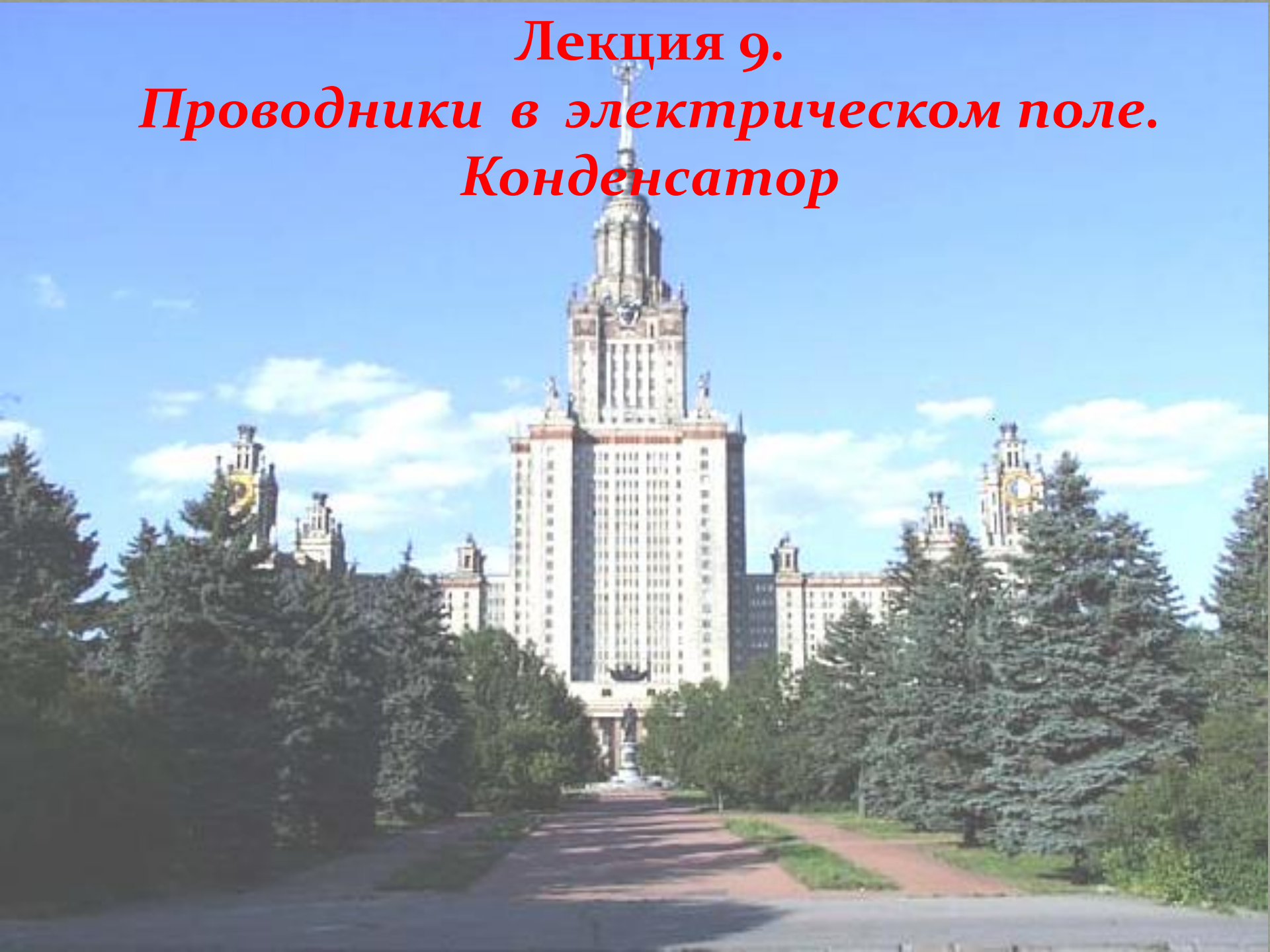
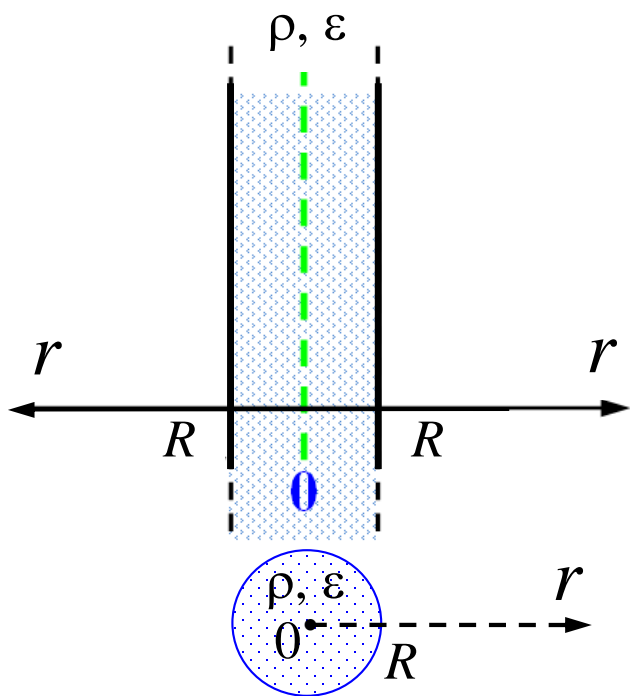


Лекция 9.
Проводники в электрическом поле.
Конденсатор



Пример. Бесконечный цилиндрический стержень радиуса R заряжен равномерно с объёмной плотностью ρ ; диэлектрическая проницаемость материала стержня равна ϵ . Найти $\varphi(r)$: а) внутри и б) вне этого стержня. * (“ключ” к задачам: 7.4; 7.10 – 7.12; 7.14,6; 7.17)

