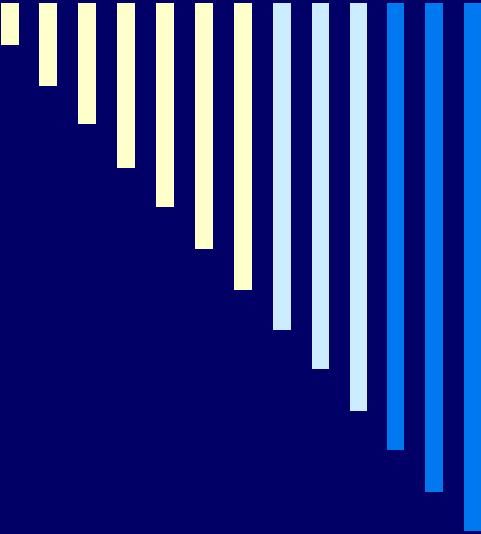
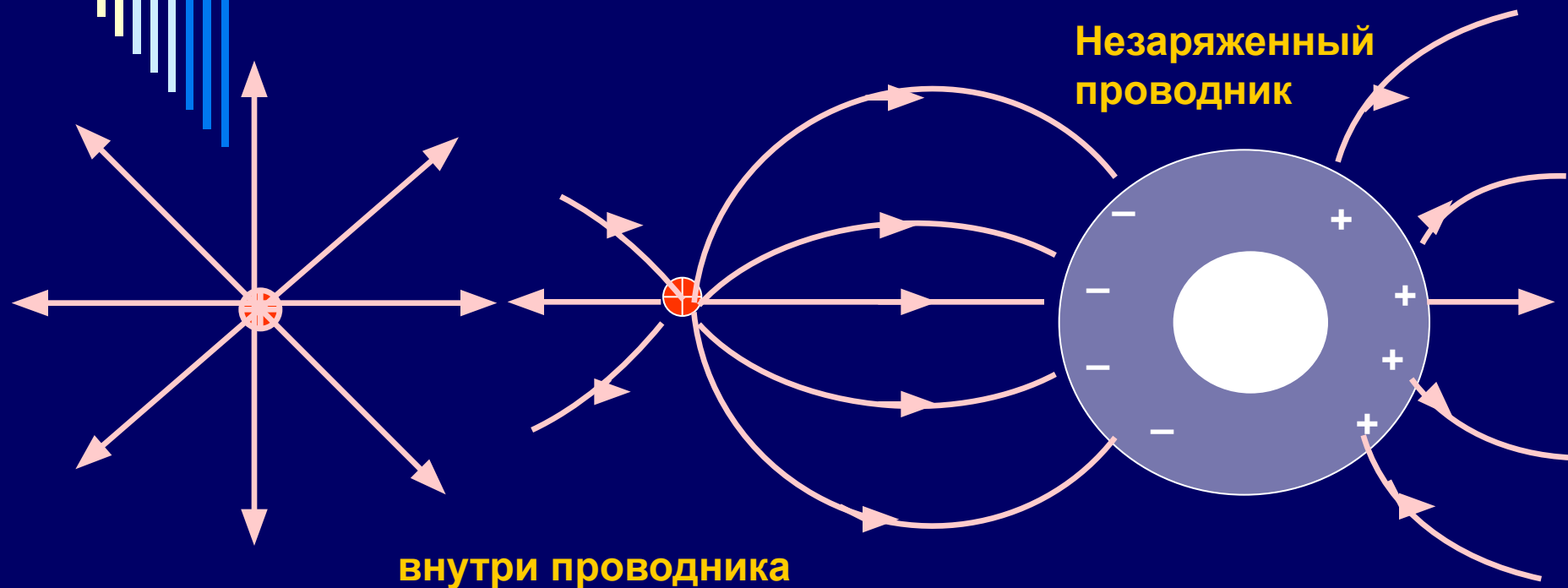



