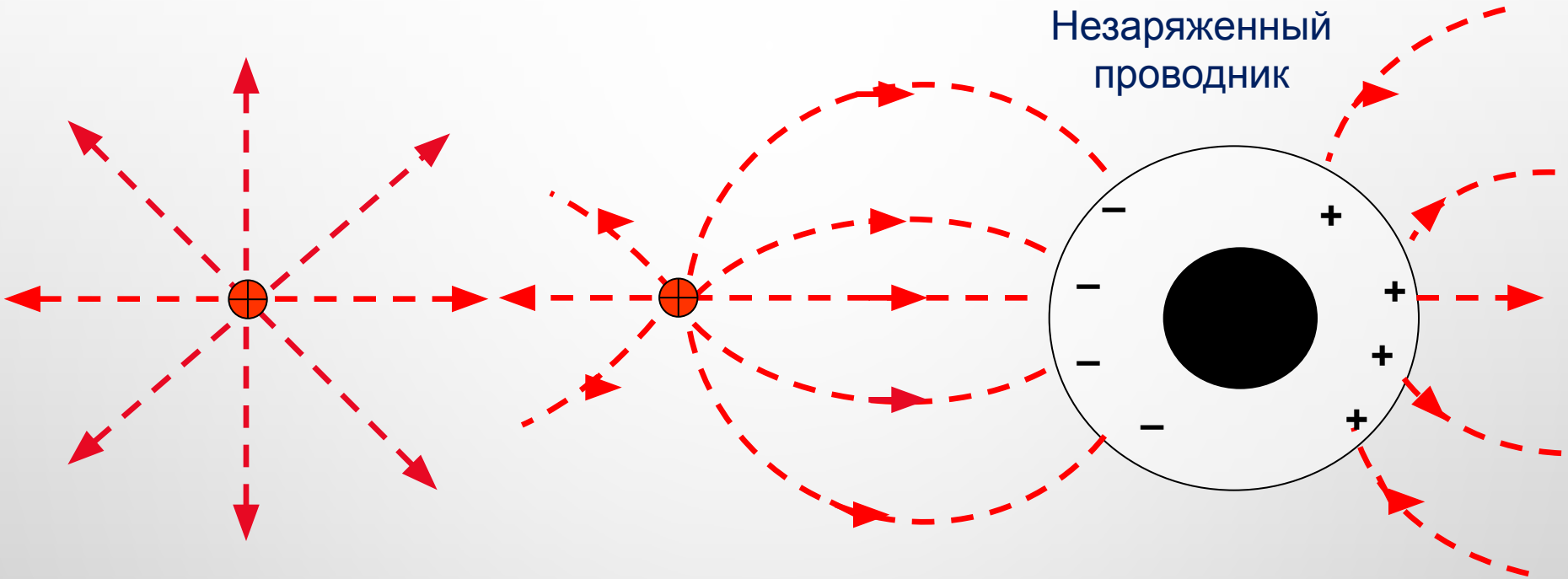
ЛЕКЦИЯ 3

ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ. КОНДЕНСАТОРЫ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ В ПРОВОДНИКЕ



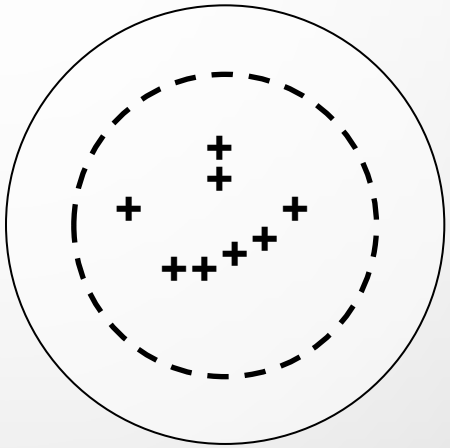
внутри проводника

$$\vec{E} = 0$$

$$\phi = const$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ В ЗАРЯЖЕННОМ ПРОВОДНИКЕ

