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

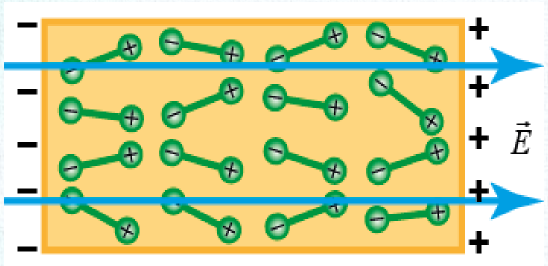
2) polarizare electronică sau prin deformare

3) polarizare ionică

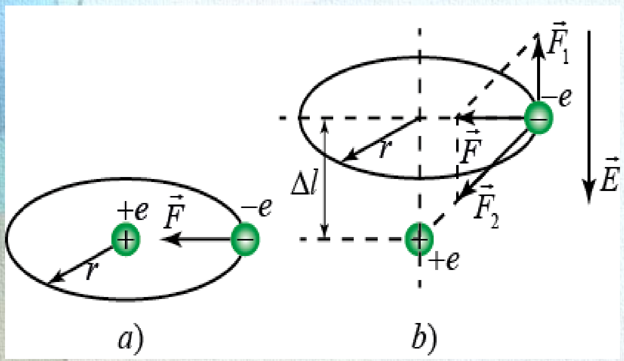
Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Polarizarea prin orientare

Apariția sarcinilor legate



polarizarea electronică sau prin deformare



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \qquad F = m\omega^2 r \qquad F_1 = eE$$

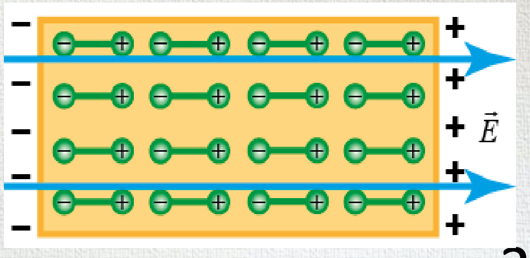
$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = m\omega^2 r$$

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

$$p = e\Delta l = \frac{e^2}{m\omega^2}E \Rightarrow p = 4\pi\varepsilon_0 r^3 E = \varepsilon_0 \alpha E$$

$$\vec{p} = \varepsilon_0 \alpha \vec{E}$$

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



Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

Vectorul de polarizare sau polarizabilitatea

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

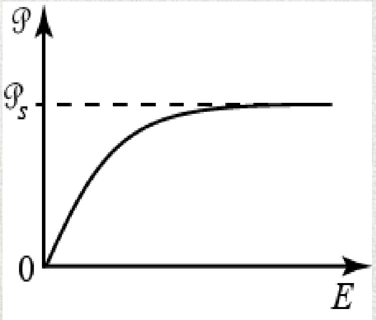
Pentru dielectricul nepolar

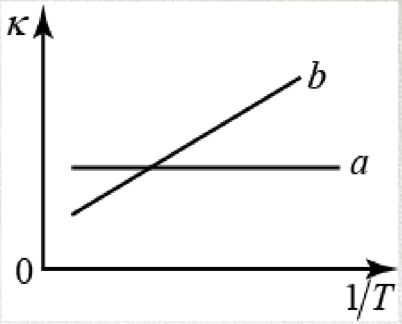
$$\vec{\mathscr{P}} = n\varepsilon_0\alpha\vec{E} = \varepsilon_0\kappa\vec{E}$$

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

Pentru dielectricul polar

$$\kappa = \frac{np^2}{3\varepsilon_0 kT}$$

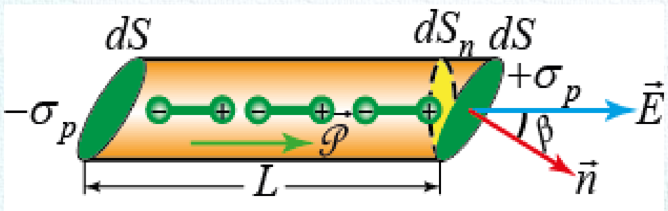




Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

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

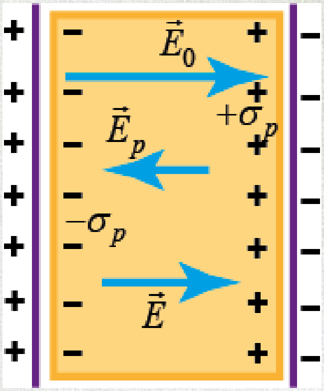


$$dp = \sigma_p L dS$$

Valoarea vectorului de polarizare

$$\mathscr{P} = \frac{dp}{dV} = \frac{\sigma_p L dS}{dV} = \frac{\sigma_p L dS}{L dS \cos\beta} = \frac{\sigma_p}{\cos\beta} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\mathscr{P}\cos\beta = \sigma_p} \qquad \boxed{\sigma_p = \mathscr{P}_n}$$

