

Концепции и модели физики

Кузьмичев Сергей Дмитриевич



Содержание лекции №8

- 1. Поляризация диэлектриков.**
- 2. Вектор поляризации.**
- 3. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков.**
- 4. Вектор электрической индукции.**
- 5. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.**
- 6. Граничные условия на границе двух диэлектриков.**
- 7. Электрическая ёмкость.**
- 8. Конденсаторы. Ёмкость плоского, сферического и плоского конденсаторов.**

Поляризация диэлектриков

Свободные заряды могут оказаться в любой точке вещества.

Связанные заряды могут смещаться на небольшие расстояния относительно равновесного положения.

Диэлектрики – вещества с малым количеством свободных зарядов (плохо проводят электрический ток).

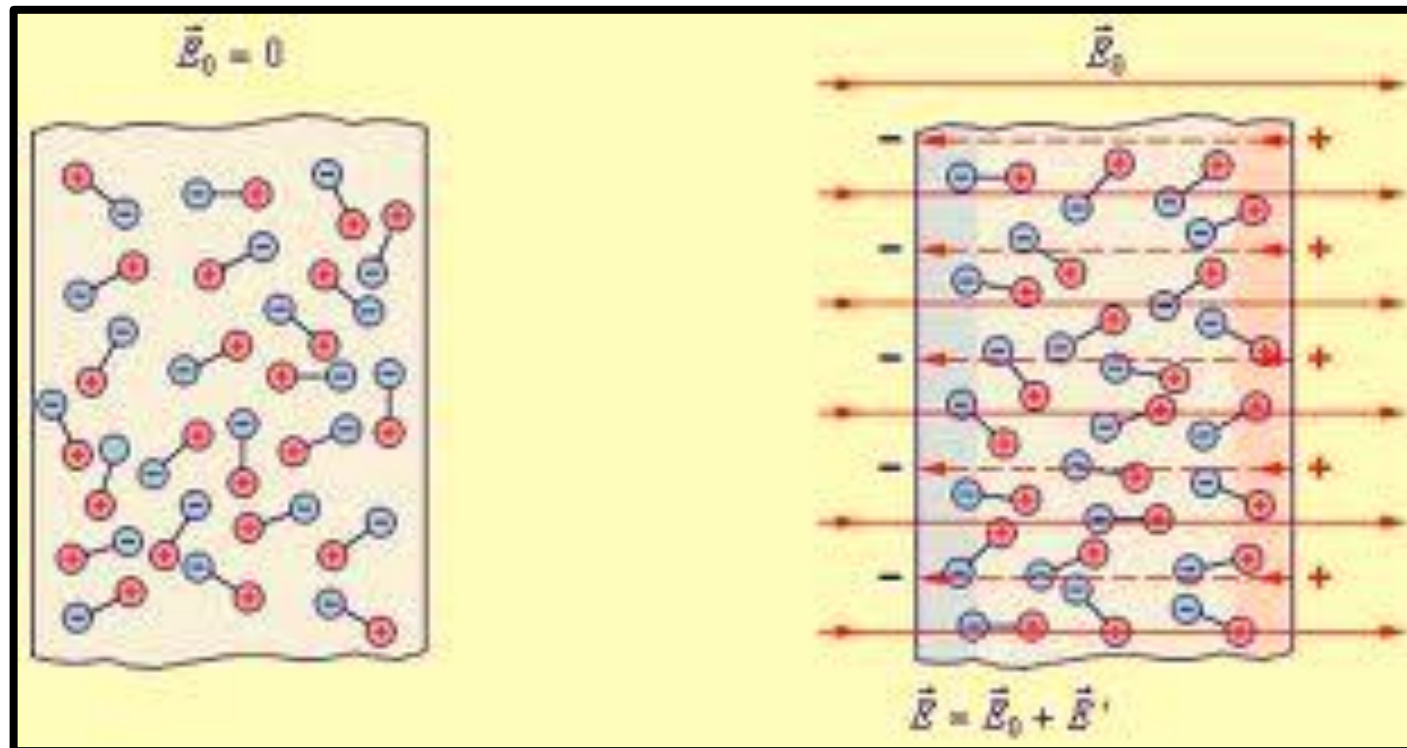
Поляризация – пространственное перераспределение связанных зарядов в веществе, приводящее к появлению объёмного дипольного момента.

