



Dielektriku, proud – FYZ2 2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

stepan.kunc@tul.cz

Dielektrikum

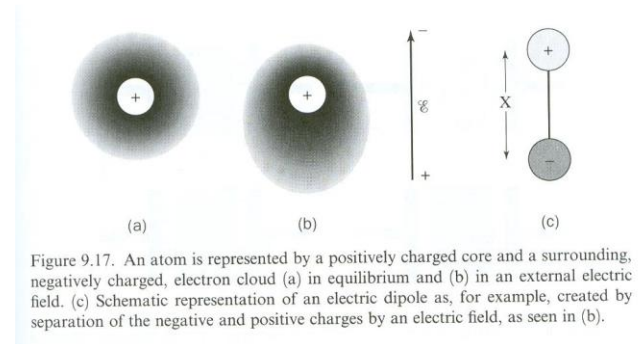
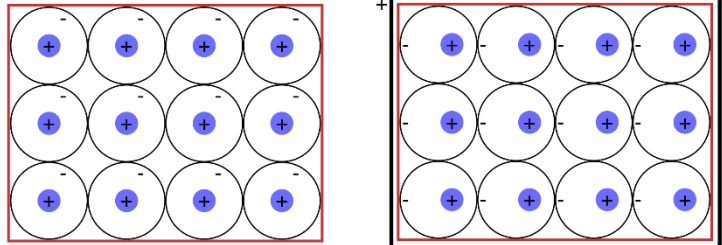
Uvnitř dielektrika může existovat elektrické pole

Dielektrikum neobsahuje volně pohyblivé nabitě částice (náboje jsou vázány v atomech, iontech, molekulách)

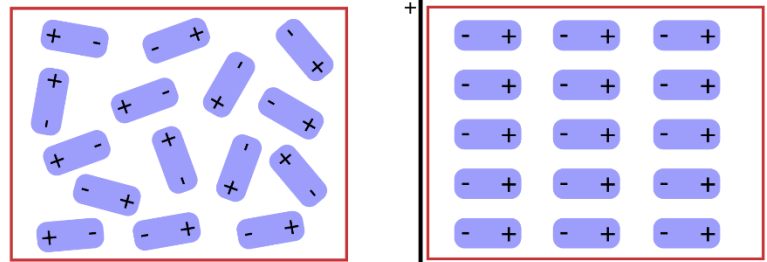
Při vložení dielektrika do vnějšího pole el. pole se vytvoří elektrické dipóly = polarizace dielektrika

Polarizace – atomová, iontová, orientační

Nepolární dielektrika
elektronová polarizace
(atomová)



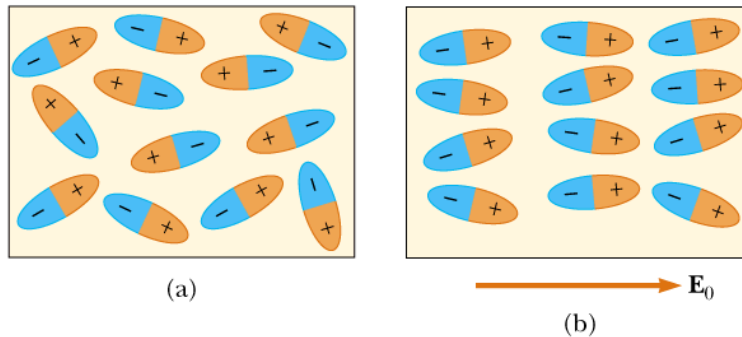
Polární dielektrika dielektrika
Posunutí náboje
Iontová polarizace



