \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$

$$E = kQ \left( \frac{x}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \right) = E(x) \rightarrow \frac{dE(x)}{dx} = 0;$$

$$(x^2 + R^2)^{3/2} - \frac{3}{2}(x^2 + R^2)^{1/2} \cdot 2 \cdot x$$

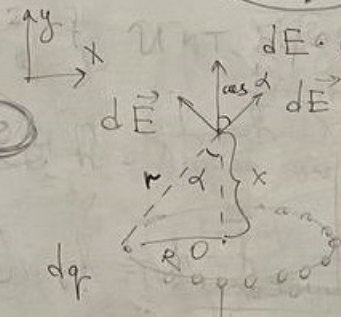
$$\frac{(x^2 + R^2)^3}{x^2 + R^2 - 3x^2} = 0$$

$$E_x = 0$$

$$E = E_y = \oint dE \cos \alpha =$$

$$x = R/\sqrt{2}$$

$E_{\max}$



$dq$

$dq$

$$dE = k \frac{dq}{(x^2 + R^2)}$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}$$

$$r = \sqrt{x^2 + R^2}$$

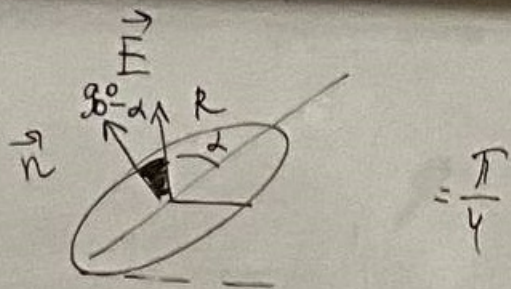
$$dq = \frac{Q}{2\pi R} \cdot dl$$

$$r = \frac{dq}{dl}$$

$$E = k \frac{xQ}{R(x^2 + R^2)^{3/2}} \oint dl$$

$\oint_{2\pi R}$

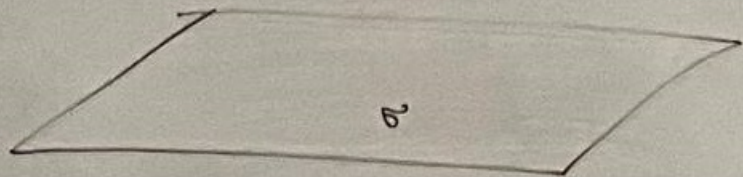
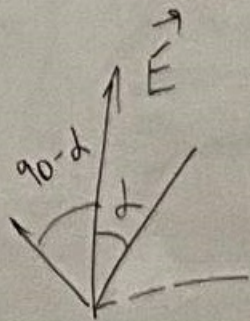
2.1



$$= \frac{\pi}{4}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$\Phi = E_n \cdot S = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \pi R^2$$



2.2

$$E_1 - ?$$

$$\Phi_1 = E_1 \cdot S_1 = E_1 \cdot 4\pi r_1^2$$

$$\Phi_1 = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\rho \cdot \left(\frac{4}{3}\pi r_1^3\right)}{\epsilon_0} V_1 =$$

$$= \frac{\rho}{3\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3}\pi r_1^3 = E_1 \cdot \frac{4}{3}\pi r_1^2$$

$$E_1 = \frac{\rho r_1}{3\epsilon_0}$$

$$Q = \rho \cdot \frac{dQ}{dV}$$

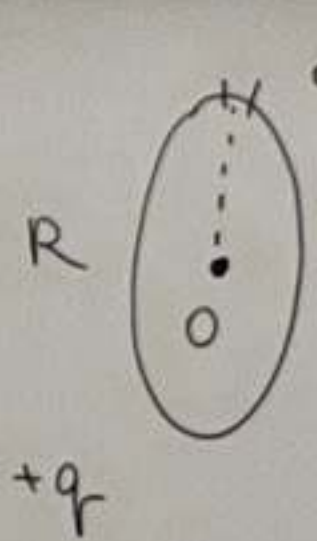
$$E_2 - ?$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r_2^2}$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3}{r_2^2} = \frac{\rho R^3}{3r_2^2}$$

