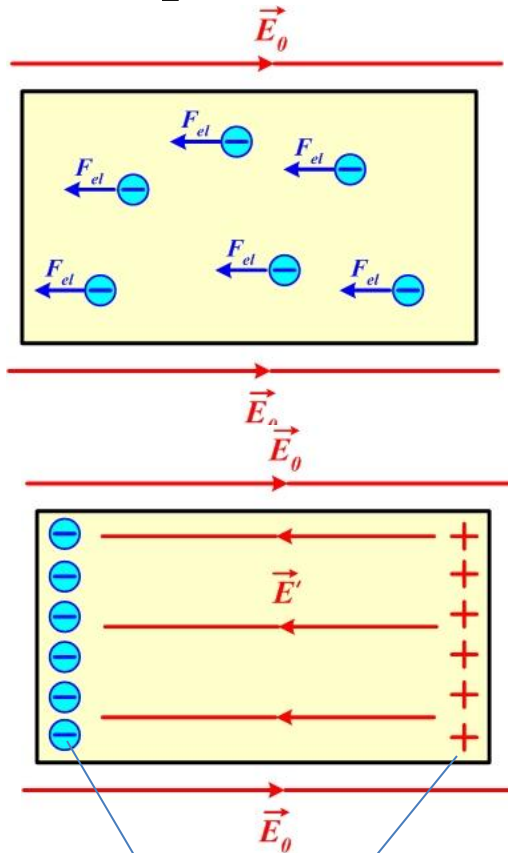


# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

ПРОВОДНИКИ В  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ.  
ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. ЭНЕРГИЯ



# 1. Проводник во внешнем электростатическом поле



**Индукционные заряды**

Типичными проводниками - металлы (количество свободных носителей заряда - электронов проводимости - составляет примерно  $10^{22} \text{ см}^{-3}$ )