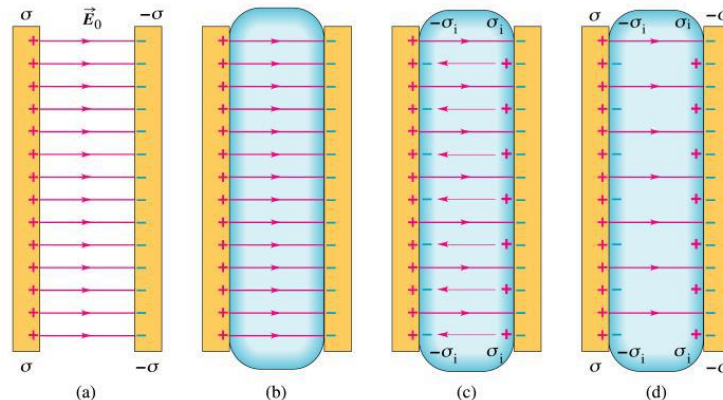
Polarizace Dielektrika

Vlivem vnějšího pole dojde ke stáčení el dipólů ve směru pole – orientační polarizace

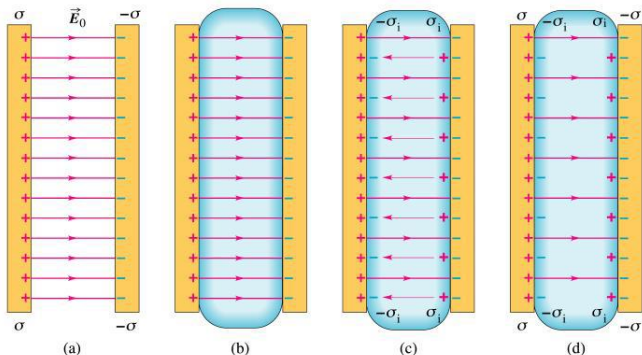
Polární molekuly jsou náhodně orientovány v nepřítomnosti vnějšího elektrického pole. Když je aplikováno externí pole (napravo, jak je znázorněno), molekuly se částečně vyrovnají s polem; dielektrikum je nyní polarizováno.



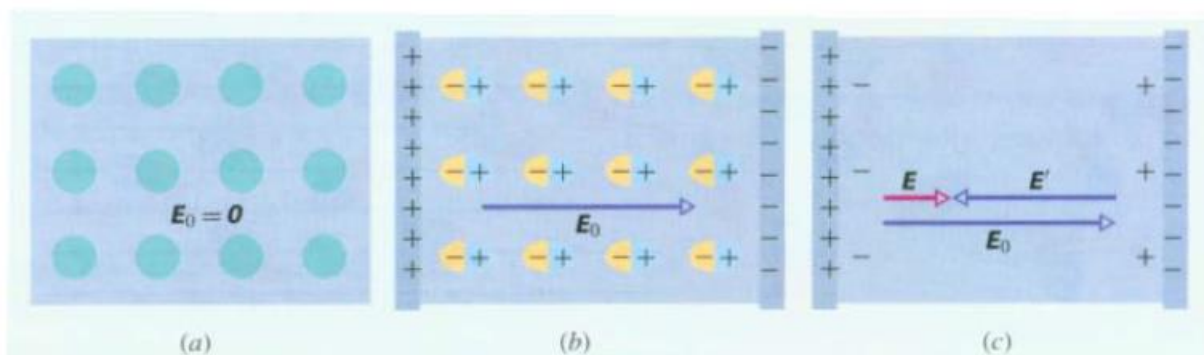
Jev polarizace dielektrika



Polarizace Dielektrika



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



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

$$E = E_0 - E_p$$

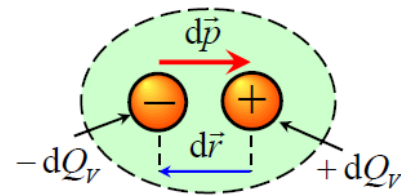
Výsledné pole má stejný směr jako pole vnější
Ale je zeslabené $E < E_0$