Внутри проводника избыточных зарядов нет



Следовательно, по теореме Гаусса,

$$\Phi_E = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

$$\phi = const$$

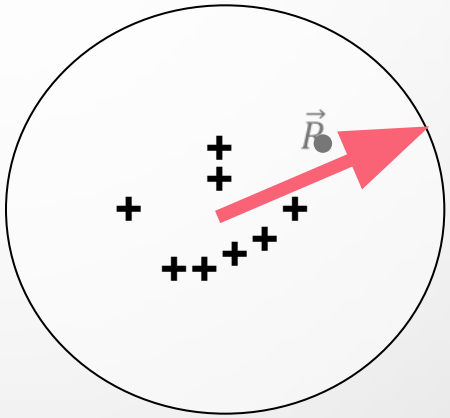
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ В ПРОВОДНИКЕ

внутри проводника

$$\vec{E} = 0$$

$$\phi = const$$

Заряженный проводник



На поверхности и вне проводника

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{q}{r}$$

На поверхности проводника

$$\vec{r} = \vec{R}$$

На поверхности и внутри проводника

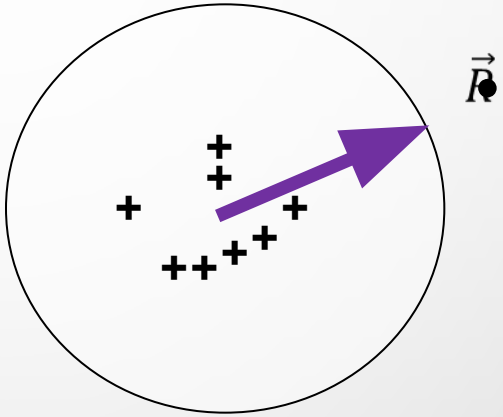
$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{q}{R}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ

Заряженный проводник

На поверхности и внутри проводника

$$\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \cdot \frac{q}{R}$$



Электрическая ёмкость

$$C = \frac{q}{\phi}$$

Электрическая ёмкость сферы

$$C = \frac{q}{\phi} = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$$

$$[\varepsilon_0] = \frac{\Phi}{\text{м}}$$

$$[C] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \Phi$$

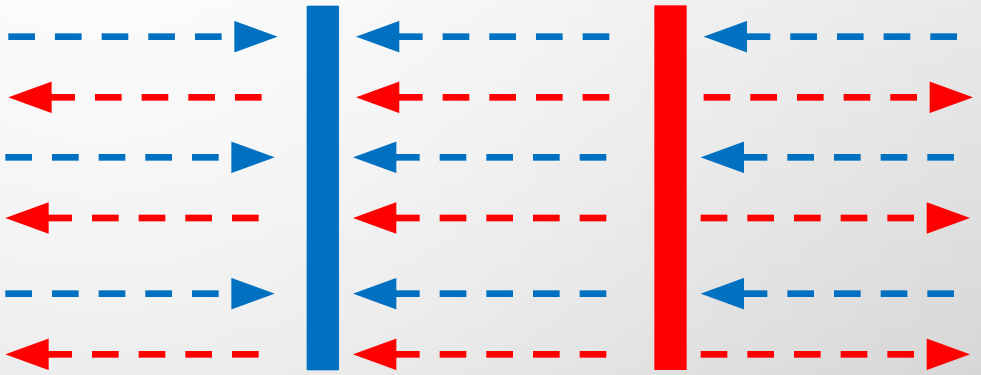
КОНДЕНСАТОР

- *ДВА ПРОВОДНИКА, ОБЛАДАЮЩИЕ ОДИНАКОВЫМИ ПО МОДУЛЮ, НО ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ ПО ЗНАКУ ЗАРЯДАМИ, ОБРАЗУЮТ КОНДЕНСАТОР.*

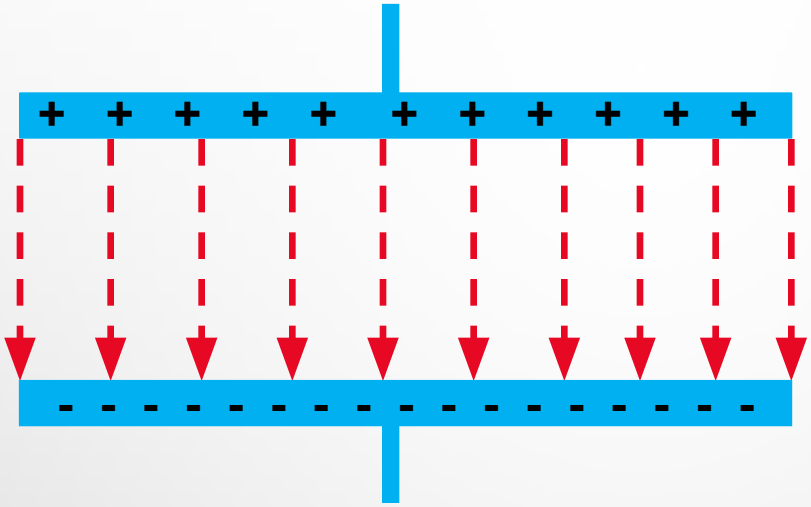
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