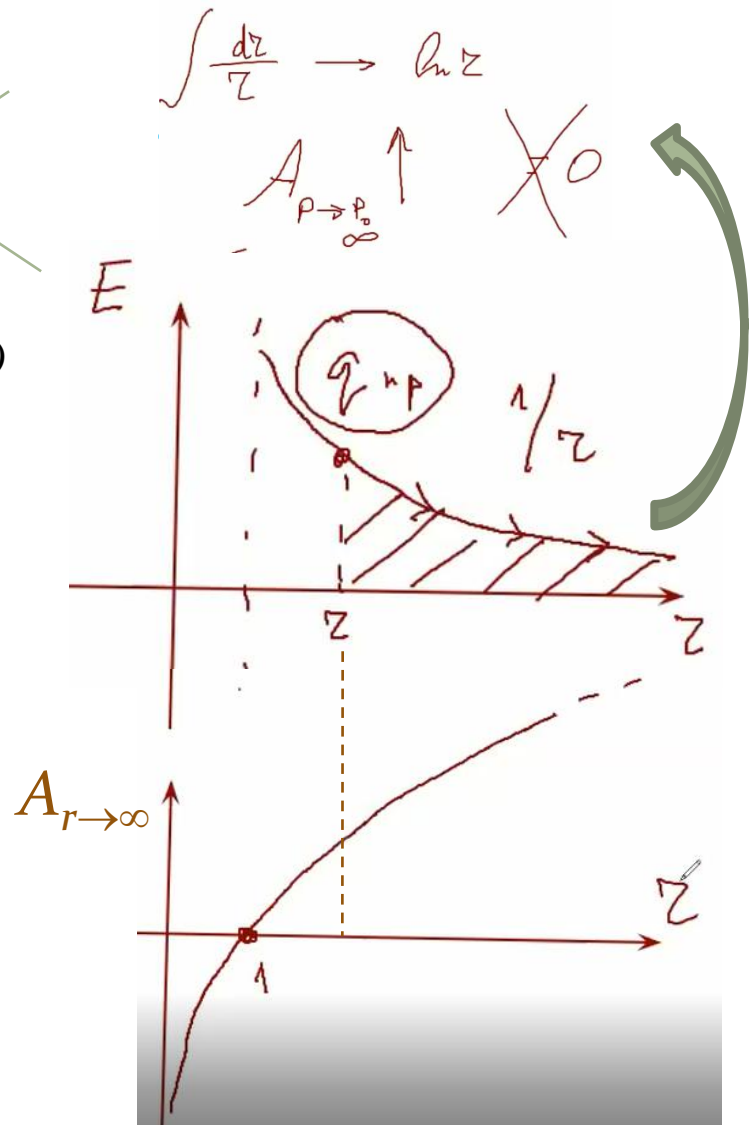
1. Рисунок! **2. Нормировка!**



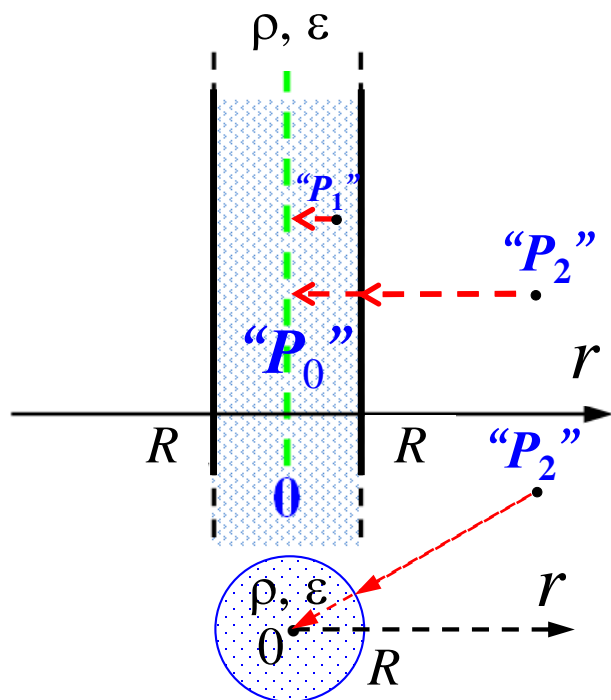
~~$\varphi(\infty) = 0$~~

? Нет! (графики)

$$E^{(вне)}(r) = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r},$$



3. Выбор траектории



$$\varphi_P = \int_{(P)}^{(P_0)} (\vec{E}, d\vec{l})$$

траектория – любая ??

а) “P₁” – внутри (r ≤ R) :

$$\varphi_P = \int_{(P_1)}^{(P_0)} (\vec{E}, d\vec{l}) = \int_r^0 E(r) dr = \int_r^0 \frac{\rho \cdot r}{2\epsilon\epsilon_0} dr = \frac{\rho \cdot r^2}{4\epsilon\epsilon_0} \Big|_r^0 \Rightarrow$$

(r ≤ R)



$$\varphi(r)^{\text{(внутри)}} = -\frac{\rho}{4\epsilon\epsilon_0} r^2$$



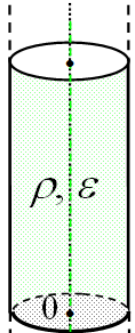
б) “ P_2 ” вне ($r > R$) : *(вот тут положительное будет ☺)

$$\varphi_P = \int_{(P_2)}^{(P_0)} (\vec{E}, d\vec{l}) = \int_r^R \frac{\rho \cdot R^2}{2\epsilon_0 r} dr + \int_R^0 \frac{\rho \cdot r}{2\epsilon\epsilon_0} dr = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln r \Big|_r^R + \frac{\rho \cdot r^2}{4\epsilon\epsilon_0} \Big|_R^0 \Rightarrow$$