Polarizaci lze popsat pomocí – **vektoru polarizace**

Pomocí vektoru polarizace - **vektoru elektrické indukce**

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$



Polarizace Dielektrika

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p$$
$$E = E_0 - E_p$$

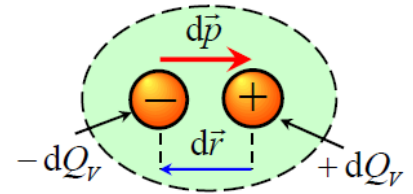
Výsledné pole má stejný směr jako pole vnější
Ale je zeslabené $E < E_0$

Polarizaci lze popsat pomocí – **vektoru polarizace**

$$\vec{P} = \frac{d\vec{p}}{dV}$$

Pomocí vektoru polarizace - **vektoru elektrické indukce**

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$



LINEÁRNÍ DIELEKTRIKA, pole vzniklé polarizací je úměrné okolnímu poli E , ne vnějšímu E_0

Lineární dielektrikum $E_p = \chi E$ χ – elektrická susceptibilita.

$$E_0 = E + E_p = E + \chi E = (1 + \chi)E = \varepsilon_r E$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon \vec{E}$$

Dielektrika ve vnějším poli

Vložím dielektrika do vnějšího pole, dojde k zeslabení el. Pole ale elektrická indukce D zůstává stejná

$$D_0 = D \quad \Rightarrow \quad \epsilon_0 \vec{E}_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{E_0}{\epsilon_r}$$

Všechny vztahy platné pro vakuum platí i v dielektriku pokud ϵ_0 nahradíme $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

Pole se v dielektriku zeslabí ϵ_r krát.

Klesne Coulombova síla, potenciál ϵ_r krát.

Relativní permitivita materiálů

Table 24.1 Values of Dielectric Constant K at 20°C

| Material | K | Material | K |
|---------------|---------|--------------------|------|
| Vacuum | 1 | Polyvinyl chloride | 3.18 |
| Air (1 atm) | 1.00059 | Plexiglas | 3.40 |
| Air (100 atm) | 1.0548 | Glass | 5–10 |
| Teflon | 2.1 | Neoprene | 6.70 |
| Polyethylene | 2.25 | Germanium | 16 |
| Benzene | 2.28 | Glycerin | 42.5 |
| Mica | 3–6 | Water | 80.4 |
| Mylar | 3.1 | Strontium titanate | 310 |

Energie elektrického pole

Při nabíjení kondenzátoru ukládáme náboj na elektrodu, na které už náboj daného znaménka je.....

Musíme konat práci, zvyšujeme energii

$$dE_p = U \cdot dQ$$

$$\int dE_p = \int U \cdot dQ = \int Q \frac{1}{C} \cdot dQ = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Z definice potenciální energie

$$E_p = Q \cdot \varphi_2 - Q \cdot \varphi_1 = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