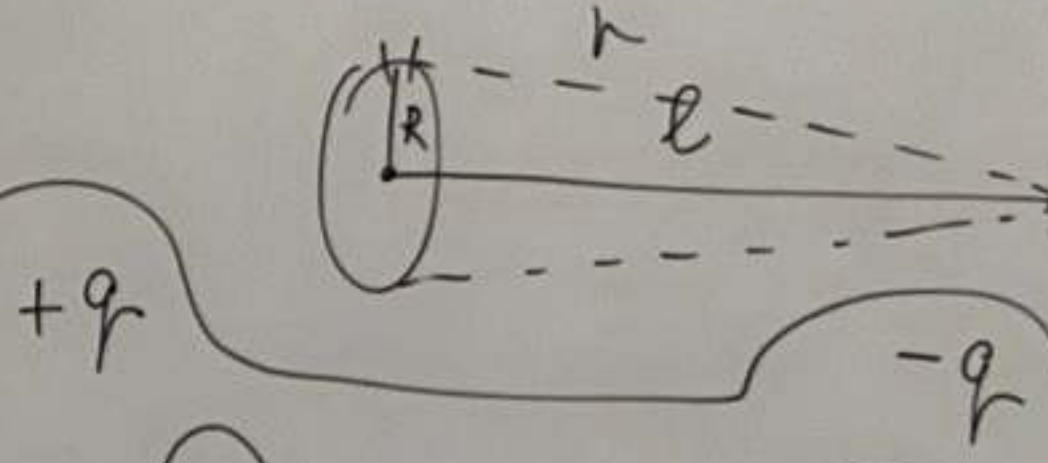


①

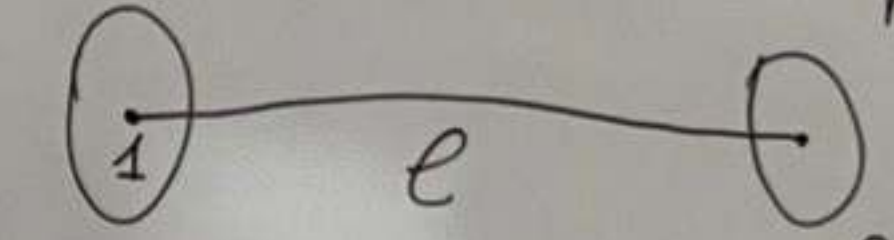


$$\varphi_0 = \int d\varphi = k \int \frac{dq}{R} = k \frac{Q}{R}$$





$$\varphi_e = \int d\varphi = k \int \frac{dq}{r} = k \frac{q}{r} = k \frac{q}{\sqrt{l^2 + R^2}}$$



$$+k \frac{q}{R}$$

$$-k \frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}}$$

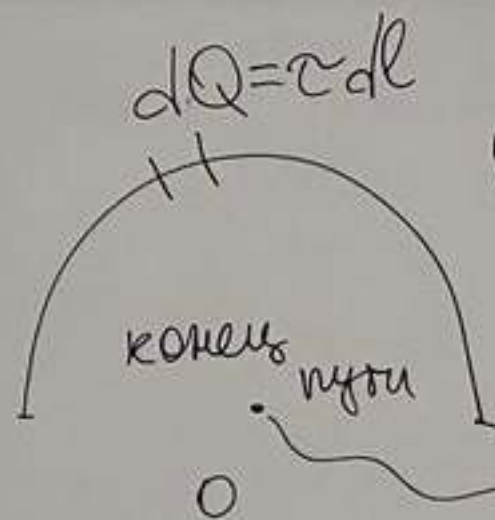
$$-k \frac{q}{R}$$

$$+k \frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2k \frac{q}{R} - 2k \frac{q}{\sqrt{R^2 + l^2}}$$

3.2

(2)