Причины поляризации – электрическое поле, механическое воздействие (пьезоэлектрики), изменение температуры (пироэлектрики, сегнетоэлектрики).

Механизмы поляризации диэлектриков

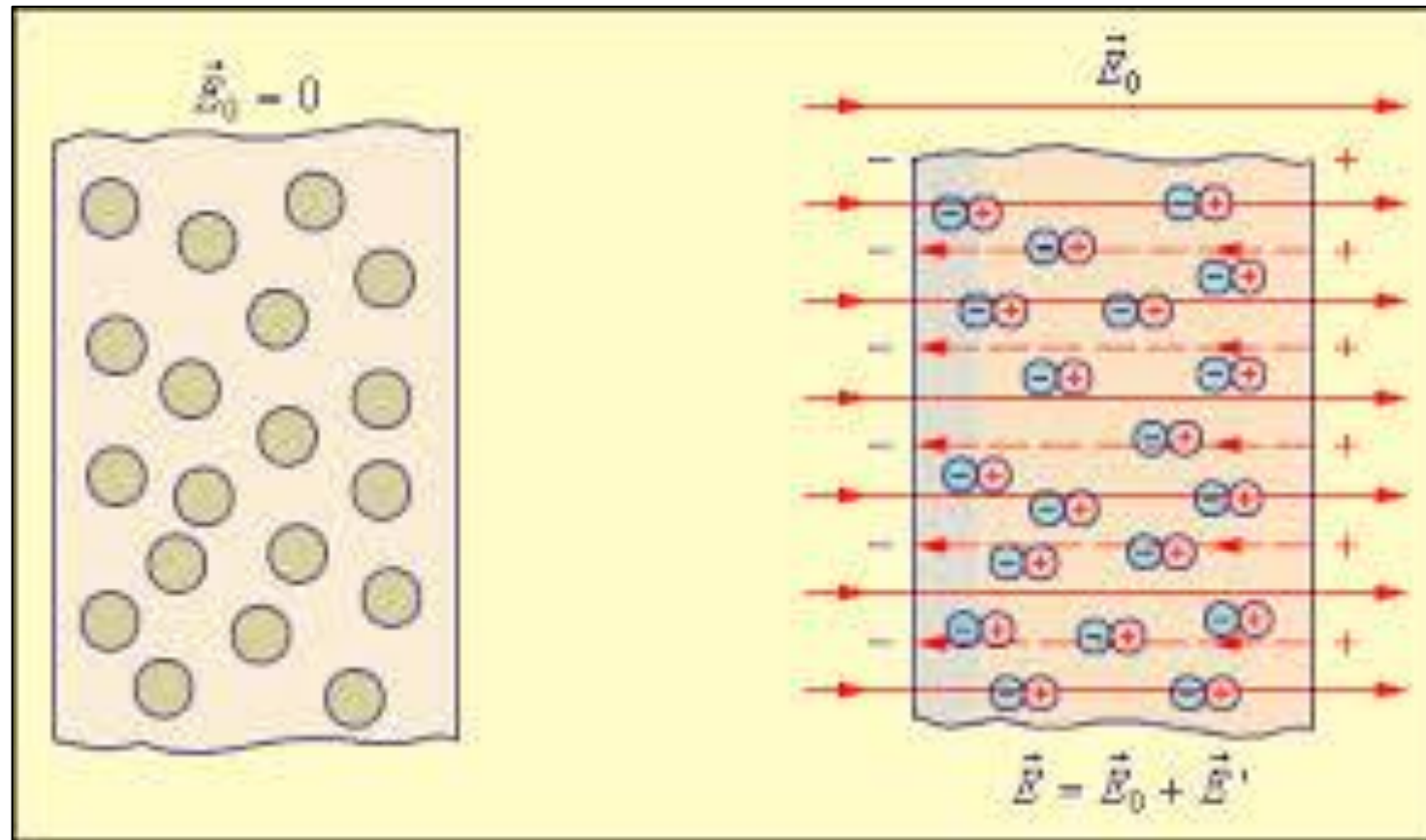
В диэлектрике с жёсткими диполями под действием внешнего электрического поля происходит ориентация (разворот) диполей по направлению поля. Тепловое движение стремится разориентировать диполи.