$$E_{\text{внеш.}} = 0$$

$$E_{\text{внут.}} = 2 \cdot E_{\text{пл.}} = \frac{\sigma_{\text{связ}}}{\varepsilon_0} = \frac{P}{\varepsilon_0}$$



ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА



Емкость конденсатора

$$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2} \qquad \phi_1 - \phi_2 = U$$

Ёмкость плоского конденсатора

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} \qquad \sigma = \frac{q}{S} \qquad U = E \cdot d \qquad U = \frac{q \cdot d}{\varepsilon\varepsilon_0 S} \qquad C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

Ёмкость сферического конденсатора

$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

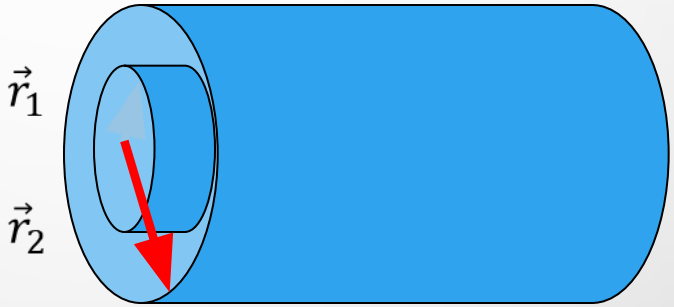
ЁМКОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА

l – длина конденсатора; r_1, r_2-радиусы электродов

Заряд: $q = \tau \cdot l$

$$r_1 < r < r_2$$

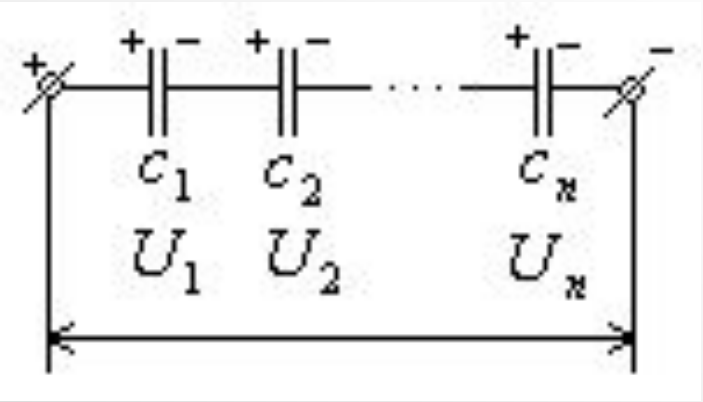
$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$$



- $$U = \phi_1 - \phi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau dr}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}(ln\, r_2 - ln\, r_1) = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon} ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\tau \cdot l}{\tau \ln\frac{r_1}{r_2}} \cdot 2\pi\varepsilon_0\varepsilon = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l}{\ln\frac{r_1}{r_2}}$$

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ



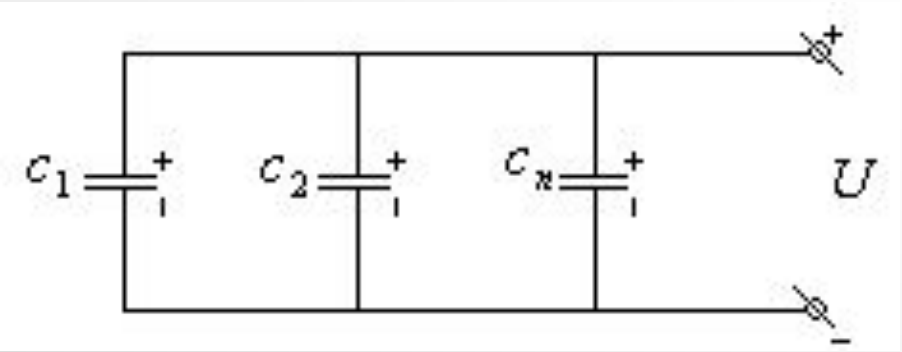
При последовательном соединении заряды на всех конденсаторах *одинаковые*, а разности потенциалов *разные*

$$q_1 = q_2 = \ldots = q_n = q$$

$$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} + \ldots + \frac{q}{C_n} = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}\right) = \frac{q}{C_{\text{общ}}}$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ



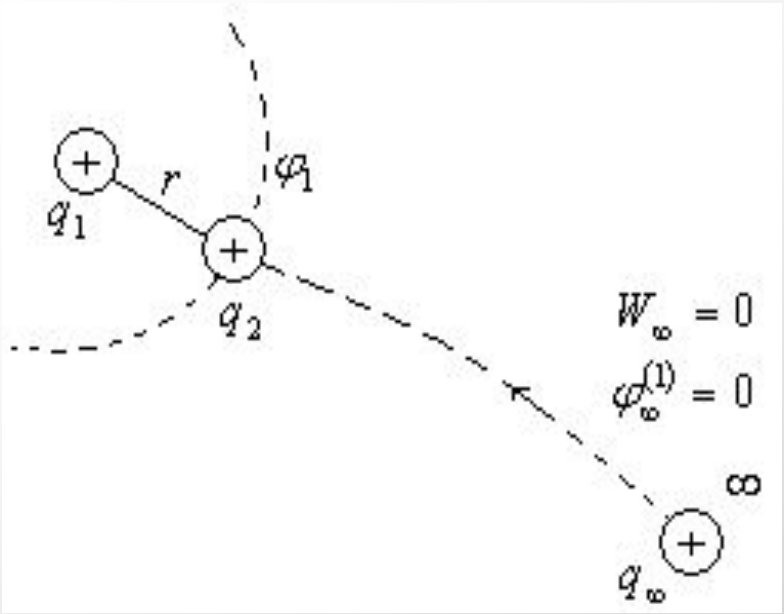
При параллельном соединении напряжения на всех конденсаторах *одинаковые* = U, а заряды – *разные*

$$q = q_1 + q_2 + \ldots + q_n = C_1U_1 + C_2U_2 + \ldots C_nU_n = U(C_1 + C_2 + \ldots C_n) = C_{\text{общ}} \cdot U$$

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

ЭНЕРГИЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДОВ

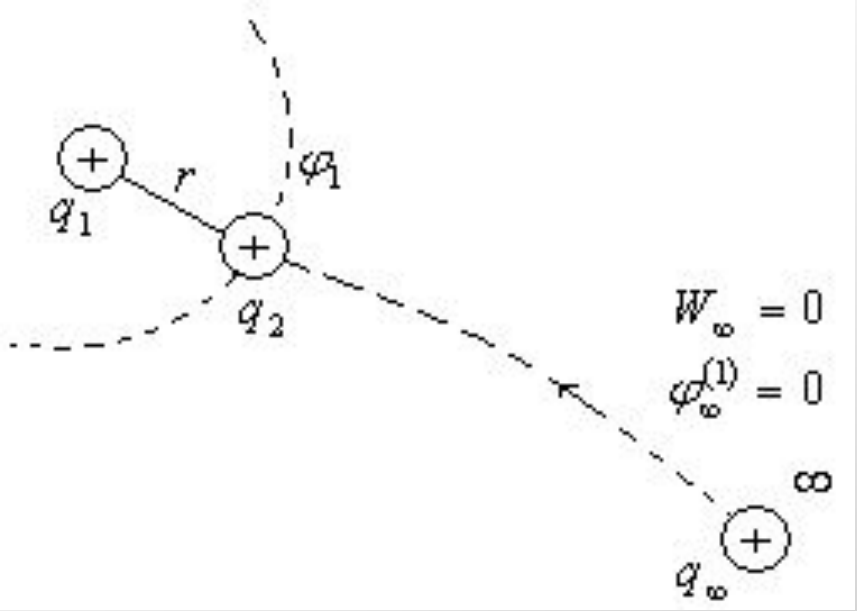
$$A = W_\infty - W,$$
$$W_\infty = 0,$$
$$-W = A = q_2(\phi_\infty^{(1)} - \phi_1),$$
$$\phi_\infty^{(1)} = 0,$$
$$W = q_2\phi_1;$$
$$\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$
$$W = q_2\phi_1 = \frac{q_2 q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1}{2} q_2 \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r} + \frac{1}{2} q_1 \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$$
$$W = \frac{1}{2}(q_1\phi_2 + q_2\phi_1)$$