+  $\sigma$   
 $R$ 

$$Q = \sigma l = \pi R \sigma$$

$$\sigma = \frac{dQ}{dl}$$

 $W_1 = 0$   
на расстоянии  
нуль

$$W_2 = q \cdot \varphi$$

$$A = -A_{\text{эл}} = q \varphi,$$

$$dq \rightarrow \int d\varphi = k \int \frac{dQ}{R} = k \frac{Q}{R}$$

здесь  
напряженность

$$A = q k \frac{Q}{R} = k \frac{q \pi R \sigma}{R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot q \sigma \pi = \frac{q \sigma}{4\epsilon_0} \quad \frac{\frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{Ф}}}{\frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{Ф}}} = \text{В} \cdot \text{м} = \text{Дж/Кл}$$



3.3

$$\textcircled{3} \quad \varphi = d(xy - z^2) \quad \varphi(x, y, z) \text{ -- none.}$$

$$E_a = ? \quad M \left( \begin{matrix} 2 \\ x \end{matrix}; \begin{matrix} 1 \\ y \end{matrix}; \begin{matrix} -3 \\ z \end{matrix} \right)$$

$$\vec{a} = 3\vec{i} + 4\vec{k}$$

$$E_x = -d \cdot 1 = -d$$

$$E_y = -d \cdot 2 = -2d$$

$$E_z = 2d \cdot (-3) = -6d$$

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi$$

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} (d(xy - z^2)) =$$

$$= -d \cdot y$$

$$E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial y} (d(xy - z^2)) =$$

$$= -d \cdot x$$

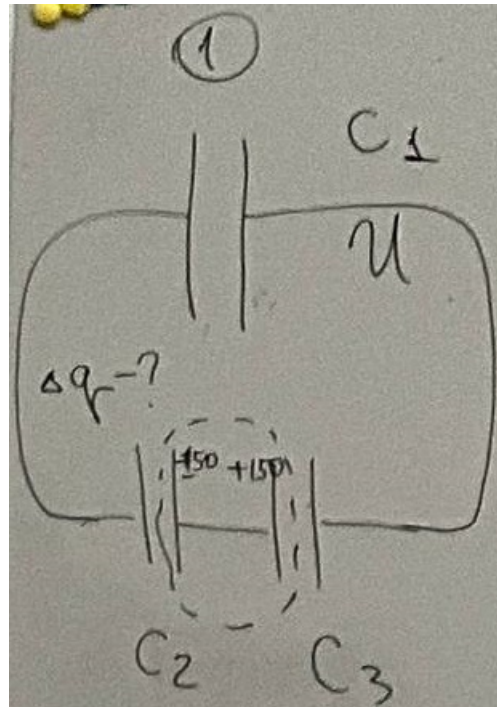
$$E_z = 2z \cdot d$$

$$E_a = \frac{(\vec{E}; \vec{a})}{|\vec{a}|} = -\frac{27}{5} d$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$$

$$(\vec{E}; \vec{a}) = E_x a_x + E_y a_y + E_z a_z = (-d) \cdot 3 + (-6d) \cdot 4 = -27d$$