Примеры веществ: H_2O , HCl , HBr , NH_3 , HCN .

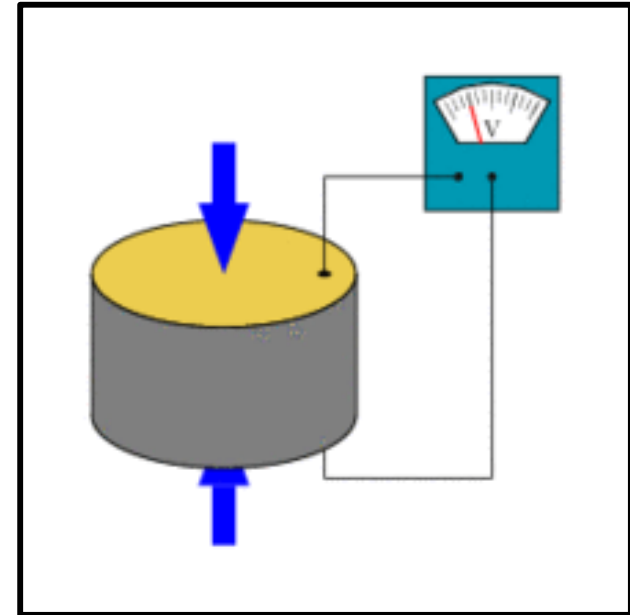
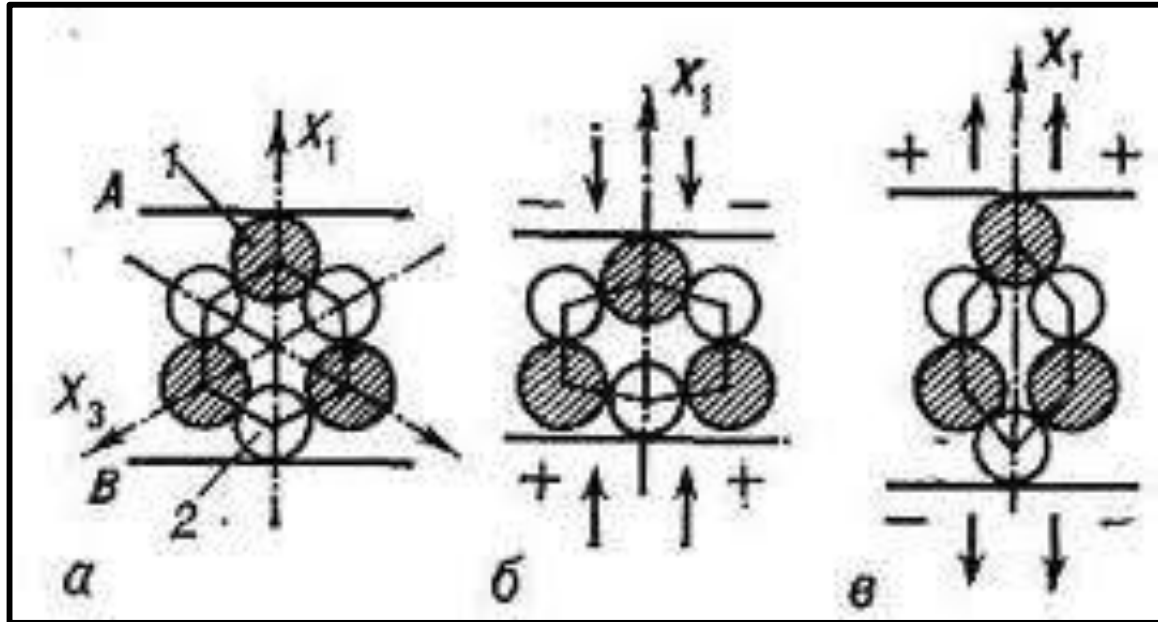


В диэлектрике с **упругими диполями** под действием внешнего электрического поля происходит смещение зарядов внутри молекулы, приводящее к появлению дипольного момента.