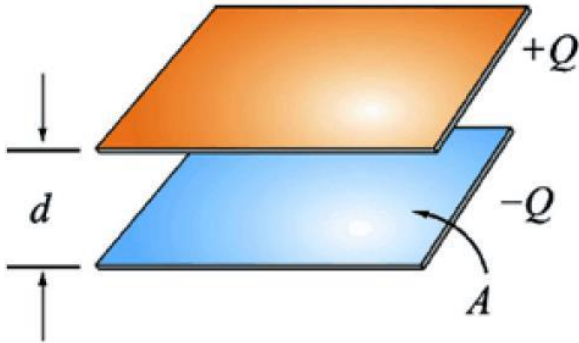
Hustota energie elektrického pole

$$dE_p = U \cdot dQ$$



Kolik energie připadá na jednotku objemu

$$w = \frac{dE_p}{dV}$$



Pro deskový kondenzátor

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

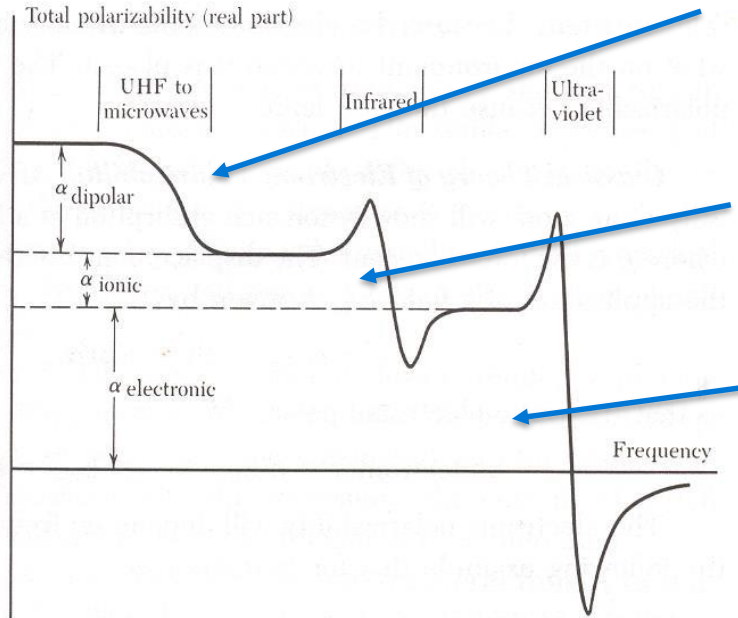
$$E_p = \frac{1}{2} QU$$

$$w = \frac{dE_p}{dV} = \frac{1}{2} \frac{QU}{V} = \frac{1}{2} \frac{S\sigma \cdot El}{V} = \frac{1}{2} \sigma \cdot E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot E^2$$

$$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

Energie elektrického pole v dielektriku vzroste ϵ_r krát (zvětší se kapacita při daném napětí), stejně se ϵ_r krát zvětší i hustota energie

Frekvenční závislost permitivity



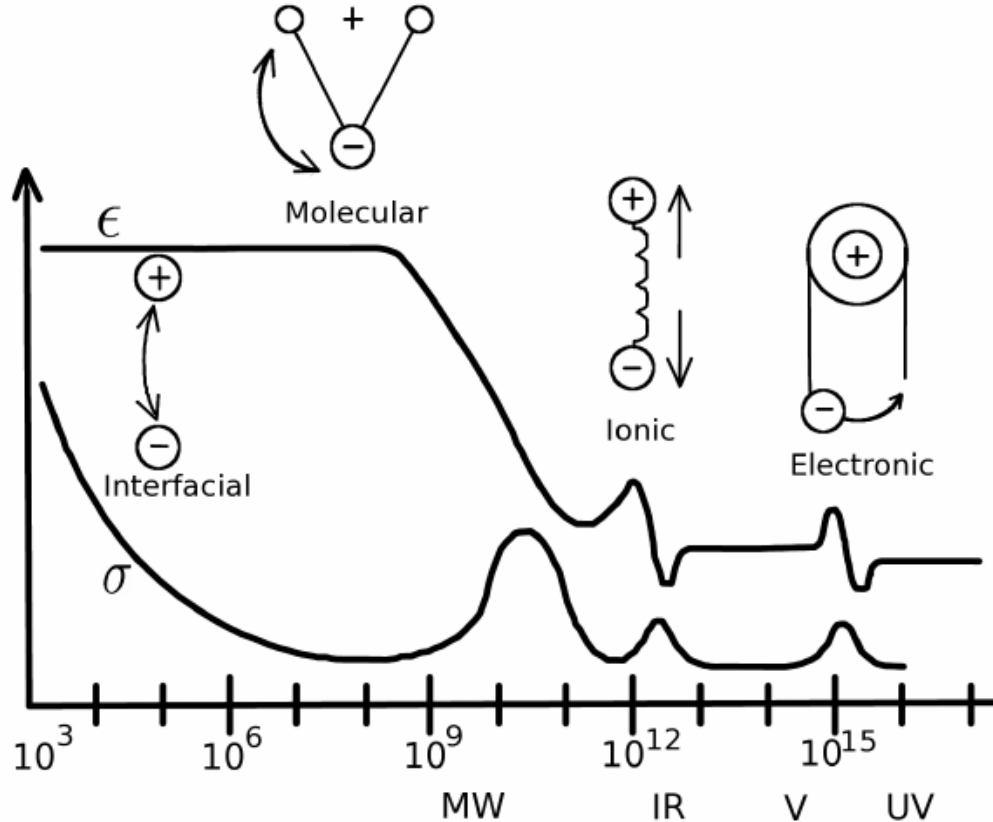
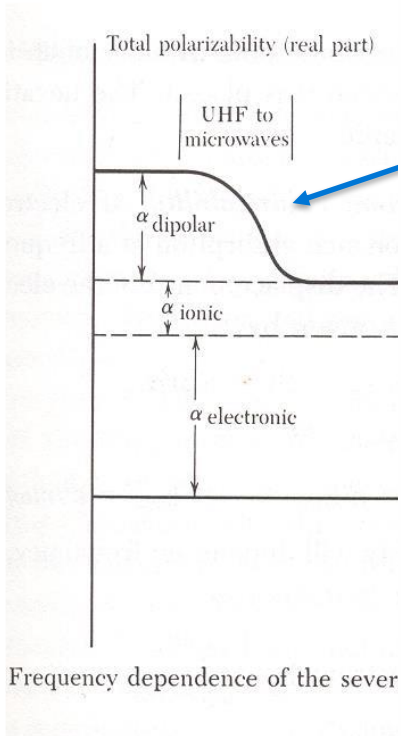
Frequency dependence of the several contributions to the polarizability.