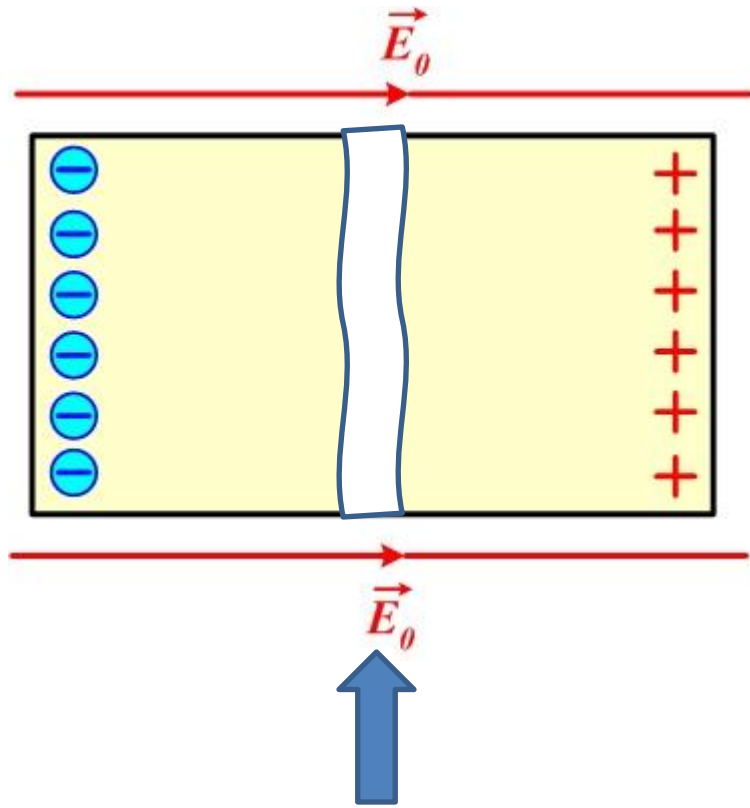
**В состоянии равновесия:**

$$\vec{F} = q\vec{E} = q(\vec{E}_0 + \vec{E}') = 0.$$

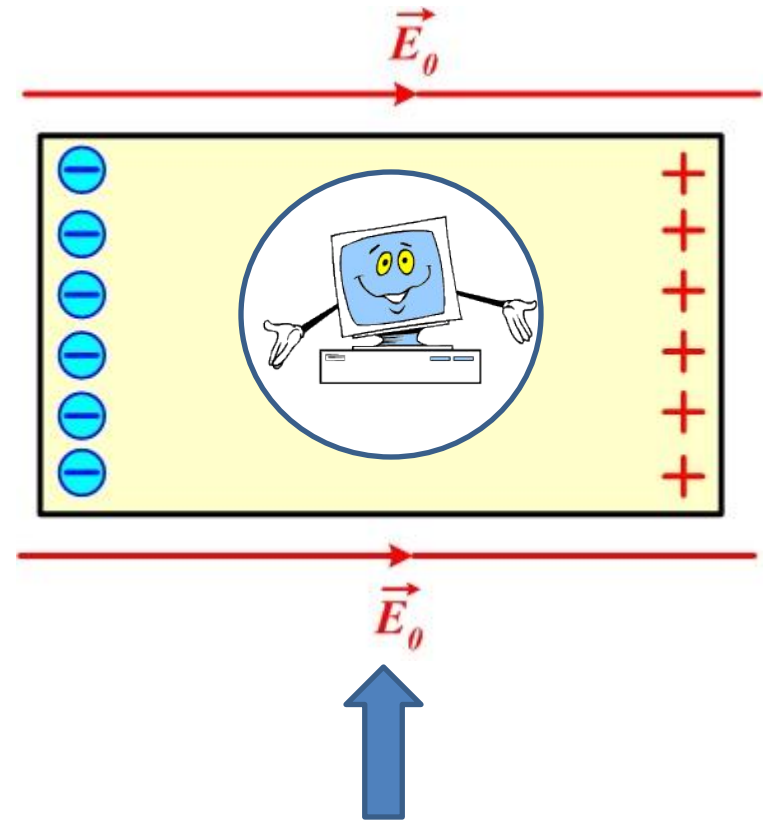
$$|\vec{E}_0| = |\vec{E}'| \quad \vec{E} = 0.$$

Перераспределение зарядов в проводнике под действием внешнего электростатического поля называется **явлением электростатической индукции.**

Индукцированные заряды располагаются на поверхности проводника. Они исчезают после удаления проводника из электростатического поля.



Так можно получить два заряженных тела, с одинаковыми по величине, но противоположными по знаку зарядами.



Принцип электростатической защиты (экранирование)

Во всех точках внутри проводника напряженность равна нулю.  
Согласно теореме Гаусса

$$q = \varepsilon_0 \oint_S \vec{E} dS = 0$$

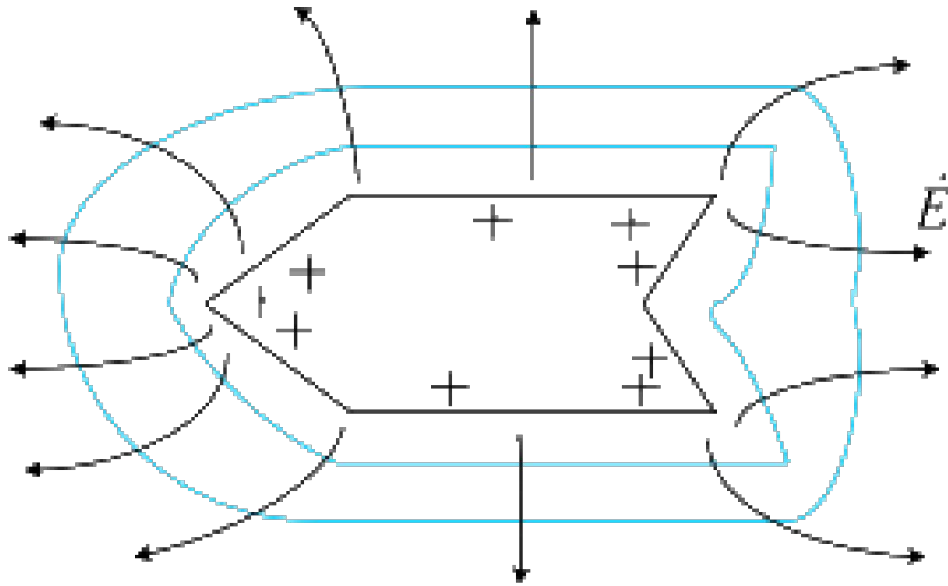
$$\left. \begin{array}{l} \vec{E} = 0, \\ q = \int_V \rho dV, \\ q = 0, \end{array} \right\} \longrightarrow \rho = 0.$$

