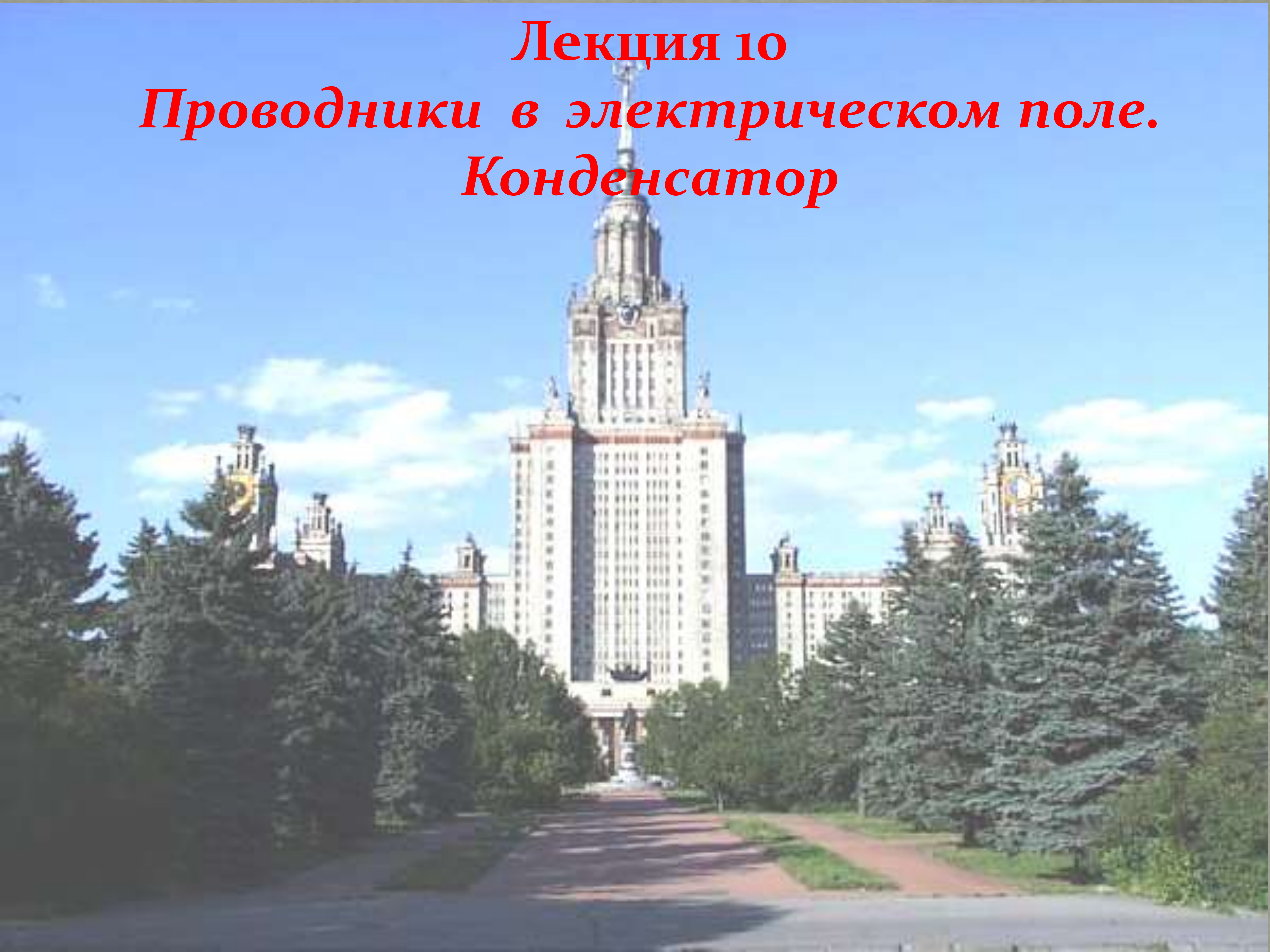
Лекция 10

Проводники в электрическом поле. Конденсатор

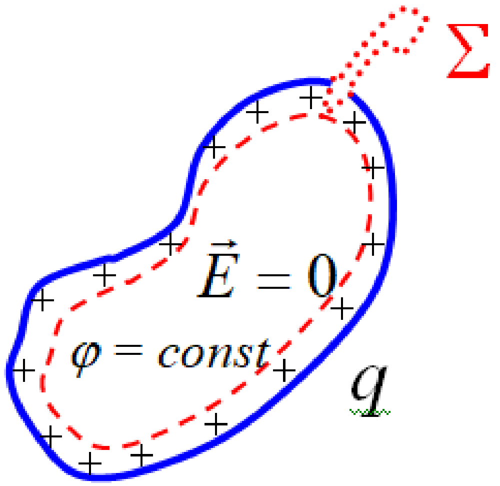


§ 10. Проводники в электрическом поле

10.1. Поле заряженного проводника

- 1. *Напряжённость электрического поля в проводниках равна нулю;*

$$\vec{E}^{(внутри)} = 0\,;$$



- 2. *Потенциал всех точек проводящего тела одинаков* $\varphi = const$ *;*

$$\vec{E} = -\operatorname{grad}\varphi \quad \Rightarrow \quad \varphi = const\,;$$

$$\left(\text{или:}\quad E_l = \frac{\partial\varphi}{\partial l}\right)$$

- 3. *Весь избыточный заряд проводника распределён по его поверхности;*

$$\Phi_E = \oint_{\Sigma} (\underline{\underline{\vec{E}, d\vec{S}}}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \Sigma q^{(внутри)} = 0 \quad !!$$

