

Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Substanțele, în care la temperaturi nu prea înalte și în câmpuri electrice nu prea puternice nu există sarcini electrice libere se numesc **dielectrici**.

Dielectricii nepolari (polari) – acestea sunt substanțe ale căror molecule, în absența unui câmp electric exterior, au centre de masă ale sarcinilor pozitive și negative care coincid (nu coincid), prin urmare, momentul dipolar p al moleculei este egal cu zero (diferit de zero).

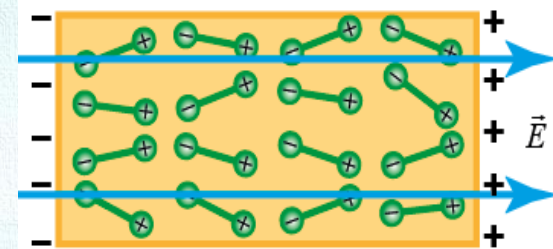
Fenomenul care constă în apariția în fiecare volum al dielectricului a unui moment dipolar macroscopic sub acțiunea unui câmp electric exterior se numește **polarizare**.

- 1) polarizare prin orientare
- 2) polarizare electronică sau prin deformare
- 3) polarizare ionică

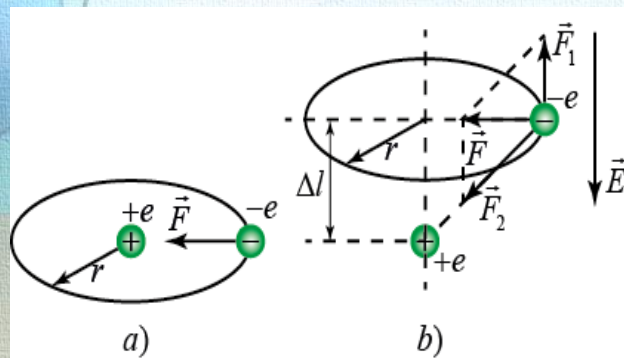
Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Polarizarea prin orientare

Apariția sarcinilor legate



polarizarea electronică sau prin deformare



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F = m\omega^2 r$$

$$F_1 = eE$$

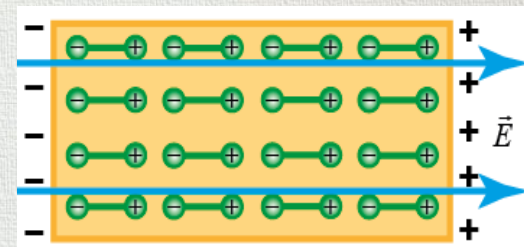
$$\frac{\Delta l}{r} = \frac{F_1}{F} = \frac{eE}{m\omega^2 r}$$

$$\Delta l = \frac{e}{m\omega^2} E$$

$$p = e\Delta l = \frac{e^2}{m\omega^2} E \quad \longrightarrow \quad p = 4\pi\epsilon_0 r^3 E = \epsilon_0 \alpha E$$

$$\vec{p} = \epsilon_0 \alpha \vec{E}$$

$\alpha = 4\pi r^3$ – polarizabilitate moleculară



Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Vectorul de polarizare sau polarizabilitatea

$$\vec{\mathcal{P}} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i \quad \longrightarrow \quad \vec{\mathcal{P}} = n\vec{p}$$

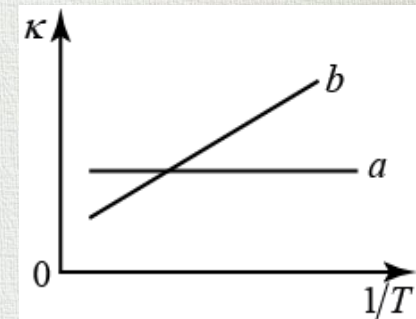
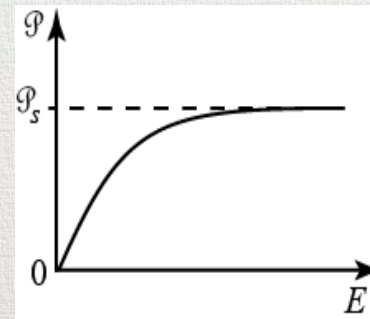
Pentru dielectricul nepolar

$$\vec{\mathcal{P}} = n\varepsilon_0\alpha\vec{E} = \varepsilon_0\kappa\vec{E}$$

unde $\kappa = n\alpha$ este susceptibilitatea dielectrică a substanței
(polarizabilitatea unității de volum a dielectricului)

Pentru dielectricul polar

$$\kappa = \frac{np^2}{3\varepsilon_0kT}$$

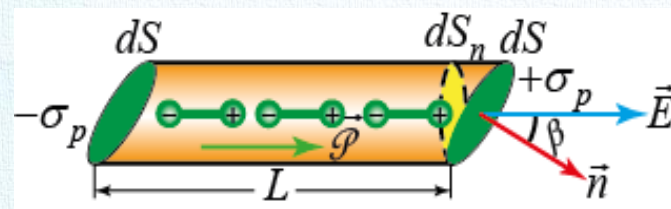


Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Legătura dintre mărimea vectorului de polarizare și densitatea superficială a sarcinilor de polarizare