$$C_1 = 2 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 3 \text{ мкФ}$$

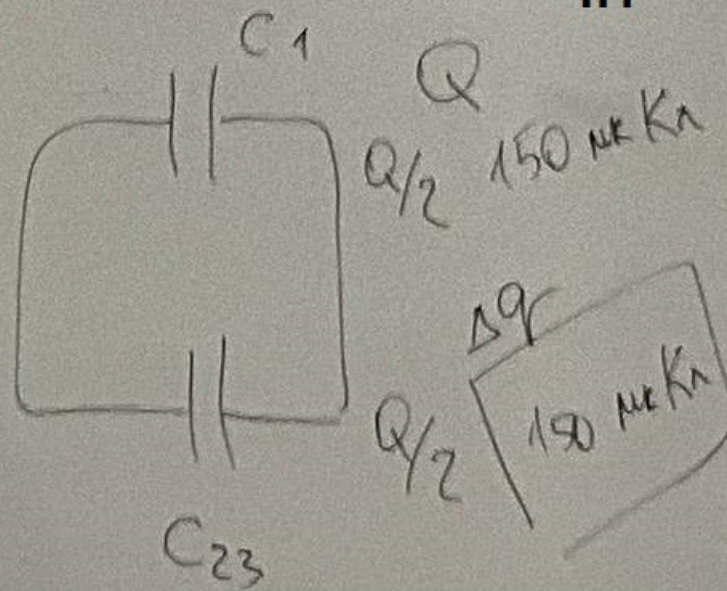
$$C_3 = 6 \text{ мкФ}$$

$$U = 150 \text{ В}$$

$$\Delta q - ?$$

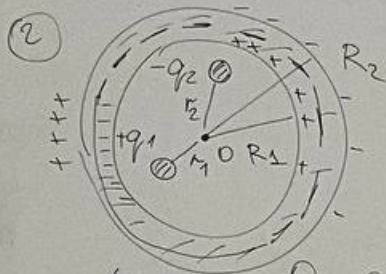
$$C_{23} = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = 2 \text{ мкФ}$$

4.1



$$Q = C_1 U = 2 \text{ мкФ} \cdot 150 \text{ В} = 300 \text{ мкКл}$$

4.2



$$\varphi(0) = ? \quad Q_1 = ?$$

$$Q_2 = ?$$

$$q_1 + q_2 + Q_1 = 0 \quad Q_1 = +2 \mu\text{Kл}$$

$$q_1 = +2 \mu\text{Kл}$$

$$r_1 = 2 \text{ см}$$

$$q_2 = -4 \mu\text{Kл}$$

$$r_2 = 4 \text{ см}$$

$$R_1 = 6 \text{ см}$$

$$R_2 = 8 \text{ см}$$

$$E_{\text{вытр}} = ?$$

$$E_{\text{вытр}} = 0$$

$$Q_2 = -2 \mu\text{Kл}$$

$$Q_1 = +2 \mu\text{Kл}$$

в точке O

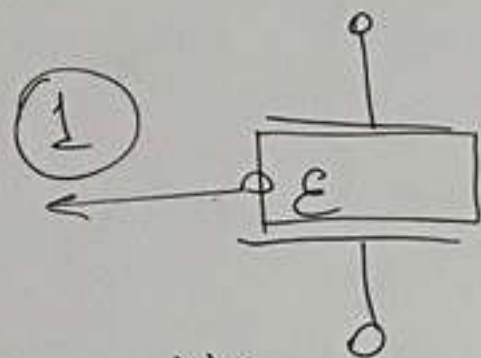
$$\varphi(0) = \varphi_{q_1} + \varphi_{q_2} + \varphi_{Q_1} + \varphi_{Q_2}$$

$$r_1 \quad r_2 \quad R_1 \quad R_2$$

$$\varphi(0) = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} + k \frac{Q_1}{R_1} + k \frac{Q_2}{R_2}$$

$$\varphi(0) = 9 \cdot \left( \frac{+2}{0,02} + \frac{(-4)}{0,04} + \frac{+2}{0,06} + \frac{-2}{0,08} \right) = 9 \cdot 25 \cdot \frac{1}{24,8} = 75 \text{ В}$$

## 5.1



$$C, U$$
$$q = CU$$

$$q = \text{const}$$

$$C_0 = \frac{C}{\epsilon}$$

$$W_{\text{max}} = \frac{q^2}{2C}$$

$$W_{\text{max}} = \frac{q^2}{2C_0} = \frac{\epsilon q^2}{2C}$$

$$A' = \Delta W = (\epsilon - 1) \frac{q^2}{2C} = (\epsilon - 1) \frac{CU^2}{2}$$

②  $u = \text{const}$

$$W_{\text{max}} = \frac{Cu^2}{2}$$

$$W_{\text{ком}} = \frac{C_0 u^2}{2} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{Cu^2}{2}$$

5.2

$$A' \neq \Delta W$$

$$A' = \Delta W + A_{\text{вст}} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \frac{Cu^2}{2}$$