Лекция 3

Проводники в электростатическом
поле. Конденсаторы. Энергия
электрического поля

Распределение зарядов в проводнике



внутри проводника

$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = const$$

Распределение зарядов в заряженном проводнике

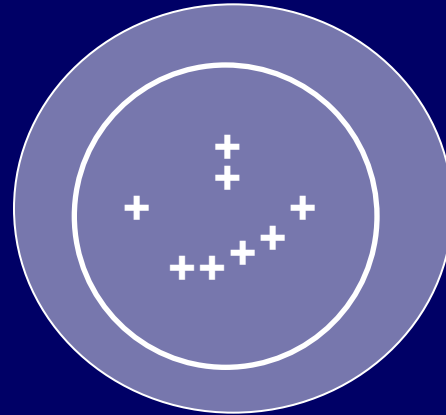
Внутри проводника
избыточных зарядов
нет

Следовательно,
по теореме
Гаусса,

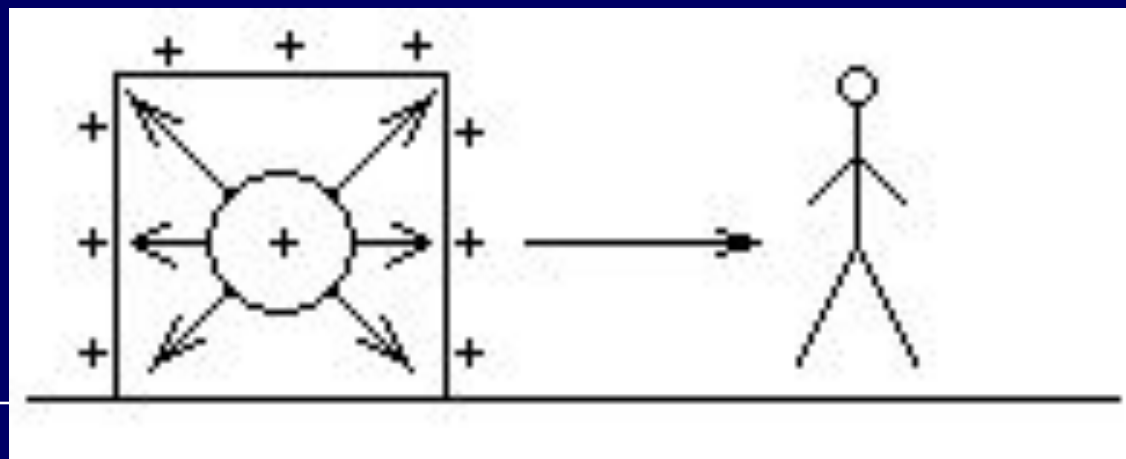
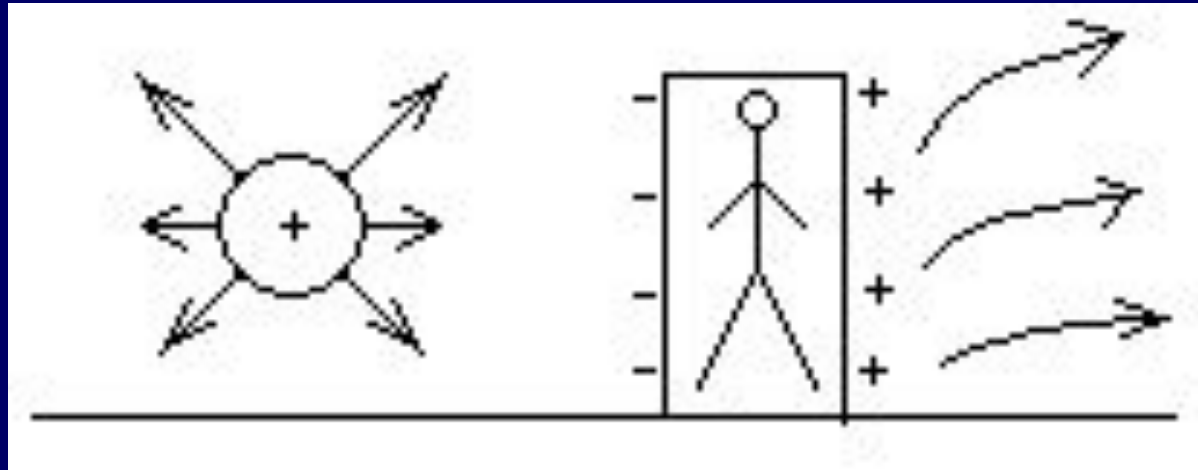
$$\Phi_{\vec{E}} = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = \text{const}$$