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



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p \qquad E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad E_p = -\frac{|\sigma_p|}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma - |\sigma_p|}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma - \mathscr{P}}{\varepsilon_0} = E_0 - \kappa E \quad \Rightarrow \quad E = \frac{E_0}{1+\kappa}$$

Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în dielectrici

Pentru sarcinile electrice în vid

$$\oint_{(S)} \left(\vec{E}d\vec{S}\right) = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad \operatorname{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

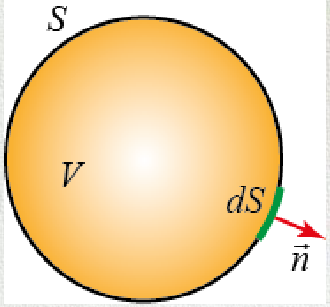
q (ρ) – sarcină liberă (densitatea sarcinilor libere)

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

$$\oint_{(S)} \left(\vec{E}d\vec{S}\right) = \frac{q + q_p}{\varepsilon_0} \qquad \operatorname{div}\vec{E} = \frac{\rho + \rho_p}{\varepsilon_0}$$

Calculăm sarcina totală de polarizare în interiorul suprafeței închise S

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



de unde

$$q_p = -\oint_{(S)} \mathscr{P}_n dS = -\oint_{(S)} \left(\vec{\mathscr{P}}\, d\vec{S}\right)$$

Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

$$\oint_{(S)}\left(\vec{E}d\vec{S}\right)=\frac{q+q_p}{\varepsilon_0} \rightarrow \oint_{(S)}\left(\varepsilon_0\vec{E},d\vec{S}\right)=q-\oint_{(S)}\left(\vec{\mathscr{P}}\,d\vec{S}\right) \rightarrow \oint_{(S)}(\varepsilon_0\vec{E}+\vec{\mathscr{P}},d\vec{S})=q$$

$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{\mathscr{P}}$ – vectorul inducției electrice sau vectorul de deplasare electrică

$$\boxed{\oint_{(S)}\left(\vec{D}d\vec{S}\right)=q}$$

– Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în dielectrici sub formă integrală

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

$$\rightarrow \boxed{\operatorname{div}\vec{D}=\rho}$$

– Teorema lui Gauss pentru câmpul electric în dielectrici sub formă diferențială

Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

$$\left.\begin{aligned}\vec{D} &= \varepsilon_0\vec{E} + \vec{\mathscr{P}}\\ \vec{\mathscr{P}} &= \varepsilon_0\kappa\vec{E}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \varepsilon_0\kappa\vec{E} = \varepsilon_0\left(1+\kappa\right)\vec{E} = \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}$$

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

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

$$\left.\begin{aligned}\oint_{(S)}\left(\vec{D}d\vec{S}\right) &= q\\ \operatorname{div}\vec{D} &= \rho\\ \vec{D} &= \varepsilon_0\varepsilon\vec{E}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \oint_{(S)}\left(\vec{E}d\vec{S}\right) = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \qquad \operatorname{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

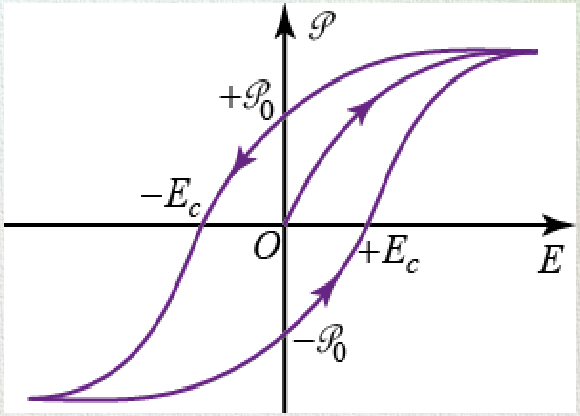
Tema 7. Câmpul electrostatic în medii dielectrice

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

$NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ – sare de Seignette

Fenomenul de histerezis dielectric („întârziere”)

Bucla de histerezis



$\mathscr{P}_0$ – polarizare remanentă

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