Примеры веществ: $H_2, N_2, CO_2, NaCl$.



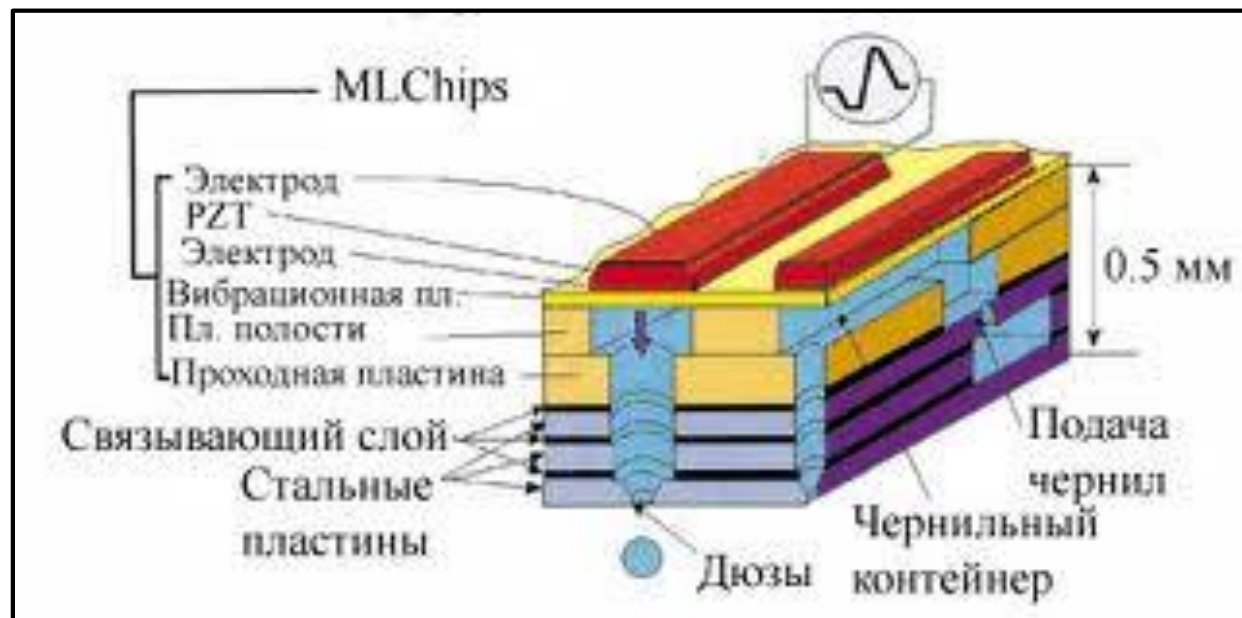
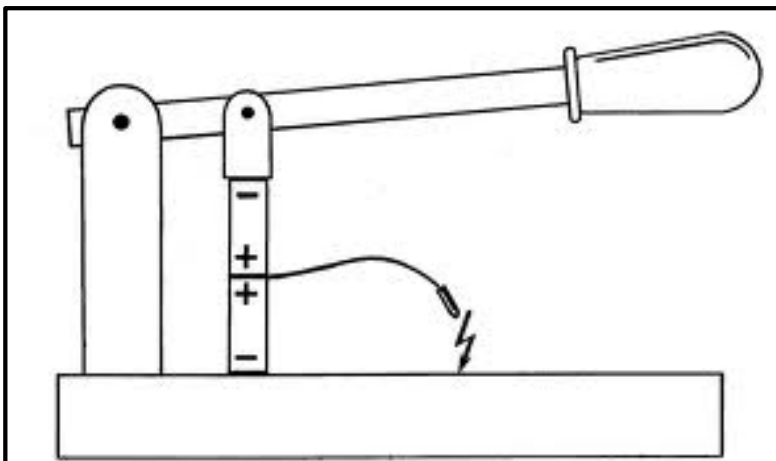
В пьезоэлектриках поляризация возникает при механическом воздействии. Примеры веществ: кварц (SiO_2).