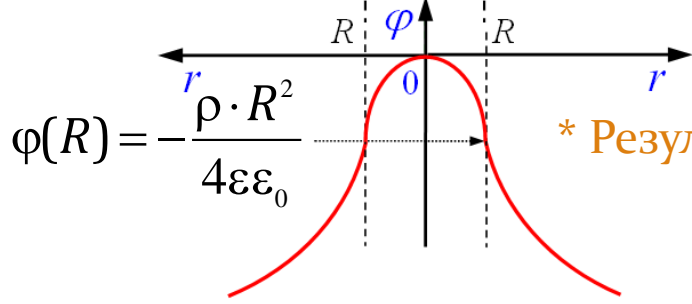
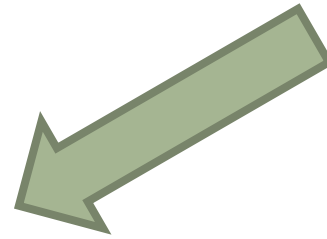
$(r > R)$



$$\varphi(r) = -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{r}{R} - \frac{\rho \cdot R^2}{4\epsilon\epsilon_0}$$



**Вот, “как это работает”,
и вот, что мы получили!**



* Результаты “сшиваются” : нет «скачков» потенциала!

9.5. Энергия взаимодействия системы зарядов

Мы знаем:

$$\varphi(x, y, z) = \frac{U(x, y, z)}{q_{np}}$$

Энергия т.з. в электрическом поле: $U = q \cdot \varphi(x, y, z)$

“Источник поля”



а) Два заряда:

$$U_{21} = q_2 \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r}$$



А можно наоборот? Вот так:

($U \equiv W_{21}$)

$$W_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$U_{12} = q_1 \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_2}{r}$$

“Источник поля”

Результат один:

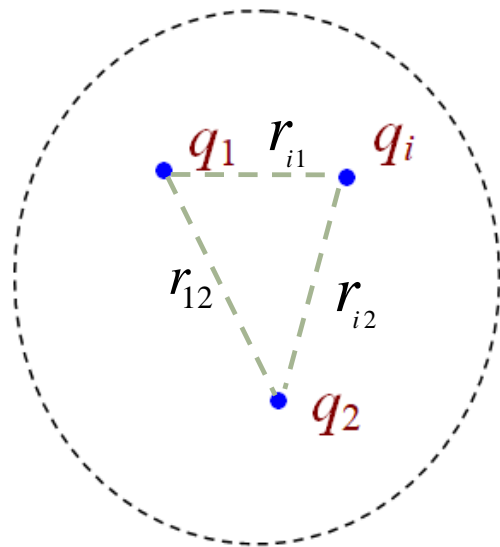
или

$$W_{12} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_2 q_1}{r} \right\}$$

А зачем так
сложно ??

Вот зачем :
(а если “зарядов много”?)

б) Система состоит из N зарядов:



$$W_{\text{э}} = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^N \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_i q_j}{r_{ij}} \right)$$

Это энергия электрического взаимодействия

СИСТЕМЫ

заряженных частиц и тел

!!

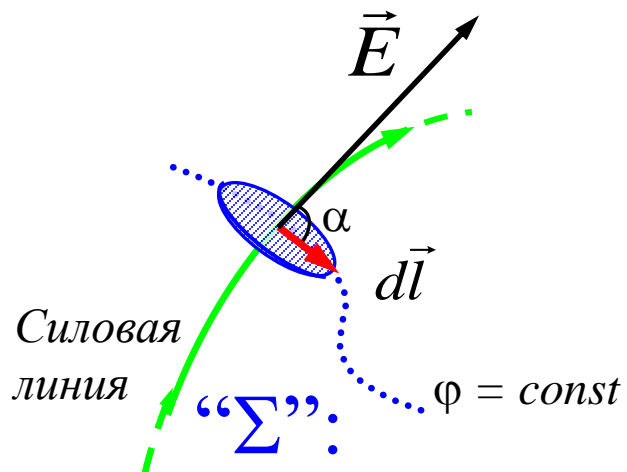
энергия электрического поля

9.6. Заключительные замечания к §9

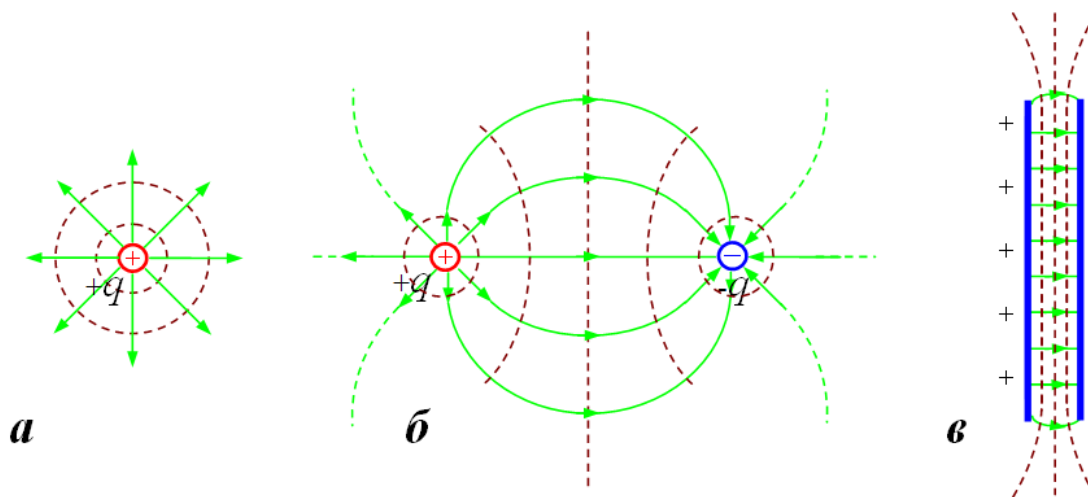
φ - зачем?