Электростатическая защита



Распределение зарядов в проводнике

внутри проводника

$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = \text{const}$$

На поверхности и вне проводника

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r}$$



На поверхности проводника

$$r = R$$

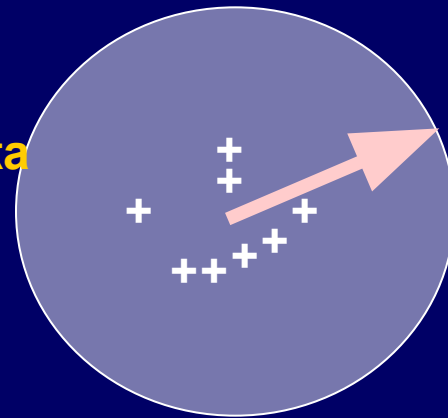
На поверхности и внутри проводника

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{R}$$

Электрическая ёмкость

На поверхности и внутри проводника

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{R}$$



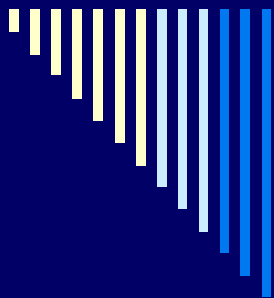
Заряженный
проводник

R

$$[\epsilon_0] = \frac{\Phi}{\text{м}}$$

Электрическая ёмкость $C = \frac{q}{\varphi}$ $[C] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \Phi$

Электрическая ёмкость сферы $C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$

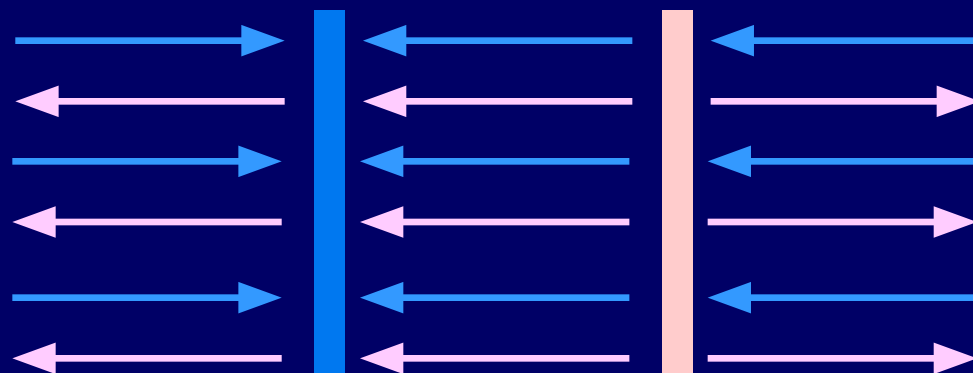


Конденсатор

- *Два проводника, обладающие одинаковыми по модулю, но противоположными по знаку зарядами, образуют конденсатор.*