$$P = 10^5 \text{ Па}, \quad \sigma = 2,33 \times 10^{-7} \text{ Кл} / \text{м}^2, \quad E \gg 240 \text{ В} / \text{см},$$

$$h = 0,5 \text{ см}, \quad \Delta\varphi = 120 \text{ В}.$$

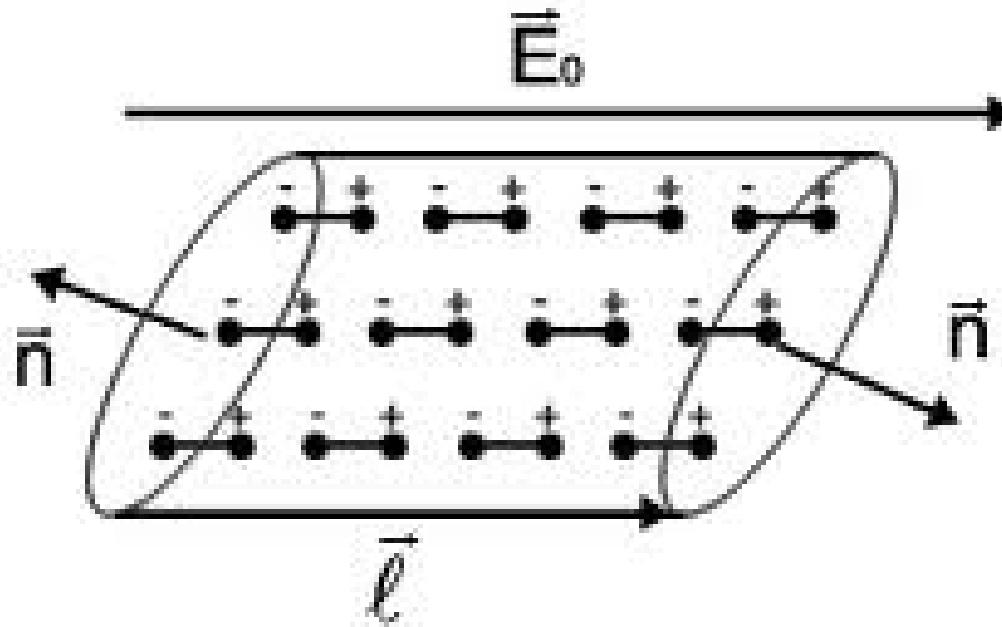
Применение пьезоэлектриков: датчики давления, детонаторы, кварцевые резонаторы для высокостабильных генераторов частоты, пьезозажигалка, медицинская диагностика с помощью УЗИ, сканирующая зондовая микроскопия (перемещение зонда с точностью 0,01 Å).



Вектор поляризации \vec{P} - дипольный момент единицы объёма.

Поверхностная плотность поляризационного заряда

$$\sigma = \vec{P} \cdot \vec{n} = P_n$$



Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектриках
(в дифференциальной форме)

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi\rho = 4\pi(\rho_{св} + \rho_{пол}),$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi(\rho_{св} - \operatorname{div} \vec{P}),$$

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P},$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho_{св}$$

\vec{D} - вектор индукции электрического поля

Теорема Гаусса для электрического поля в диэлектриках
(в интегральной форме)

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = 4\pi q_{своб}$$

Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость

В слабых полях

$$\vec{P} = \alpha \vec{E}$$

α - поляризуемость среды

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\alpha \vec{E} = (1 + 4\pi\alpha) \vec{E}$$