1. скалярная!;
2. легко измерять;

3. Эквипотенциальные поверхности –
поверхности $\varphi = \text{const}$:



Примеры:



§ 10. Проводники в электрическом поле

10.1. Поле заряженного проводника

- 1. Напряжённость электрического поля в проводниках равна нулю;

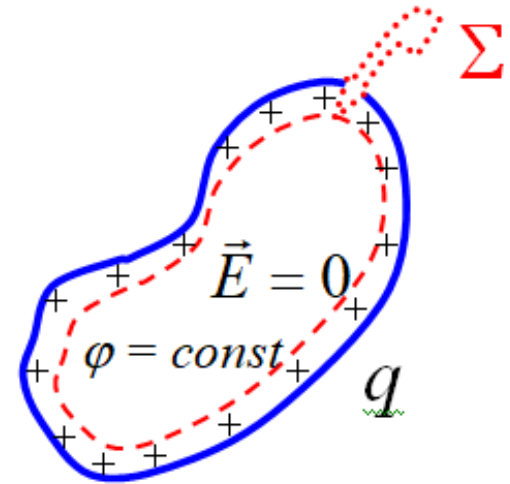
$$\vec{E}^{(внутри)} = 0;$$

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

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \Rightarrow \varphi = const;$$

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

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



$$\Phi_E = \oint_{\Sigma} (\vec{E}, d\vec{S}) = 0$$



$$\Sigma q^{(внутри)} = 0 \quad !!$$

“любая поверхность Σ внутри”

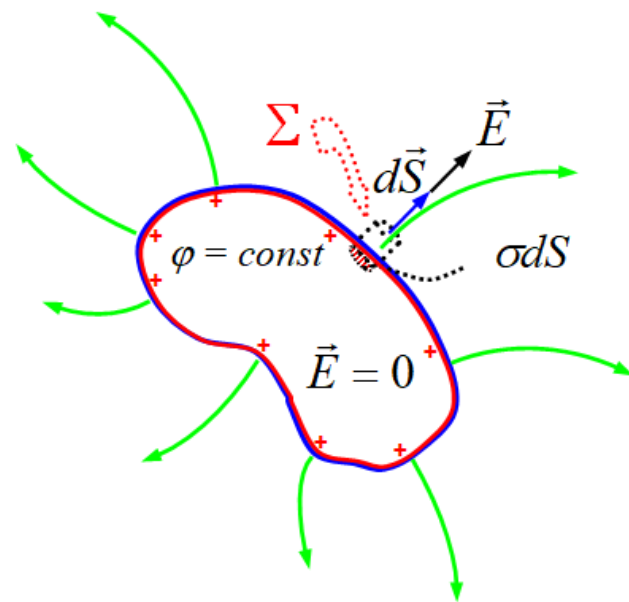
Поле снаружи вблизи поверхности проводника ??

- 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;

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

$$E \cdot dS = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sigma \cdot dS.$$

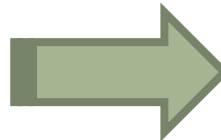
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$$



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

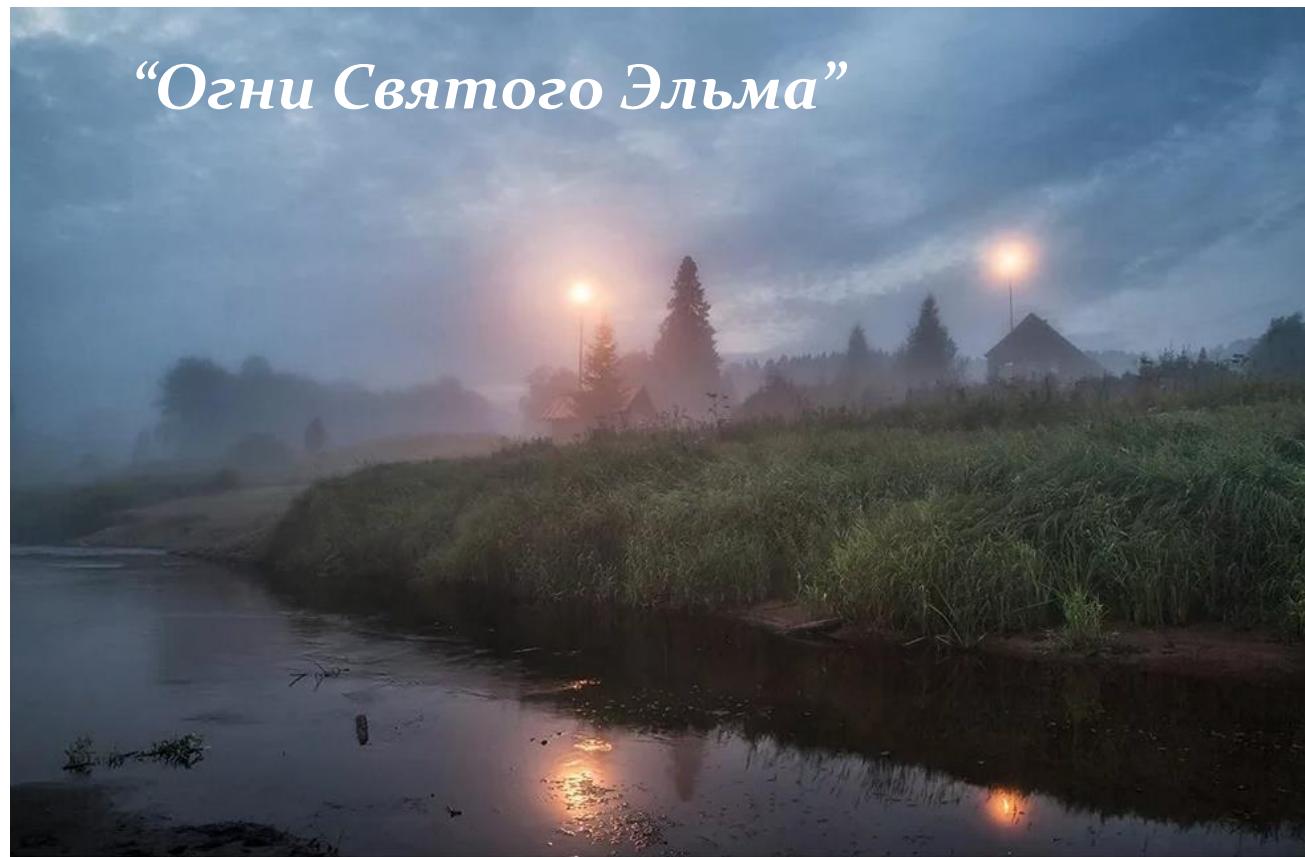
$$\sigma \sim \frac{1}{R_{кр}} \Rightarrow$$