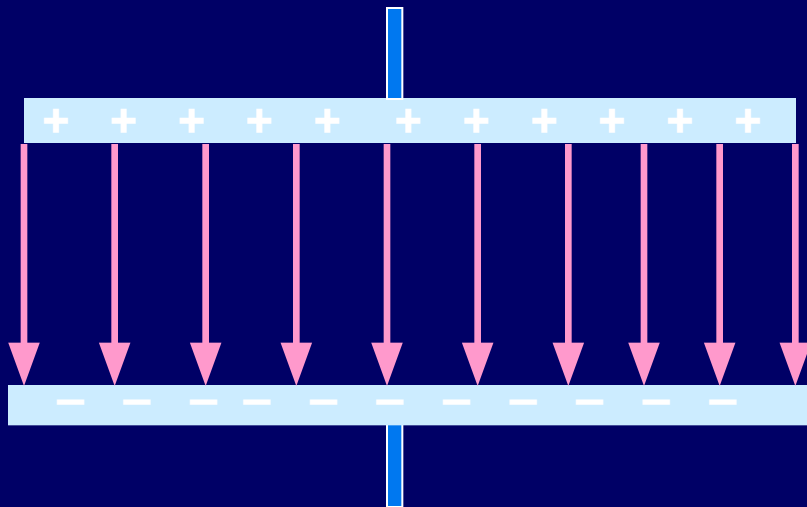
Электрическое поле плоского конденсатора

$$E_{\text{вне}} = 0$$



$$E_{\text{внут.}} = 2 \cdot E_{\text{пл.}}$$

Электроемкость. Конденсаторы.



**Емкость
конденсатора.**

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = U$$

Ёмкость плоского конденсатора.

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

Ёмкость сферического конденсатора

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

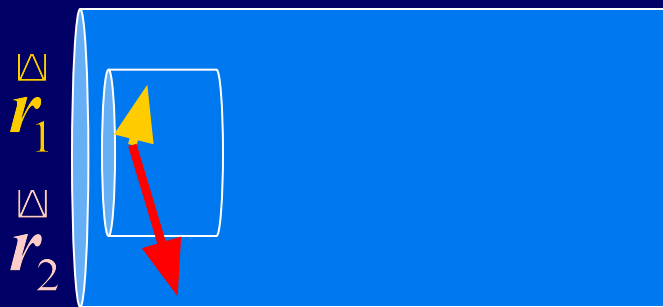
Ёмкость цилиндрического конденсатора

l – длина конденсатора; r_1, r_2 – радиусы электродов

Заряд: $q = \tau \cdot l$

$$r_1 < r < r_2$$

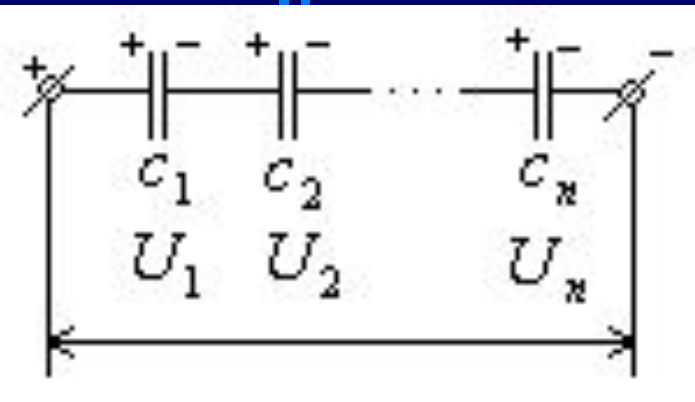
$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r}$$



$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau dr}{2\pi\epsilon_0\epsilon r} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} (\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\tau \cdot l}{\tau \ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot 2\pi\epsilon_0\epsilon = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Последовательное соединение конденсаторов



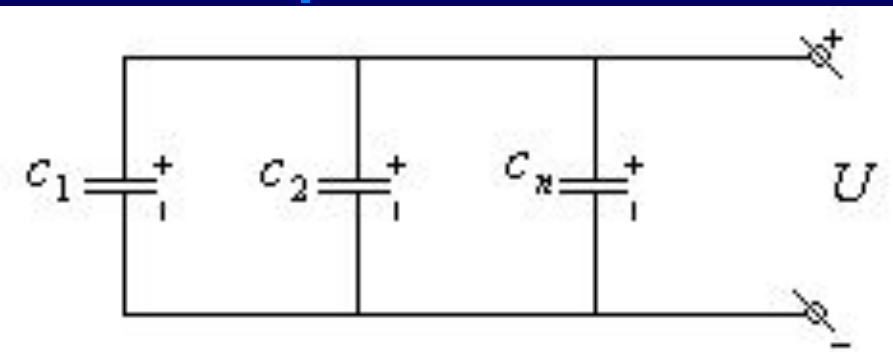
При последовательном соединении заряды на всех конденсаторах *одинаковые*, а разности потенциалов *разные*