$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i\,\phi_i$$

ЭНЕРГИЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДОВ

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i \phi_i$$

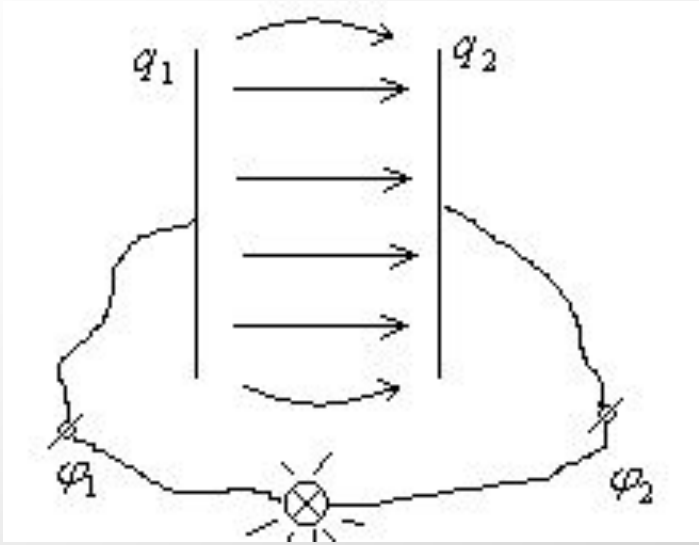


q_i – *заряд номер i;*

φ_i – *потенциал электростатического поля, создаваемого всеми зарядами, кроме* q_i, *в точке, где находится заряд* q_i.

ЭНЕРГИЯ ЗАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

$$W = \frac{1}{2} q\phi$$



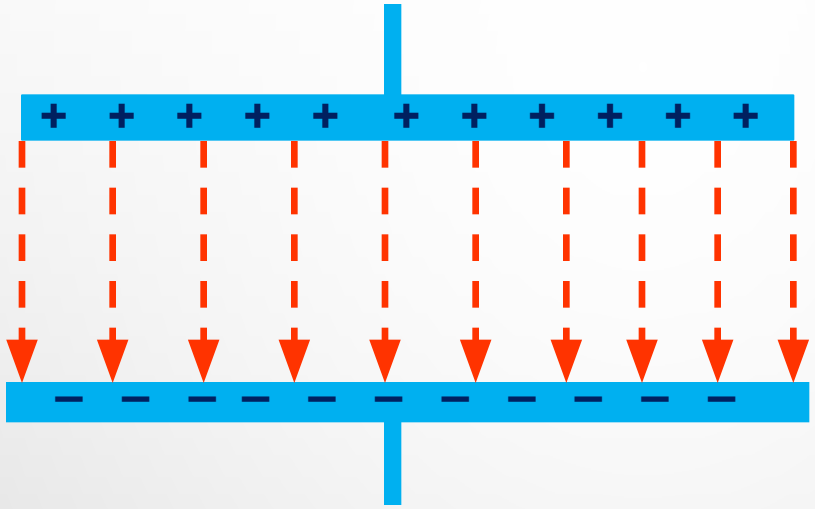
Конденсатор представляет собой пару заряженных проводников, поэтому:

$$q_1 = -q_2 = q$$

$$W_c = W_1 + W_2 = \frac{1}{2} q_1 \phi_1 + \frac{1}{2} q_2 \phi_2 = \frac{1}{2} q(\phi_1 - \phi_2) = \frac{1}{2} qU$$

$$q = \mathrm{C}U \qquad W_c = \frac{qU}{2} = \frac{\mathrm{C}U^2}{2} = \frac{q^2}{2\mathrm{C}}$$

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ



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

$$U = E \cdot d \qquad C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

- Объёмная плотность энергии электрического поля $w_e = \frac{W_e}{V} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 = \frac{ED}{2}$

$$W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S \cdot E^2 d^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} V$$

$$W_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 V$$