$$E \sim \frac{1}{R_{кр}}$$



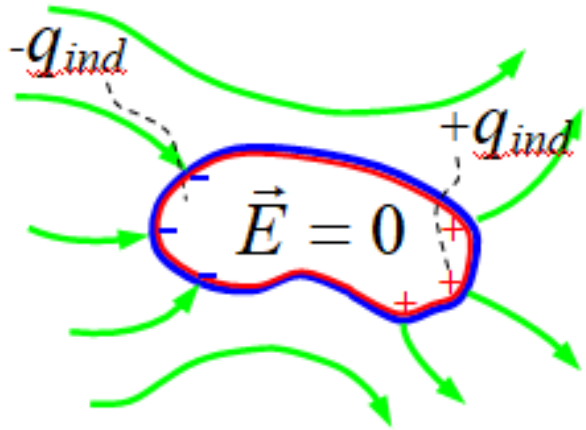
“Огни Святого Эльма”

“Огни Святого Эльма”

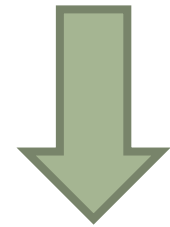
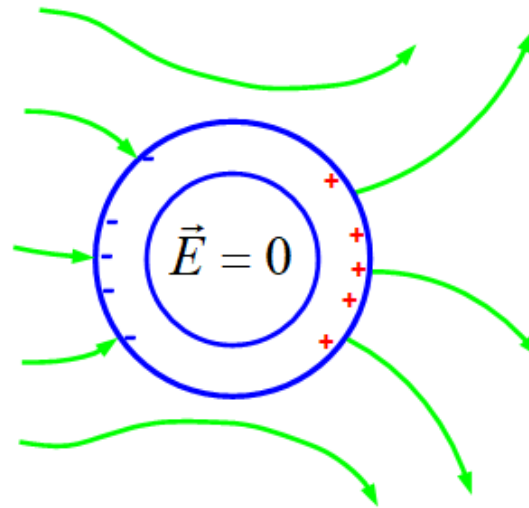


А ещё
“Туннельный микроскоп”

10.2. Проводники во внешнем электрическом поле. (Проводящие оболочки. Теоремы Фарадея)



“Электростатическая защита”