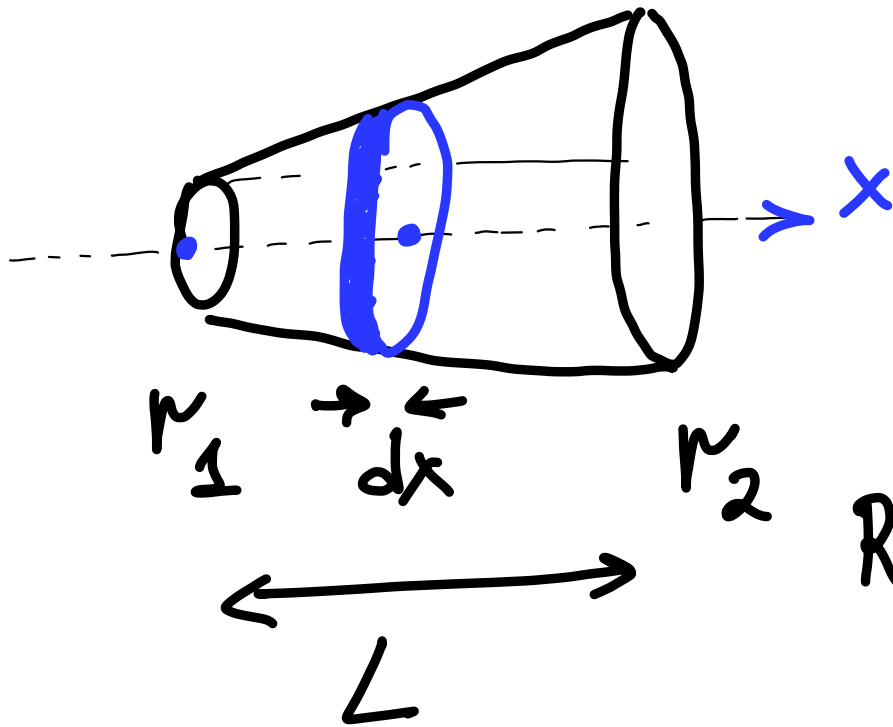


$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ где } \rho \text{ удельное сопротивление}$$

### ЗАДАЧА 1

Проводник из меди имеет форму усеченного конуса с радиусами оснований  $r_1$  и  $r_2$ . Длина проводника  $L$ . Найти его сопротивление.

$r_1 = 1 \text{ мм}$ ,  $r_2 = 2 \text{ мм}$ ,  $L = 10 \text{ см}$ ,  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ,  $R = ?$



$$R = \int dR = \rho \int_0^L \frac{dx}{S(x)}$$

$$dR = \rho \cdot \frac{dx}{S(x)}$$

$$S(x) = \pi r^2(x)$$

$$r(x) = r_1 + \frac{r_2 - r_1}{L} x$$

$$R = \int_0^L \frac{\rho dx}{\left(r_1 + \frac{r_2 - r_1}{L} x\right)^2}$$

$$R = \oint_{\mathcal{P}} \int_0^L \frac{dx}{\left(r_1 + \frac{r_2 - r_1}{L}x\right)^2} =$$

$$= \oint_{\mathcal{P}} \cdot \frac{L}{(r_2 - r_1)} \int_0^L \frac{dz}{z^2} =$$

$$= \oint_{\mathcal{P}} \frac{L}{r_2 - r_1} \left( -\frac{1}{r_1 + \frac{r_2 - r_1}{L}x} \right) \Big|_0^L$$

$$\left(-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \frac{\rho L}{\pi r_1 r_2}$$

$$\left(-\frac{1}{r_1}\right)$$

Пусто  $\int x^k = \frac{x^{k+1}}{k+1}$   
 $r_1 + \frac{r_2 - r_1}{L}x = z$   
 $k = -2$