"любая поверхность Σ внутри"

Поле снаружи вблизи поверхности проводника ??

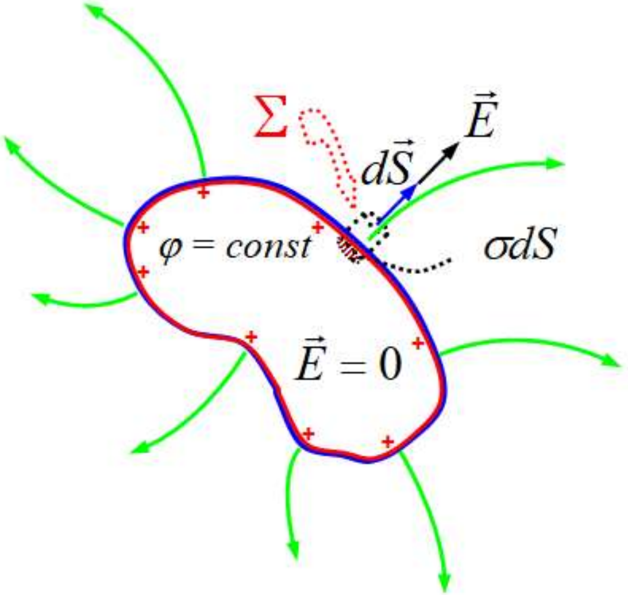
- 4. *Вне проводника силовые линии электростатического поля вблизи от его поверхности перпендикулярны к ней;*

- 5. *Напряжённость поля заряженного проводника вблизи поверхности пропорциональна поверхностной плотности заряда;*

$$\Phi_E = \oint_{\Sigma} (\vec{E}, d\vec{S}) = E \cdot dS$$

$$E \cdot dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \sigma \cdot dS.$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0}$$



$\sigma \sim ?$

- 6*. *Плотность поверхностного заряда проводника зависит от её кривизны;*

$$\sigma \sim \text{“}\frac{1}{R_{кр}}\text{”} \Rightarrow \qquad E \sim \frac{1}{R_{кр}}$$