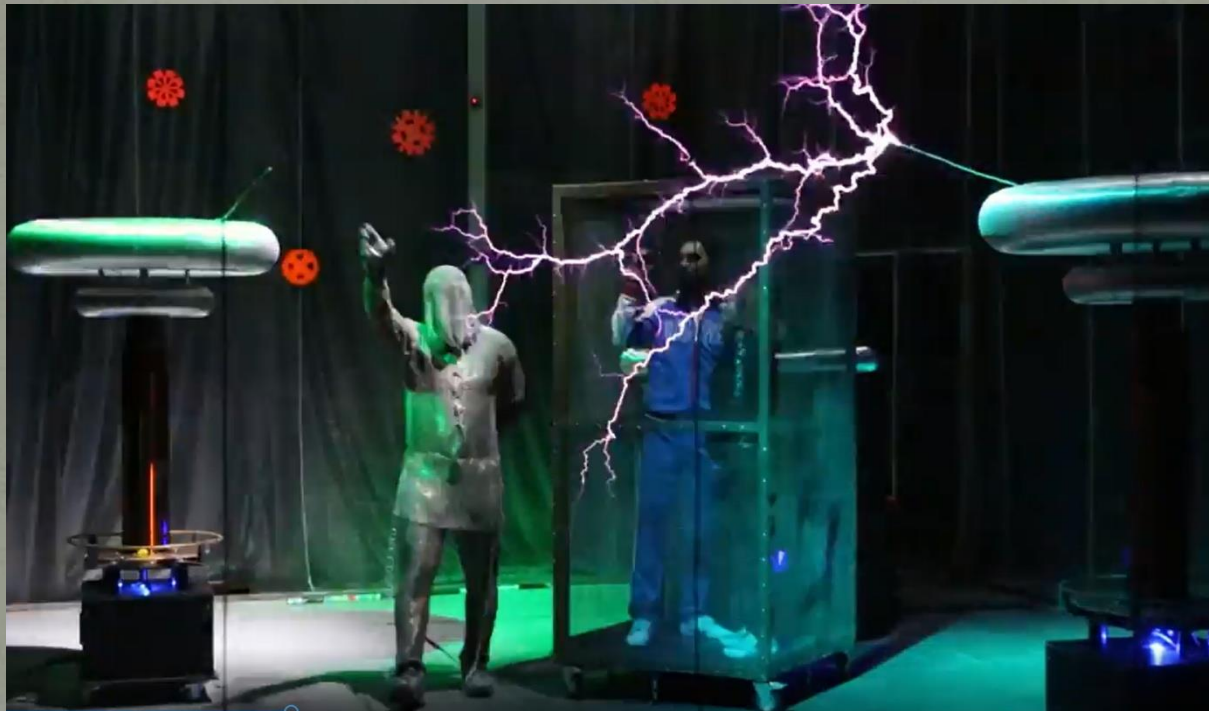


“Клетка Фарадея”

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

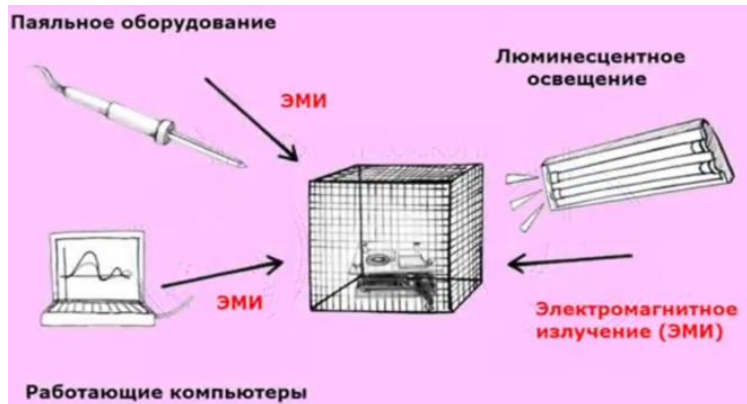
“Электростатическая защита”

Шоу “Клетка Фарадея”

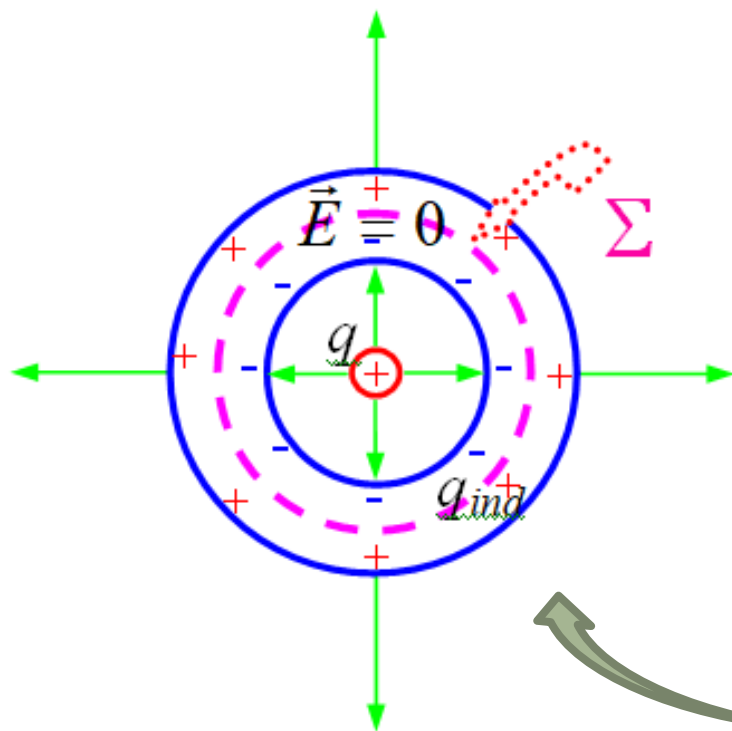


“Клетка Фарадея”

“Электростатическая защита”



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



$$\oint_{\Sigma} (\vec{E}, d\vec{S}) = \frac{1}{\epsilon_0} \left(\sum_i q_i + q_{ind} \right) \Rightarrow$$