$$q_1 = q_2 = \dots = q_n = q$$

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

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

Параллельное соединение конденсаторов



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

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = C_1 U_1 + C_2 U_2 + \dots + C_n U_n = U(C_1 + C_2 + \dots + C_n) = C_{\text{общ}} \cdot U$$

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

Энергия системы зарядов

$$A = W_{\infty} - W,$$

$$W_{\infty} = 0,$$

$$-W = A = q_2(\varphi_{\infty}^{(1)} - \varphi_1),$$

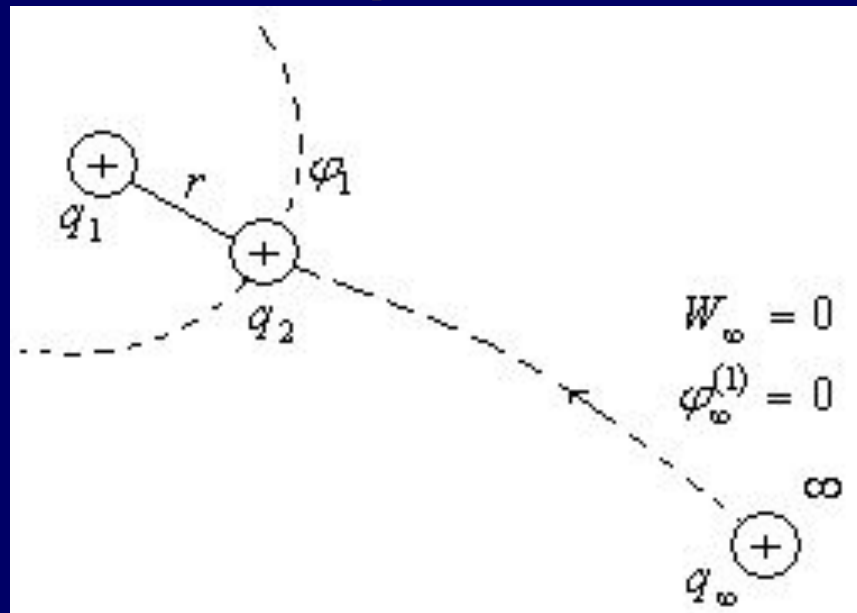
$$\varphi_{\infty}^{(1)} = 0,$$

$$W = q_2\varphi_1;$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$W = q_2\varphi_1 = \frac{q_2 q_1}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{1}{2} q_2 \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{1}{2} q_1 \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$W = \frac{1}{2} (q_1\varphi_2 + q_2\varphi_1)$$



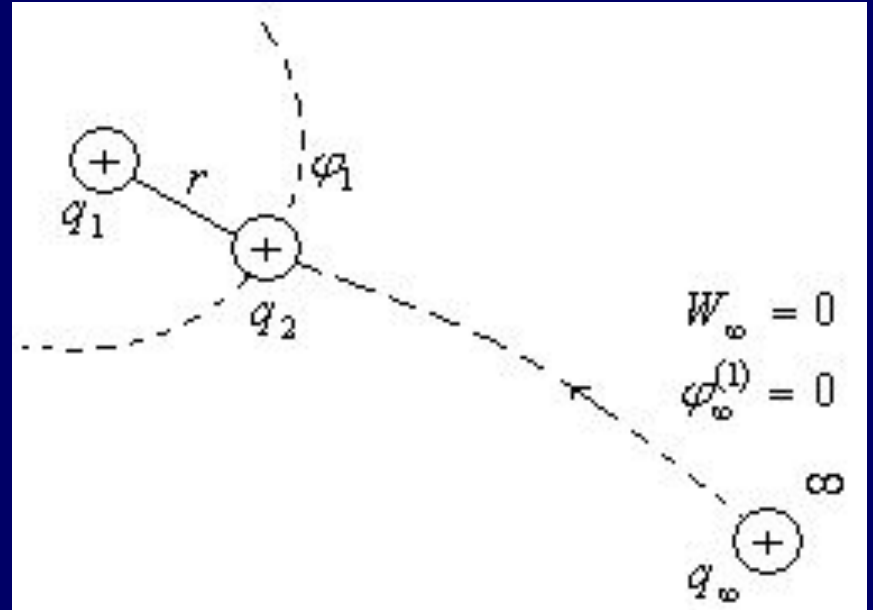
$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$$