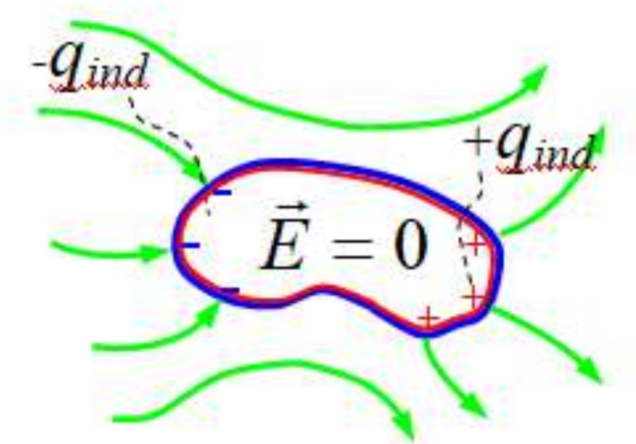
“Огни Святого Эльма”

А ещё

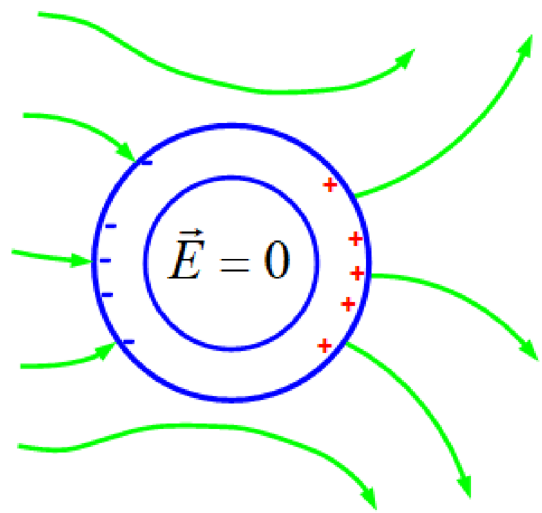
“Туннельный микроскоп”

10.2. Проводники во внешнем электрическом поле

(Проводящие оболочки. Теоремы Фарадея)



“Электростатическая защита”



“Клетка Фарадея”

- 1. *Если внутри полости проводящей оболочки нет заряженных тел, то эта область пространства свободна от электрического поля*

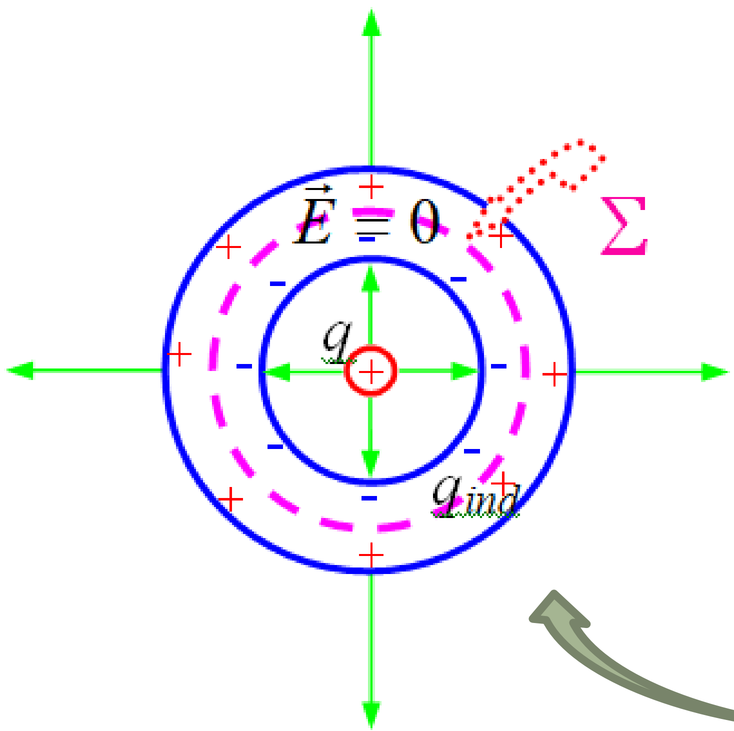
“Электростатическая защита”

Шоу “Клетка Фарадея”

“Клетка Фарадея”

“Электростатическая защита”

• 2. *Суммарный заряд, индуцированный на внутренней поверхности полости, равен алгебраической сумме зарядов, находящихся внутри полости проводника, взятой с противоположным знаком*



$$\oint_{\Sigma}(\vec{E}, d\vec{S}) = \frac{1}{\varepsilon_0}\left(\sum_i q_i + q_{ind}\right) \Rightarrow$$