$\epsilon = 1 + 4\pi\alpha$ - диэлектрическая проницаемость среды

Диэлектрическая проницаемость «газа» из металлических шариков

$$\vec{p} = R^3 \vec{E}, \quad \vec{P} = n\vec{p} = nR^3 \vec{E},$$

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi nR^3 \vec{E} = (1 + 4\pi nR^3) \vec{E}, \quad \epsilon = 1 + 4\pi nR^3$$

Напряжённость электрического поля точечного заряда в среде с постоянной диэлектрической проницаемостью

$$\vec{E} = \frac{q}{\epsilon r^3} \vec{r}$$

Диэлектрическая проницаемость некоторых веществ

Вещество	ϵ
Вода (20°С)	81
Глицерин	39
Парафин	2,5
Стекло	7
Титанат бария	1250-10000
Резина	7
Воздух	1,00025

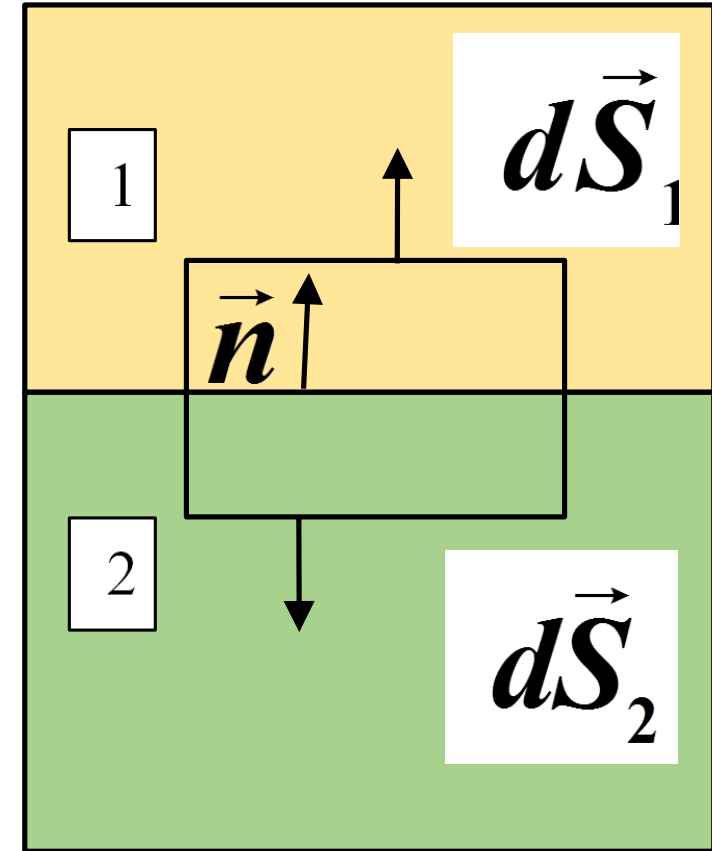
Граничные условия для вектора индукции

Из теоремы Гаусса для нормальных компонент индукции электрического поля по обе стороны от границы раздела

$$D_{1n} - D_{2n} = 4\pi\sigma_{\text{своб}}$$

D_{1n} , D_{2n} - проекции векторов напряженности по обе стороны от границы на вектор \vec{n} единичной нормали

σ - поверхностная плотность свободного заряда на границе раздела.