Materials *already* possessing permanent dipoles, H₂O, BaTiO₃, oils, waxes, amorphous polymers,...

Displacement of ions with respect to each other due to external bias, only in ionic materials

displacement of the e-cloud with respect to the core due to external bias, occurs in ALL dielectric materials

Frekvenční závislost permitivity



Permanent dipoles,
polar polymers,...

Interact to each other due
to their polar nature

Conduction in respect to the core
of the dielectric

Piezoelektrický jev

**Piezoelektrický jev je schopnos tkystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování.
Nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen,křišťál.**

Opačný jev, kdy se krystal ve vnějším elektrickém poli deformuje se nazývá nepřímý piezoelektrický jev.

Můžeme detekovat tlak, zrychlení atd.

Nebo napětím vyvolat řízené malé posunutí

[Piezoelektrický jev – Wikipedie \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

Elektrický proud

Stacionární elektrické pole: všechny veličiny pole jsou nezávislé (konstantní) na čase

Elektrický proud:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

(A – ampér SI) $I_{avg} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

Průměrný proud

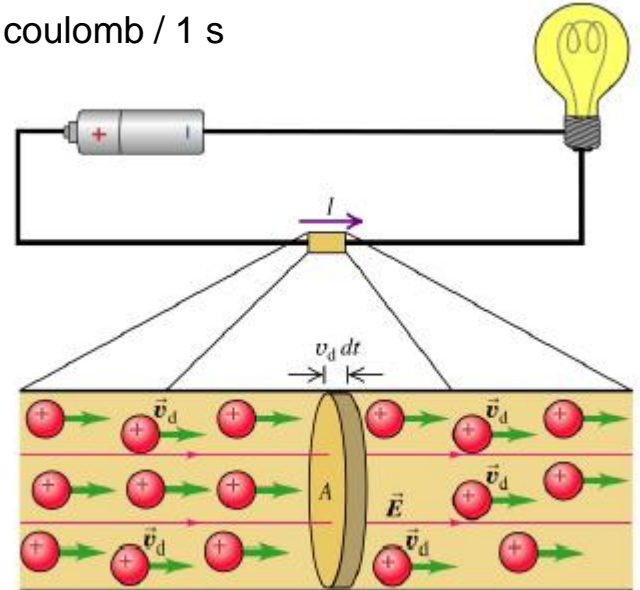
A = 1 coulomb / 1 s

Uspořádaný pohyb elektrických nábojů

Velikost kladného náboje prošlého průřezem vodiče za jednotku času

Pohyb elektrických nábojů musí být vyvolaný vnějšími silami

Směr proudu - pohyb kladných nábojů



Elektrický proud

Velikosti elektrického proudu v přírodě se pohybují od nanoampérů, které tečou našimi nervy, po megaampéry, které protékají bleskovými kanály.