Delimităm într-un dielectric omogen aflat în câmp electric un cilindru infinit mic cu momentul dipolar

$$dp = \sigma_p L dS$$



Valoarea vectorului de polarizare

$$\mathcal{P} = \frac{dp}{dV} = \frac{\sigma_p L dS}{dV} = \frac{\sigma_p L dS}{L dS \cos \beta} = \frac{\sigma_p}{\cos \beta} \rightarrow$$

$$\mathcal{P} \cos \beta = \sigma_p$$

$$\sigma_p = \mathcal{P}_n$$

Modificarea intensității câmpului electric omogen a unui condensator plan la introducerea unui dielectric

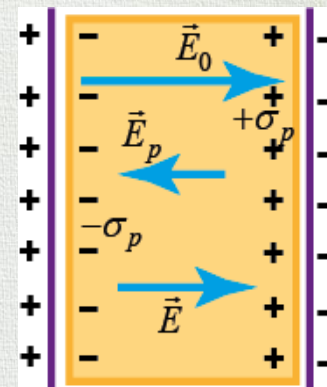
$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p$$

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_p = -\frac{|\sigma_p|}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma - |\sigma_p|}{\epsilon_0} = \frac{\sigma - \mathcal{P}}{\epsilon_0} = E_0 - \kappa E \rightarrow$$

$$E = \frac{E_0}{1 + \kappa}$$



Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în dielectrice

Pentru sarcinile electrice în vid

$$\oint_{(S)} (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \begin{array}{l} q(\rho) - \text{sarcină liberă} \\ (\text{densitatea sarcinilor libere}) \end{array}$$

Într-un mediu dielectric trebuie să se țină seama de sarcinile de polarizare (legate)

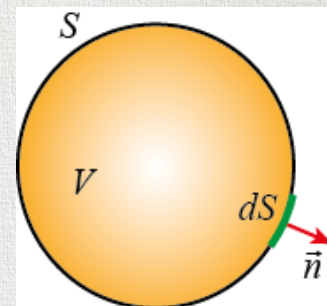
$$\oint_{(S)} (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{q + q_p}{\epsilon_0} \quad \text{div } \vec{E} = \frac{\rho + \rho_p}{\epsilon_0}$$

Calculăm sarcina totală de polarizare în interiorul suprafeței închise S

$$dq_p = -\sigma_p dS = -\mathcal{P}_n dS$$

de unde

$$q_p = -\oint_{(S)} \mathcal{P}_n dS = -\oint_{(S)} (\vec{\mathcal{P}} d\vec{S})$$



Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

$$\oint_{(S)} (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{q + q_p}{\epsilon_0} \quad \longrightarrow \quad \oint_{(S)} (\epsilon_0 \vec{E}, d\vec{S}) = q - \oint_{(S)} (\vec{\mathcal{P}} d\vec{S}) \quad \longrightarrow \quad \oint_{(S)} (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{\mathcal{P}}, d\vec{S}) = q$$

$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{\mathcal{P}}$ – vectorul inducției electrice sau
vectorul de deplasare electrică

$\oint_{(S)} (\vec{D} d\vec{S}) = q$ – Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în
dielectrice sub formă integrală

$$\left. \begin{array}{l} \oint_{(S)} (\vec{D} d\vec{S}) = \int_{(V)} \operatorname{div} \vec{D} dV \\ q = \int_{(V)} \rho dV \end{array} \right\} \longrightarrow \int_{(V)} \operatorname{div} \vec{D} dV = \int_{(V)} \rho dV \longrightarrow$$

$\longrightarrow \operatorname{div} \vec{D} = \rho$ – Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în
dielectrice sub formă diferențială

Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

$$\left. \begin{array}{l} \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{\mathcal{P}} \\ \vec{\mathcal{P}} = \varepsilon_0 \kappa \vec{E} \end{array} \right\} \rightarrow \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \varepsilon_0 \kappa \vec{E} = \varepsilon_0 (1 + \kappa) \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$$

unde $\varepsilon = 1 + \kappa$ este permitivitatea dielectrică a substanței

Intensitatea câmpului într-un dielectric omogen scade de ε ori în comparație cu valoarea sa în vid

Într-adevăr, intensitatea câmpului electric într-un condensator cu dielectric

$$\left. \begin{array}{l} \oint_{(s)} (\vec{D} d\vec{S}) = q \\ \operatorname{div} \vec{D} = \rho \\ \vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} E = \frac{E_0}{1 + \kappa} = \frac{E_0}{\varepsilon} \\ \oint_{(s)} (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0} \\ \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon \varepsilon_0} \end{array} \right.$$

Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

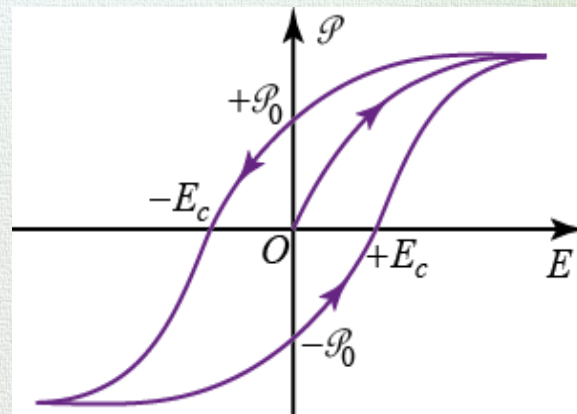
Seignetteoelectricii - sunt dielectricii cristalini care au o polarizare spontană într-un interval determinat de temperaturi, adică polarizare în absența unui câmp electric extern.

$\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – sare de Seignette

Fenomenul de histerezis dielectric („întârziere”)

Buclo de histerezis

\mathcal{P}_0 – polarizare remanentă



E_c – forța coercitivă (din limba greacă, coercitio – de reținere)