**Вывод:** внутри проводника объемная плотность свободного заряда  $\rho$  равна нулю, а сам заряд располагается на его поверхности.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Внутри проводника } \vec{E} = 0. \\ \vec{E} = -\text{grad}\varphi, \end{array} \right\} \longrightarrow \varphi = \text{const}.$$

*Поверхность проводника является эквипотенциальной поверхностью и весь объем проводника представляет собой эквипотенциальную область*

## 2. Поле заряженного проводника



В состоянии равновесия:

$$\vec{E} = 0. \quad \varphi = const.$$

$$\rho = 0. \quad E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

**Вблизи поверхности проводника за его пределами напряженность направлена перпендикулярно поверхности. Вблизи выступов на поверхности проводника градиент потенциала, величина напряженности и поверхностная плотность заряда возрастают, вблизи впадин уменьшаются.**

### 3. Электрическая емкость

$$\varphi = C^{-1}q$$

$C$  - электрическая емкость проводника       $[C] = \Phi - \text{фарада}$

$C$  уединенного проводника зависит от его формы, размеров и диэлектрических свойств среды, в которой находится проводник, а также электрических свойств, расположения, форм и размеров окружающих тел.

Практический интерес представляет система проводников, электростатическое поле которых полностью сосредоточено в объеме, занимаемом этой системой → **конденсатор!**

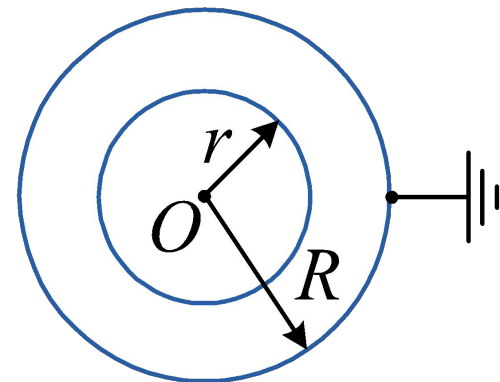
$$q = C(\varphi_1 - \varphi_2) = CU \quad - \text{заряд на одной из обкладок конденсатора}$$

$U$  – разность потенциалов двух обкладок (для конденсатора ~ напряжению)

1. Два металлических шара радиусом  $r=2\text{см}$  и  $R=6\text{см}$  соединены проводником, емкостью которого можно пренебречь. Шарам сообщили заряд  $Q=1\text{нКл}$ . Найти поверхностную плотность заряда, установившуюся на шарах.



2. Две проводящие вложенные сферы радиусами  $r = 0,05$  м и  $R = \frac{3}{2}r$  имеют общий центр (см. рисунок). Внешняя сфера заземлена, а внутренней сообщили заряд  $q = 6 \cdot 10^8$  Кл. Потенциал внутренней сферы равен (3,6 кВ)



3. Две концентрические сферы имеют радиусы 8 и 10 см. Внешняя сфера заряжена, а внутренняя – электрически нейтральна. Внутреннюю сферу заземляют с помощью тонкой проволоки, проходящей через маленькое отверстие во внешней сфере. Во сколько раз при этом уменьшится потенциал внешней сферы? (4)