$$dz = \frac{r_2 - r_1}{L} dx$$

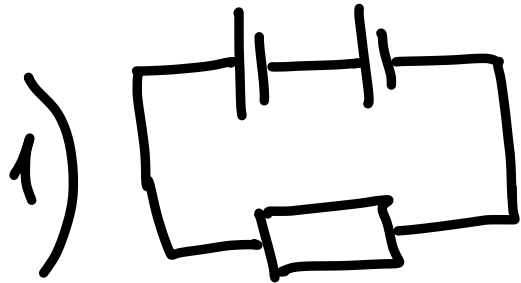
$$dx = \frac{L}{r_2 - r_1} dz$$

## ЗАДАЧА 2

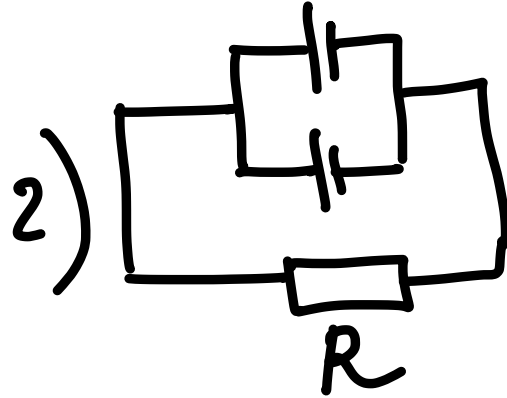
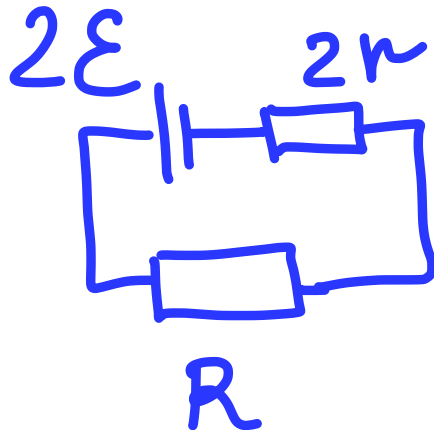
$$I_1 / I_2 = \frac{2R + r}{R + 2R} = \frac{25}{20} = 1,25$$

Два источника тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  соединяются в батарею. Возможны два варианта соединения - последовательное (1) и параллельное (2). При каком соединении - (1) или (2) - ток в нагрузке  $R$  будет больше? Найдите отношение  $I_1/I_2$ .

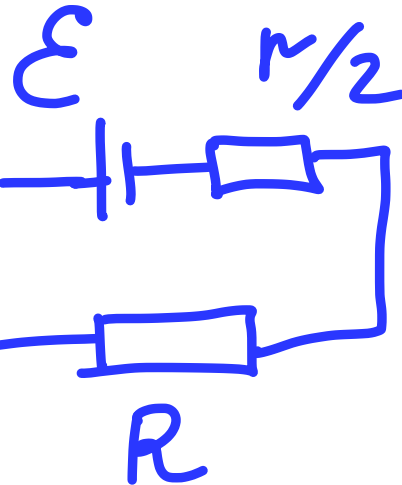
$\mathcal{E} = 10 \text{ В}$ ,  $r = 5 \text{ Ом}$ ,  $R = 10 \text{ Ом}$ ,  $I_1/I_2 = ?$



$R$



$R$



$$I_1 = \frac{2\mathcal{E}}{R + 2r}$$

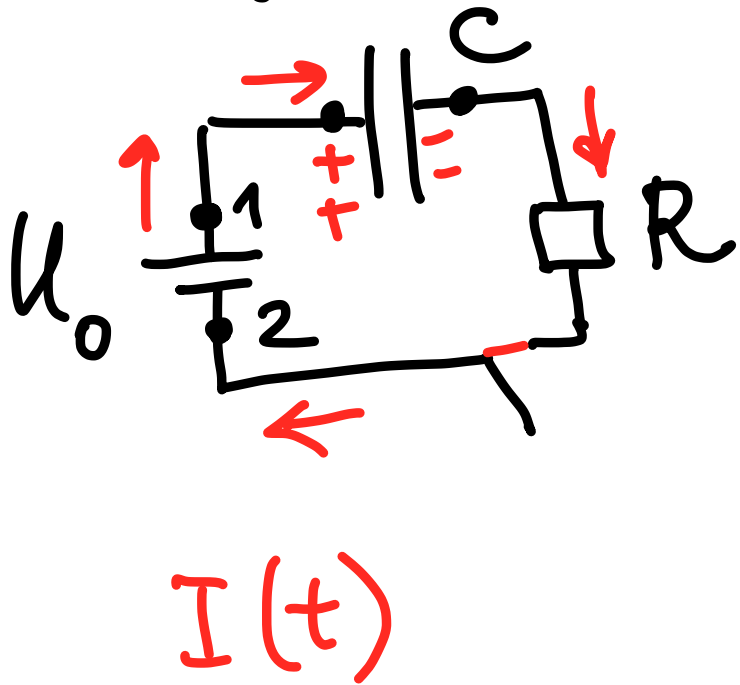
$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + r/2} =$$