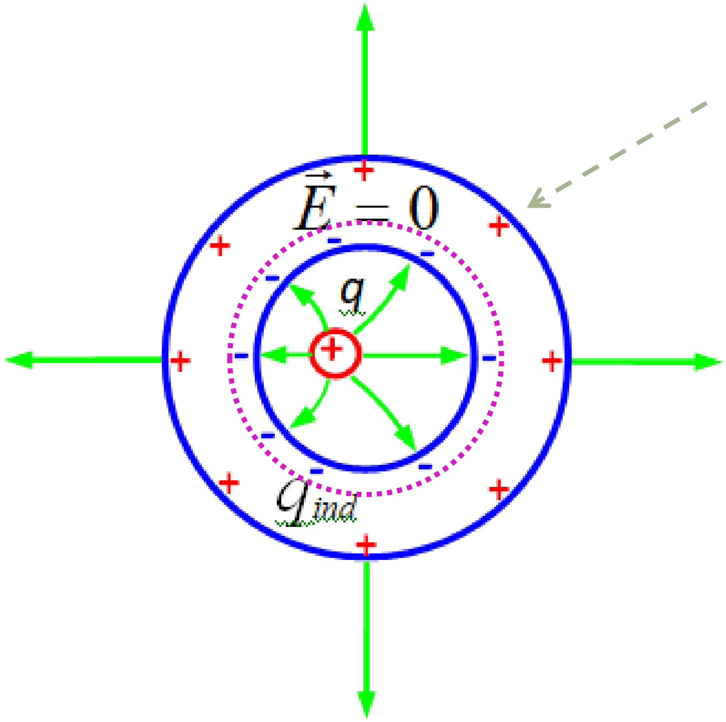
$= 0$ **!**

алгебраическая сумма зарядов внутри полости – $\sum_i q_i$

индуцированный на внутренней поверхности заряд – q_{ind}

$$q_{ind} = -\sum_i q_i$$

• 3. *Индукционный заряд на внешней поверхности оболочки, равен по модулю и противоположен по знаку заряду, индуцированному на внутренней её поверхности*



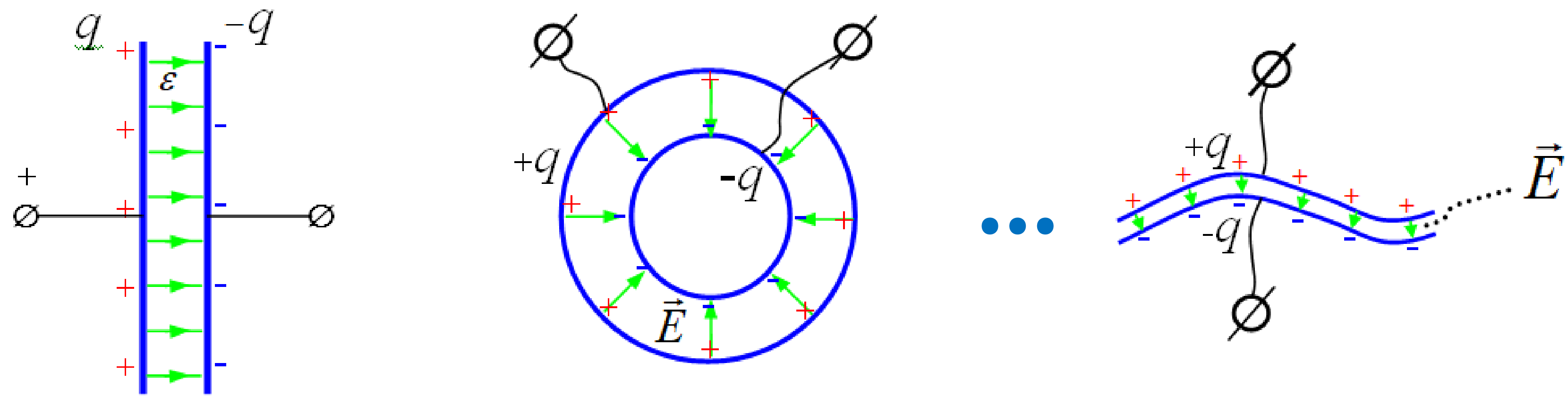
$$q_{ind} = -\left(\sum_{внутр.пов.} q_i \right)$$