Směr elektrického proudu byl implicitně stanoven jako směr pohybu kladných nábojů. Nositeli elektrického náboje uvnitř vodičů jsou ovšem záporně nabitě volné elektrony, které se tedy dle konvence pohybují proti směru elektrického proudu.

Elektrický proud může protékat pevnými látkami (kovy, polovodiči), kapalinami (elektrolyty) a ionizovanými plyny.

Látky, které nevedou elektrický proud, nazýváme nevodiči, izolanty

Elektrický proud

Stacionární proud je časově konstantní $I=I_0$

$$I_{avg} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = I_{avg} \Delta t$$

Nestacionární proud je časově proměnný $I(t)$

$$I = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow Q = \int_0^t I(t) dt$$

Vektor proudové hustoty

Rychlost v_d , s jakou se nosiče náboje pohybují je tzv. *driftová rychlost*. Fyzikálně je v_d průměrná rychlost nosičů náboje uvnitř vodiče, který je vložen do vnějšího elektrického pole.

Ve skutečnosti se ale elektron ve vodiči nepohybuje po přímce, jeho pohyb je chaotický.

Průměrná tepelná, chaotická rychlost, je nulová.

Hustota elektrického proudu

Vektor proudové hustoty

Velikost proudu posuzujeme podle proudové hustoty

$$j = \frac{dI}{dS}$$

$$dI = \vec{j} d\vec{S}$$

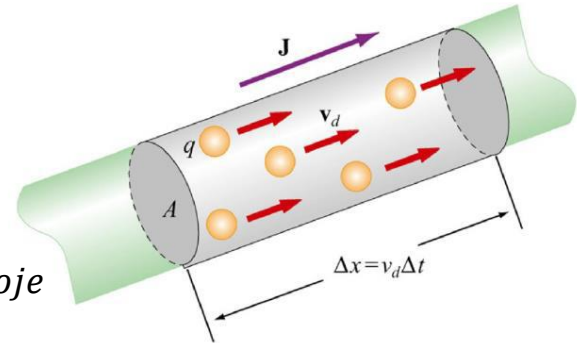
$$I = \int \vec{j}(\vec{r}) \cdot d\vec{S}$$

Za čas dt projede plochou S náboj dQ

$$dQ = \rho \cdot S \cdot v_d dt \quad \rho - \text{objemová hustota náboje}$$

$$j = \frac{dI}{dS} = \frac{1}{dS} \left(\frac{dQ}{dt} \right) \quad dQ = \rho dV = \rho dS dl = \rho dS v_d dt$$

$$j = \frac{1}{dS} \left(\frac{\rho dS v_d dt}{dt} \right) = \rho \cdot v_d$$



$$\vec{j} = \rho \cdot \vec{v}_d = n_e \cdot e \cdot \vec{v}_d$$

Elektrický proud v kovech

Elektronová vodivost

Proud je veden tzv. vodivostními elektrony, které se mohou volně pohybovat mezi jednotlivými atomy. Každý atom poskytne daný počet tzv. valenčních elektronů do vodivostního pásu. Ty tvoří „elektronový plyn“.

Děrová vodivost h-e (hole-electron) – šíří se stav „bez elektronu“ – díra a elektrony přeskakují

Takováto vodivost je charakteristická pro polovodiče, vyskytuje se ale i u kovů