Энергия системы зарядов

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

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

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

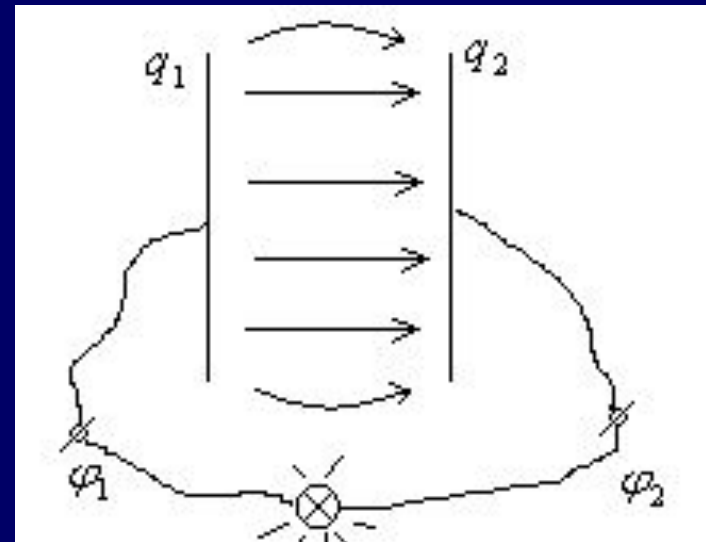
Конденсатор представляет собой пару заряженных проводников, поэтому:

$$q_1 = -q_2 = q$$

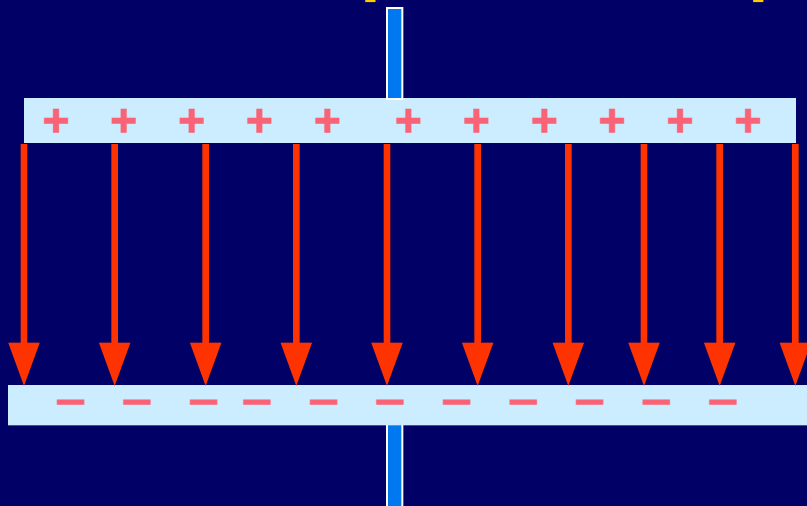
$$W_c = W_1 + W_2 = \frac{1}{2} q_1 \varphi_1 + \frac{1}{2} q_2 \varphi_2 = \frac{1}{2} q (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{1}{2} q U$$

$$q = CU$$

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



Энергия электрического поля



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

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

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

Объёмная плотность энергии электрического поля

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

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