Оболочка НЕ экранирует внешнюю область пространства от заряда внутри

10.3. Конденсаторы. Электроёмкость конденсаторов

“Конденсатор” **??** ***– копить заряд / сгущать поле***

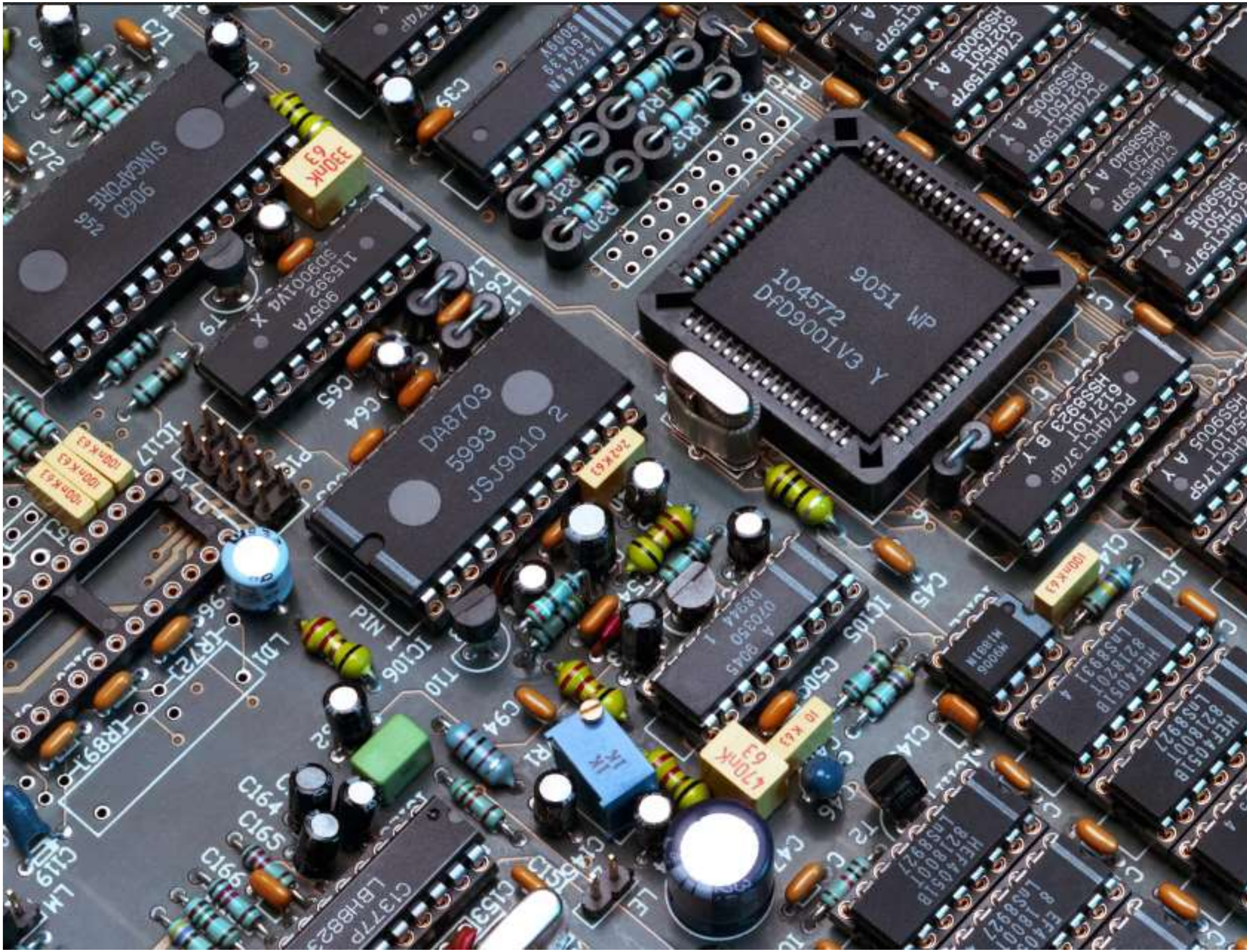
(конденсировать)