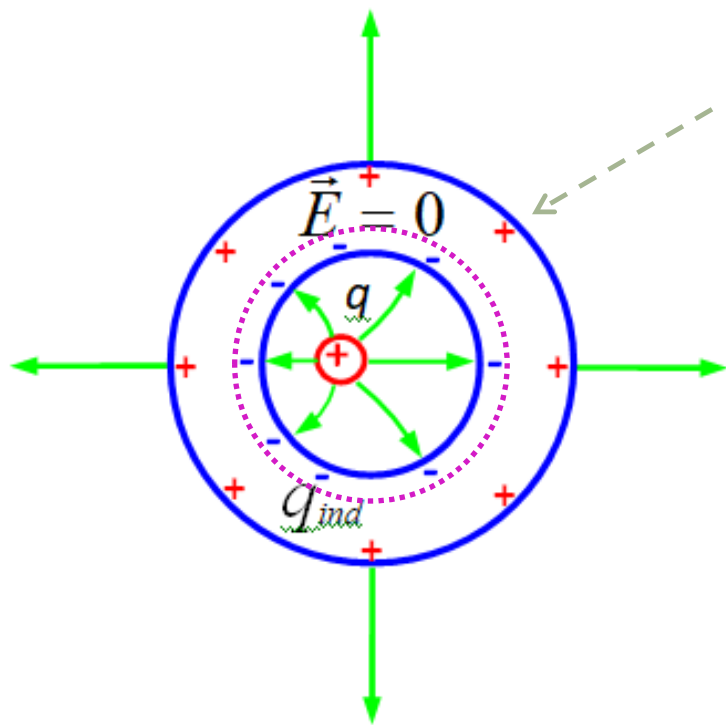
$$= 0!$$

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



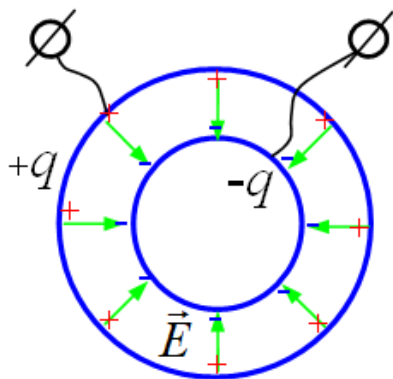
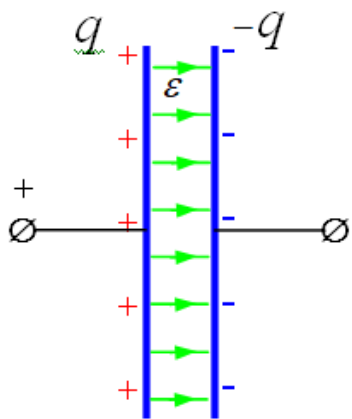
$$q_{ind} = - \left(\sum_{\text{внутр. пов.}} q_i \right)$$

Оболочка НЕ экранирует внешнюю область пространства от заряда внутри

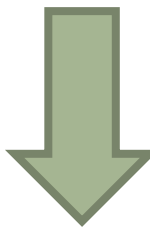
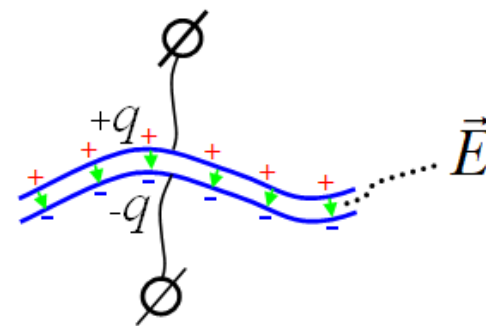


10.3. Конденсаторы. Электроёмкость конденсаторов

“Конденсатор” ?? – копить заряд / сгущать поле
(конденсировать)



...

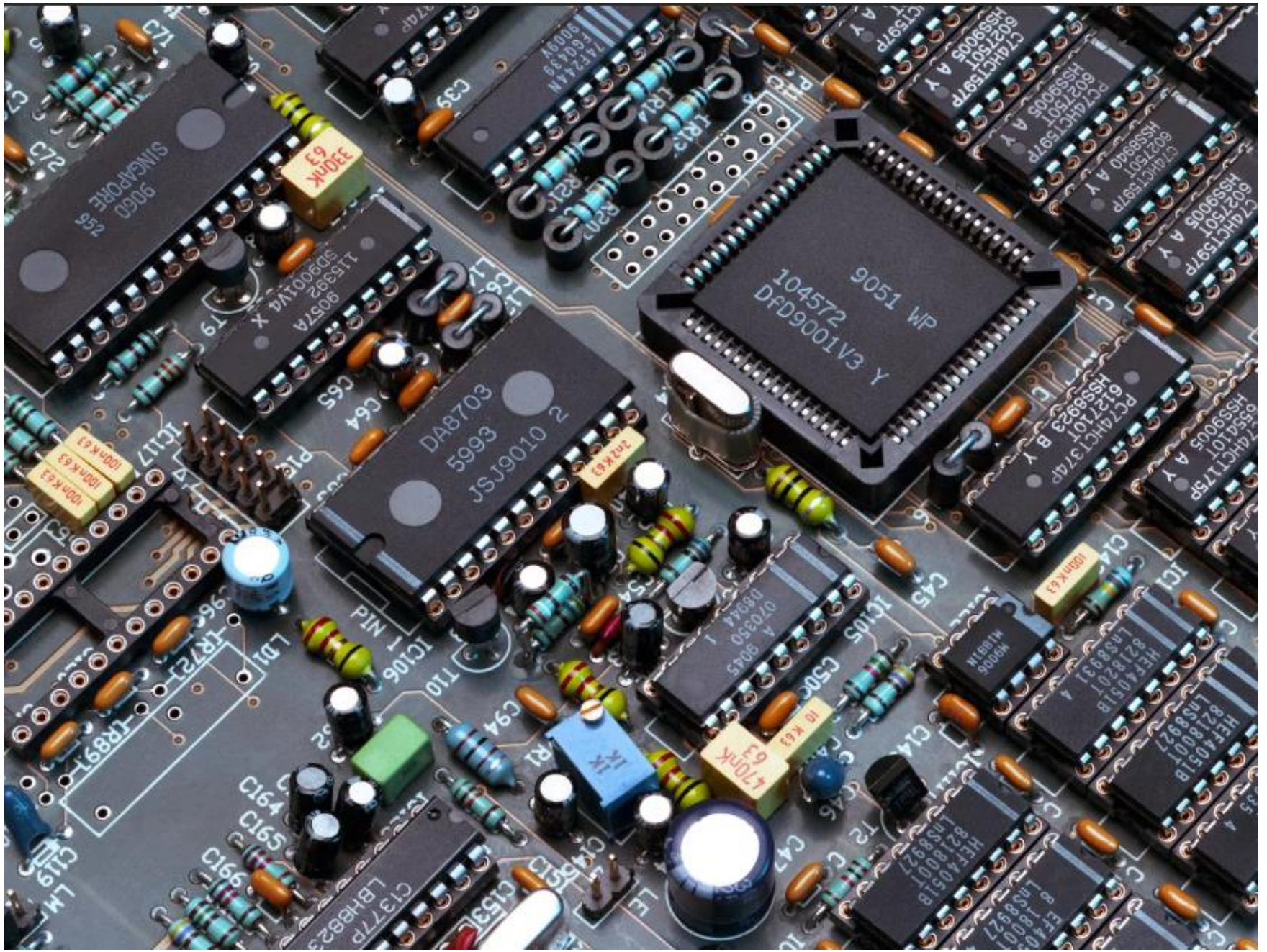


➡ **(Опр.)** Конденсатором называется система, состоящая из двух проводников, между которыми возникает изолированное от внешних тел электрическое поле при сообщении проводникам равных по модулю и противоположных по знаку зарядов