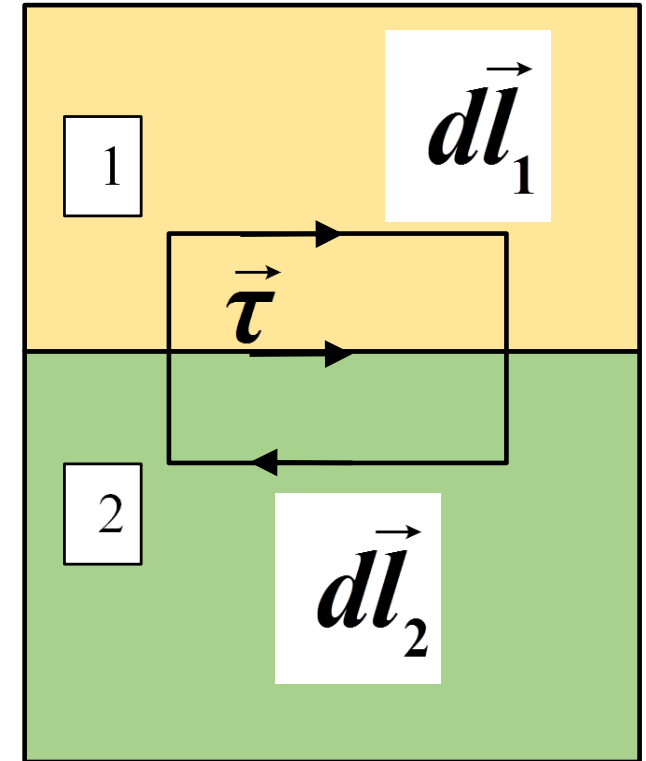


Граничные условия для вектора напряжённости

Из теоремы для тангенциальных (касательных) компонент напряжённости электрического поля по обе стороны от границы

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

$E_{1\tau}, E_{2\tau}$ - проекции векторов напряжённости по обе стороны от границы на вектор $\vec{\tau}$ единичной касательной



Электрическая ёмкость

Электрическая ёмкость **уединённого проводника**

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

Ёмкость шарика радиуса R , находящегося в вакууме

$$\varphi = \frac{q}{R}, \quad C = \frac{q}{\varphi} = R$$

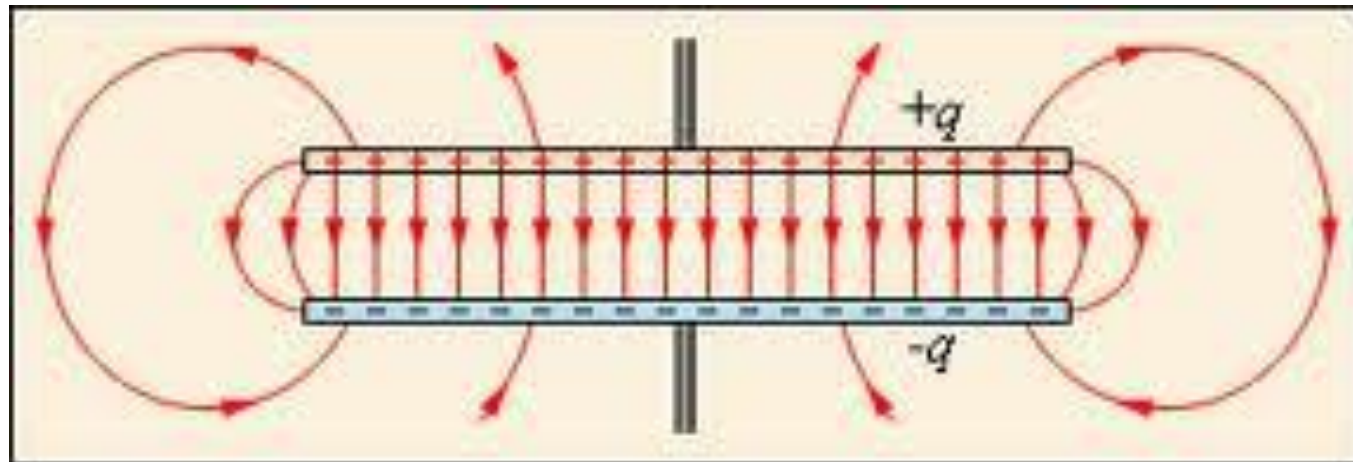
Электрическая ёмкость конденсатора.

Конденсатор – система из двух проводников, заряженными одинаковыми по модулю, но противоположными по знаку зарядами

$$\Delta\varphi = \varphi_+ - \varphi_-,$$

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}, \quad q = C \cdot (\varphi_+ - \varphi_-)$$

Электрическая ёмкость **плоского** конденсатора.