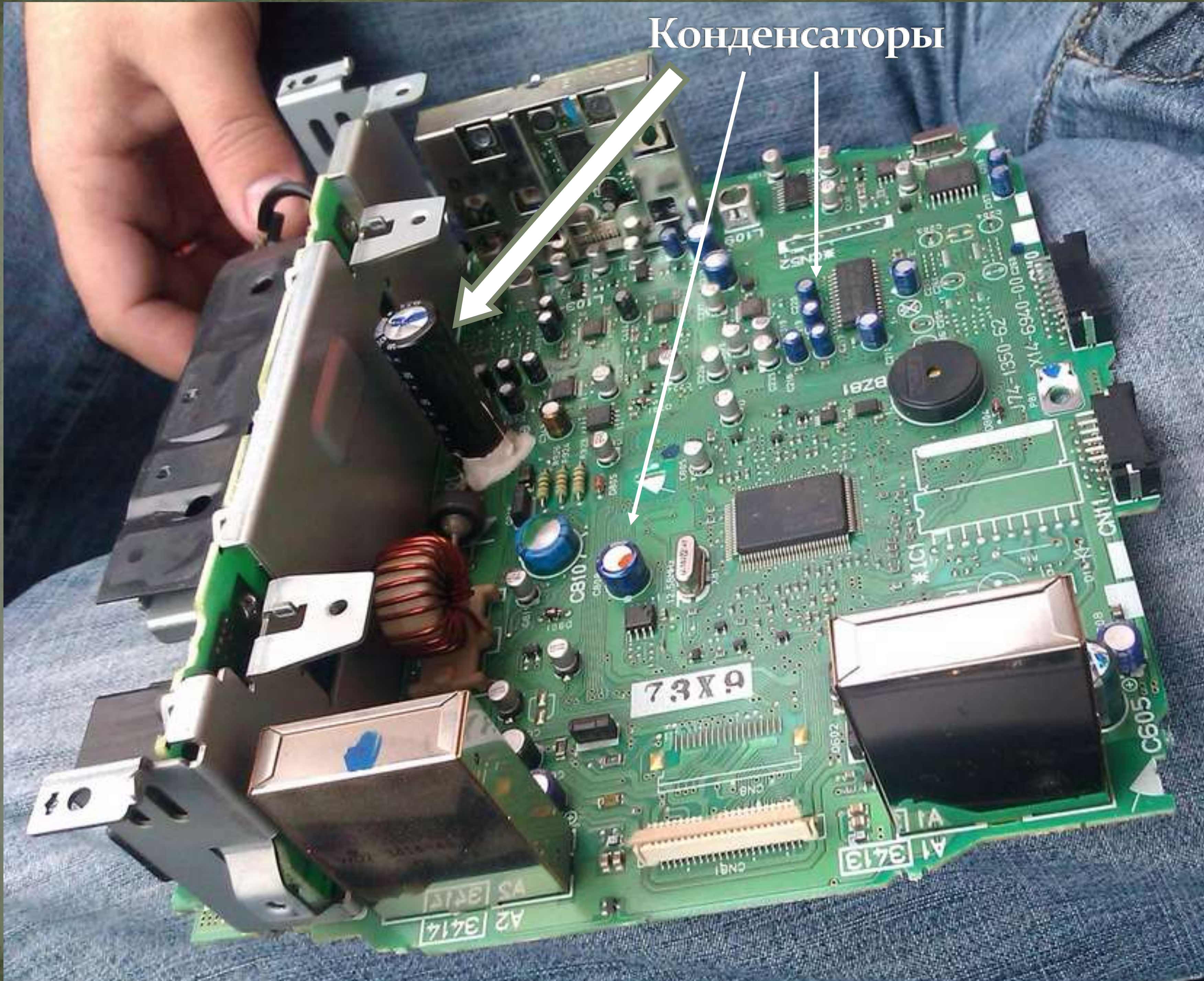


(*Опр.*) ***Конденсатором называется система, состоящая из двух проводников, между которыми возникает изолированное от внешних тел электрическое поле при сообщении проводникам равных по модулю и противоположных по знаку зарядов***