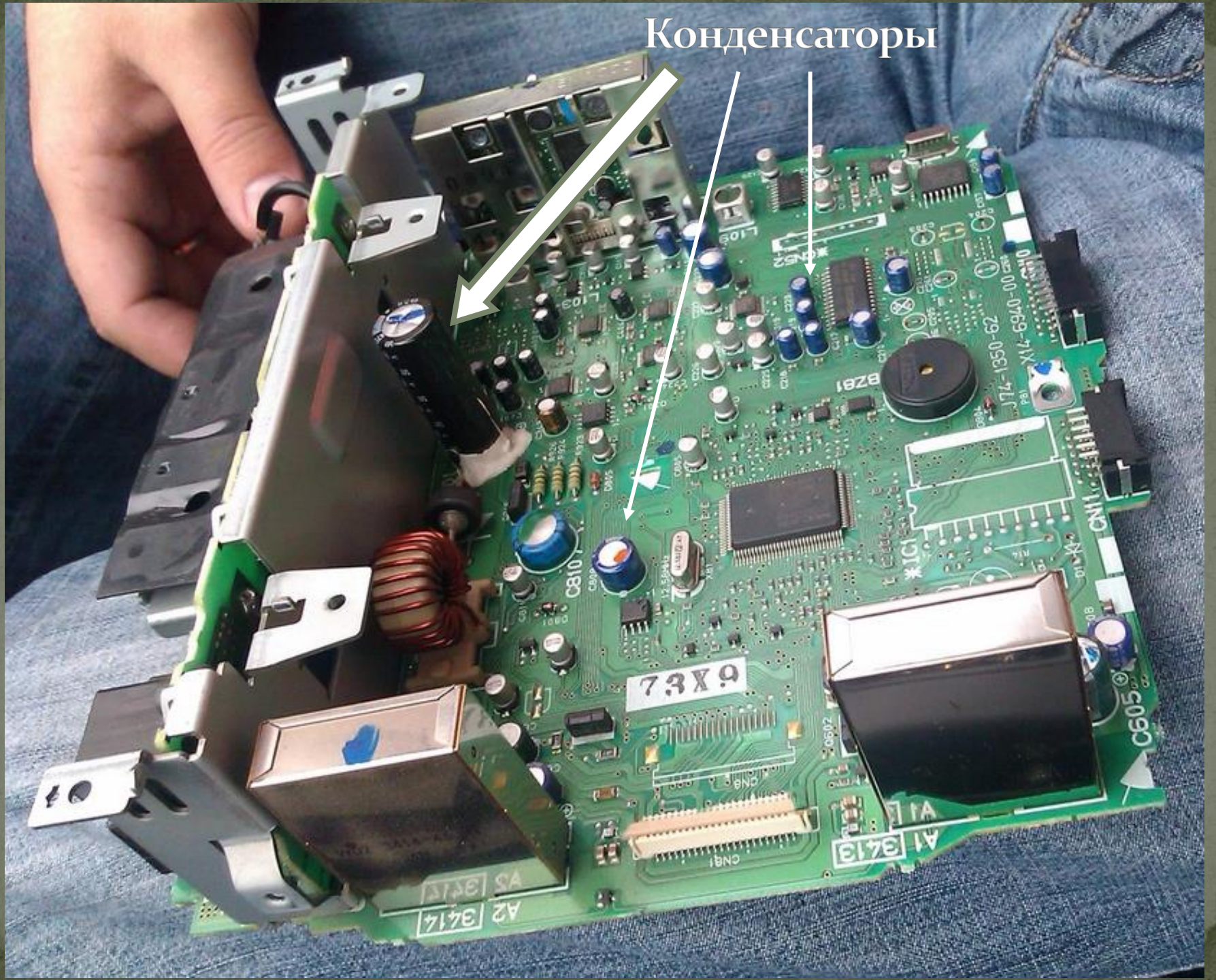
Конденсаторы



“Печатная плата”



Конденсаторы



“Ёмкость” ??

– характеризует способность
копить заряд:

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



$V, \text{ л?}$

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

$$\frac{\dots \text{ Кл}}{1 \text{ В}} = \dots \Phi$$

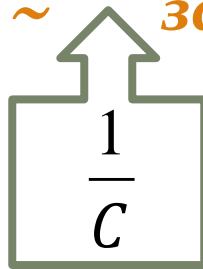
“Фарада”

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

Нет зависимости от
окружающих тел !!

$$\int_{(1)}^{(2)} (\vec{E}, d\vec{l})$$

~ заряд на обкладках (q)



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

А ещё ??

- 4. диэлектрическая проницаемость (ϵ)

*Коронный разряд и “Огни Святого Эльма”
полезные ссылки:*

<https://www.youtube.com/watch?v=1T8FRhLCUJM>

<https://www.youtube.com/watch?v=35gu43SeHgk>