$$= \frac{2\mathcal{E}}{2R + r}$$

### ЗАДАЧА 3

Пусть конденсатор емкостью  $C$ , заряженный до разности потенциалов  $U$ , разряжается через сопротивление  $R$ . Найти полное количество теплоты  $Q$ , выделившееся на нагрузке. Какая доля этого тепла выделится на нагрузке в процессе того, как конденсатор потеряет половину своего первоначального заряда?

$C = 2 \text{ мкФ}$ ,  $U = 12 \text{ В}$ ,  $R = 1,5 \text{ кОм}$ ,  $Q - ?$ ,  $Q_{1/2} / Q - ?$



$$\varphi_1 - U - IR = \varphi_2$$

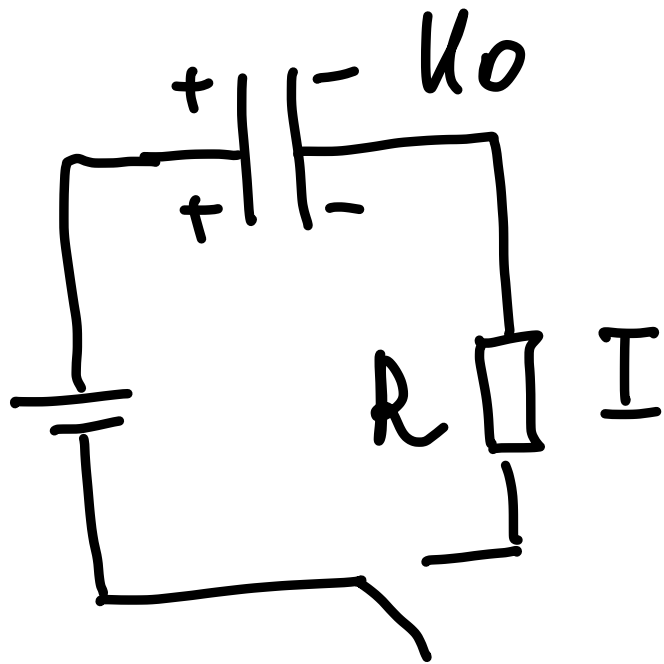
$$\varphi_1 - \varphi_2 = U + IR$$

$$U_0 = U + IR$$

$$U = \frac{q}{C}; I = \frac{dq}{dt}$$

закрывание  
ключа





$$U(t) = -IR$$

$$U(t) = \frac{q(t)}{C}$$

$$I = \frac{dq}{dt}$$

$$U = U_0 e^{-t/RC}$$

$$Q = \frac{CU_0^2}{2} - \text{полное количество теплоты}$$

$$Q = \frac{Q_0}{2}$$

$$U = \frac{U_0}{2} = U_0 e^{-t_0/RC}$$

$$t_0/RC = \ln 2$$

$$t_0 = RC \ln 2$$

Время, за которое  
конденсатор теряет  $\frac{Q_0}{2}$

$$Q_{1/2} = \int_0^{t_0} \frac{U^2}{R} dt = \frac{U_0^2}{R} \int_0^{t_0} e^{-2t/RC} dt =$$

$$= \frac{U_0^2}{\cancel{R}} \cdot \frac{\cancel{RC}}{2} \cdot \left( -e^{-2t/RC} \right) \Big|_0^{\ln 2 RC} =$$

$$= \frac{U_0^2 C}{2} \left( 1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{3}{4} Q = 0,75 Q$$