Конденсаторы

“Печатная плата”




Конденсаторы
C810
73X9
C605
3413
A1
3414
A2
BZ81
CN1
IC1

“Электроёмкость” ?? – характеризует способность копить заряд:

(*Опр.*) Электроёмкостью конденсатора называется отношение модуля заряда каждой из его обкладок к разности потенциалов между ними

V, л?

$$\boxed{C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}}$$

$$\frac{\ldots Кл}{1\,В} = \ldots Ф$$

“Фарада”

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} (\vec{E}, d\vec{l})$$

Нет зависимости от окружающих тел !!

$$\int_{(1)}^{(2)} (\vec{E}, d\vec{l}) \sim$$ заряд на обкладках (q)

$$\frac{1}{C}$$

- 1. Размеры;
- 2. форма;
- 3. расстояние между обкладками;

А ещё ??

- 4. диэлектрическая проницаемость (ε)

Как рассчитать электроёмкость конденсатора ??

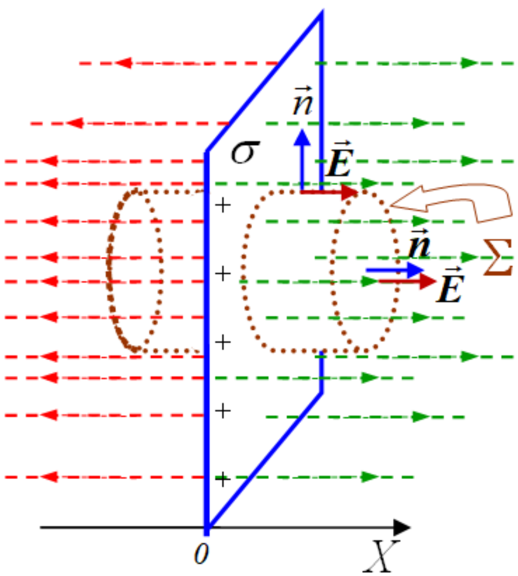
- 1. *Найти напряжённость поля между обкладками* $\vec{E}(\vec{r})$;
- 2. *разность потенциалов между обкладками выразить через* q:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} (\vec{E}, d\vec{l})$$

- 3. *применить определение электроёмкости*: $C = \dfrac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$.

Как считать на практике ?

Пример: **(Задача 7.14,*а*)** Рассчитать электроёмкость **плоского конденсатора** с площадью пластин S и расстоянием d между ними. Конденсатор заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε.



- 1. *Найти напряжённость поля между обкладками*:

$$\oint_{\Sigma} E_n dS = E \cdot 2S_{осн.} \Rightarrow E \cdot 2S_{осн.} = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \sigma \cdot S_{осн.}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

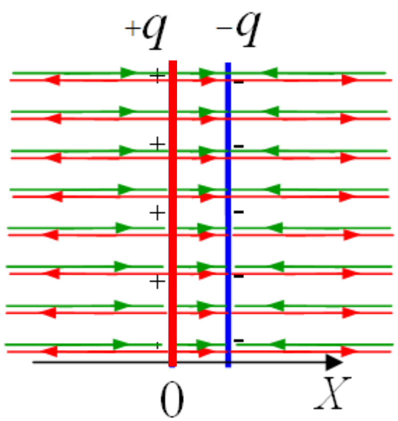
Вернём вторую пластину “на место”:

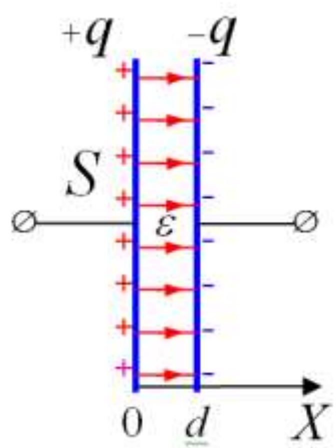
$$\begin{cases} \vec{E}^{\,вне} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 0 \quad - \textit{поле вне конденсатора;} \\ \vec{E}^{\,внутри} = \vec{E}^{(+)} + \vec{E}^{(-)} = 2\vec{E}^{(+)} = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\vec{e}_+ + \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\vec{e}_+ \end{cases}$$

Суперпозиция полей

поле внутри “пустого” конденсатора

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$





$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{(1)}^{(2)} E_l\,dl = \int_0^d E_x\,dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\,dx = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\sigma \cdot d / \varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S \cdot \cancel{q}}{\cancel{q} \cdot d}.$$

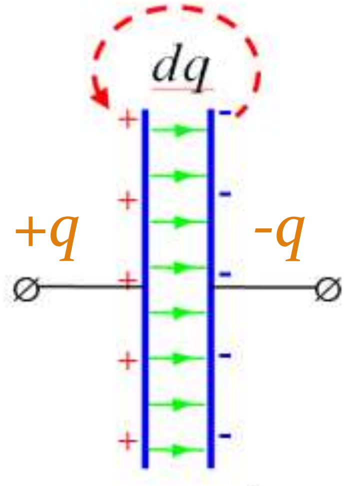
И вот результат:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

Энергия заряженного конденсатора ≡ Энергия электрического поля

10.3. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля

$$\frac{Cu^2}{2}$$ **??**



$\varphi_1 - \varphi_2 = u^*$
(«текущая»)

(внешних сил)

$$dA = dq\cdot(\varphi_2 - \varphi_1)^* = dq\cdot u^* = \left\{C = \frac{q^*}{u^*}\right\} = dq\cdot\frac{q^*}{C}$$

$$A = \int_0^q \frac{q^*}{C}dq^* = \frac{q^2}{2C}$$

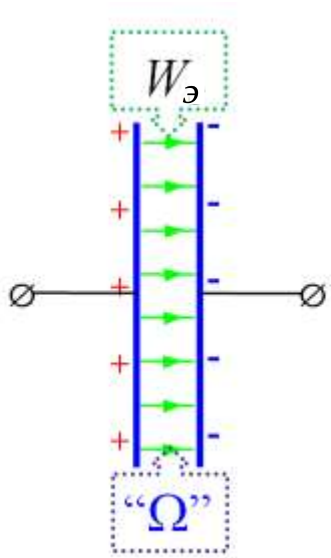
$$W_э = \frac{q^2}{2C}$$

или $$W_э = \frac{Cu^2}{2}$$

копить заряд / сгущать поле → копить энергию **!!**

$$W_э = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot V$$

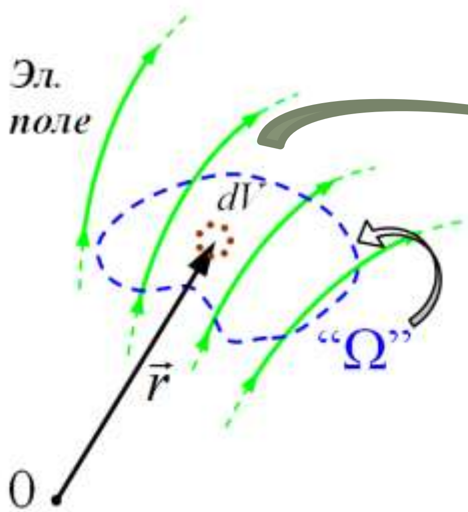
Энергия заряженного конденсатора ≡ Энергия электрического поля



$$W_э = \frac{Cu^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}\cdot V$$??

плотность энергии электрического поля

$$\boxed{w_э = \frac{\delta W_э}{dV}} \Rightarrow w_э = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$!!



$$w_э = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2(\vec{r})}{2} \Rightarrow$$

$$W_э = \frac{\varepsilon_0\varepsilon}{2}\int_{"\Omega"} E^2(\vec{r})\,dV$$

Применение конденсаторов