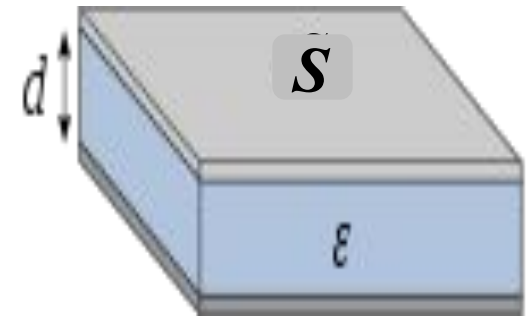
## Примеры вычисления емкости

### *1. Емкости уединенного сферического проводника*

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \longrightarrow C = 4\pi\epsilon_0 R$$

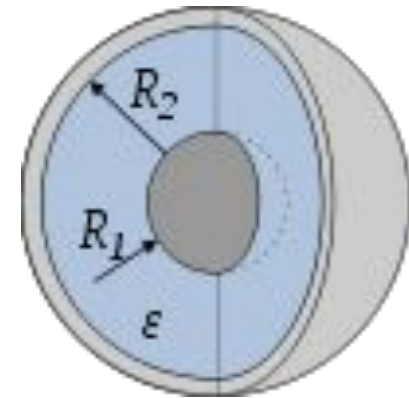
### *2. Емкости плоского конденсатора*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon} d = \frac{q}{\epsilon_0\epsilon S} d \longrightarrow C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d}$$



### *3. Емкости сферического конденсатора*

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \longrightarrow C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

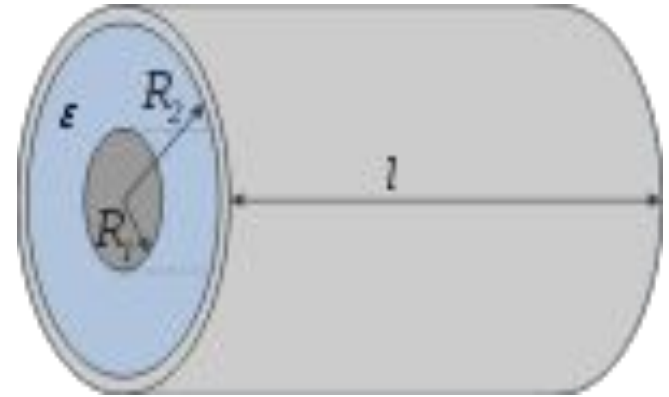


## 4. Электроемкости цилиндрического конденсатора

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon l} \ln \frac{R_2}{R_1}$$



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



## 4. Энергия электростатического поля

$$W = \frac{1}{2} q\varphi = \frac{1}{2} C\varphi^2 = \frac{1}{2C} q^2 \quad \text{Уединенного проводника}$$

$$W = \frac{1}{2} qU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2C} q^2 \quad \text{Конденсатора}$$

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \left| \begin{array}{l} C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \\ U = Ed \end{array} \right| = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V$$

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{ED}{2} = \frac{(\vec{E} \vec{D})}{2} \quad \text{Объемная плотность энергии}$$

$$W = \int_V \omega(\vec{r}) dV \quad \text{Вычисление энергии в случае неоднородного поля}$$

4. Плоский воздушный конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом  $R=10\text{ см}$  каждая. Расстояние между ними  $d=1\text{ см}$ . Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $\Delta\phi=1200\text{ В}$  и отключили от источника напряжения. Какую работу  $A$  надо совершить, чтобы раздвинуть пластины до расстояния  $b=3,5\text{ см}$  между ними?

5. Два плоских воздушных одинаковых конденсатора соединены последовательно в батарею, которая подключена к источнику с ЭДС 12 В. определить напряжение на конденсаторах  $U_1$  и  $U_2$ , если отключив батарею от источника, один из конденсаторов погрузить в масло. Диэлектрическая проницаемость масла равна 5.

6. Два плоских воздушных одинаковых конденсатора емкостью  $C_1=0,5\text{мкФ}$  и  $C_2=2\text{мкФ}$  зарядили до разности потенциалов  $U_1=200\text{В}$  и  $U_2=300\text{В}$  соответственно и соединили параллельно (одноименными обкладками). Найти изменение энергии конденсаторов.