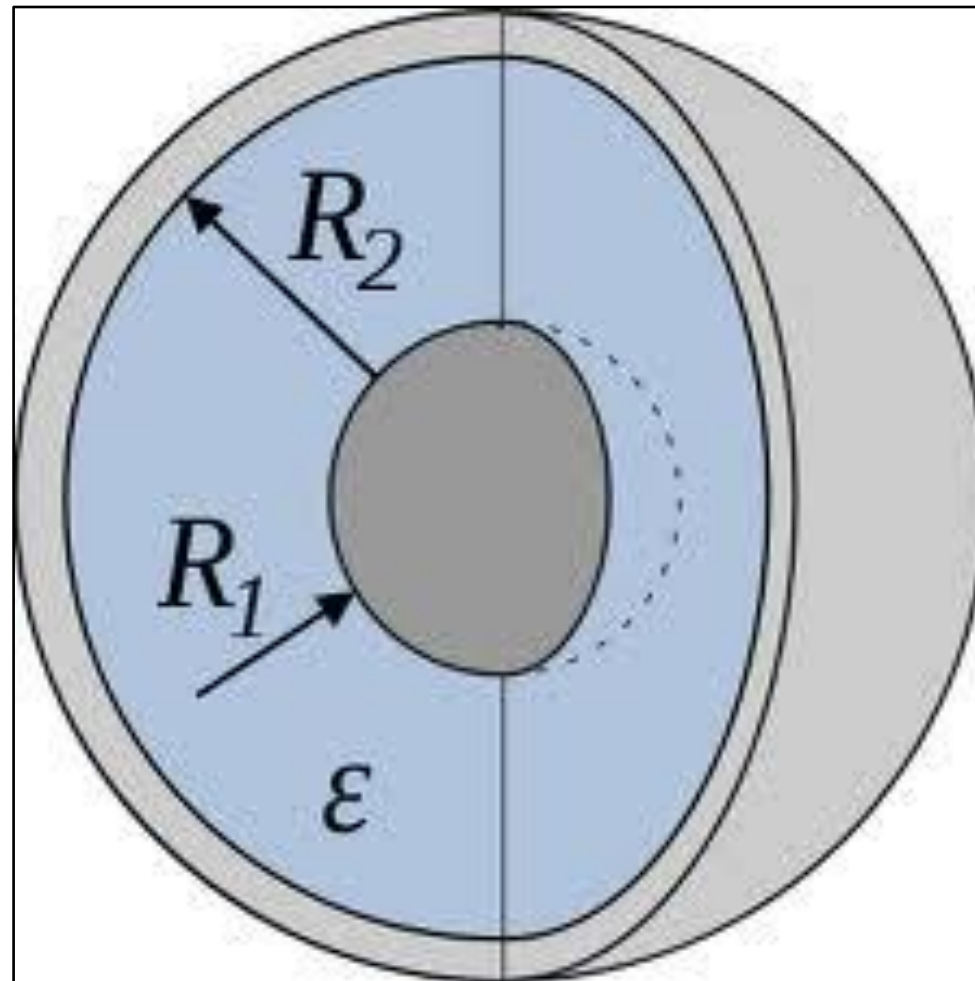
$$E = \frac{4\pi q}{\varepsilon S}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_+ - \varphi_- = Ed = \frac{4\pi q}{\varepsilon S} d$$

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon S}{4\pi d}$$

Электрическая ёмкость сферического конденсатора.

$$\Delta\varphi = \varphi_+ - \varphi_- = \frac{q}{\varepsilon R_1} - \frac{q}{\varepsilon R_2}$$
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



Электрическая ёмкость цилиндрического конденсатора.

$$E = \frac{2q}{\epsilon r l}$$
$$\Delta\varphi = \varphi_+ - \varphi_- = \frac{2q}{\epsilon l} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\epsilon l}{2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

