

## 4.1.8 Látky v elektrickém poli

**Předpoklady:** 4102, 4103, 4104

**Pedagogická poznámka:** Pokud chcete hodinu stihnout za 45 minut, doporučuji nekreslit obrázky z úvodní části hodiny. Můžete se k nim vrátit po vyřešení příkladů na konci hodiny.

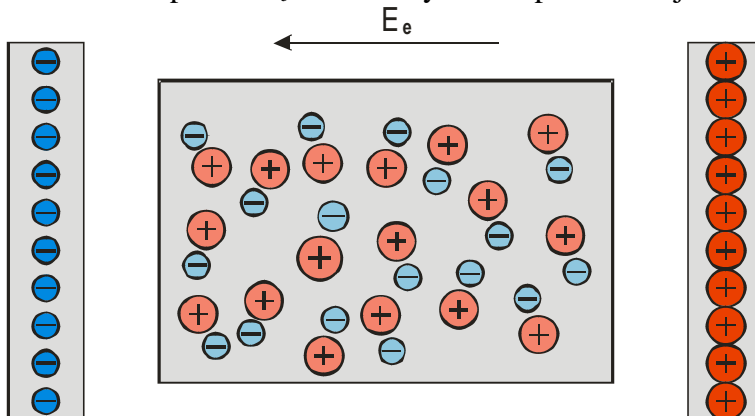
Látky jsme zatím dělili do dvou skupin:

- vodiče
- nevodiče (izolanty, dielektrika)

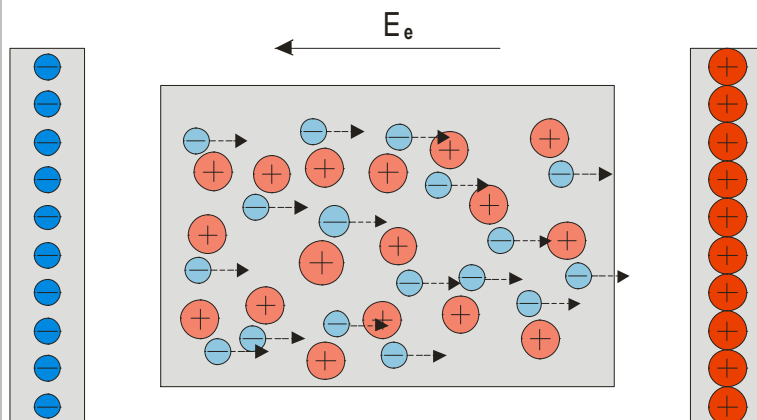
### Vodiče

látky (například kovy), které obsahují volně pohyblivé náboje (většinou elektrony)  $\Rightarrow$  libovolně malá elektrická síla je uvede pohyblivé náboje do pohybu (předpokládáme, že se pohybují „bez tření“)

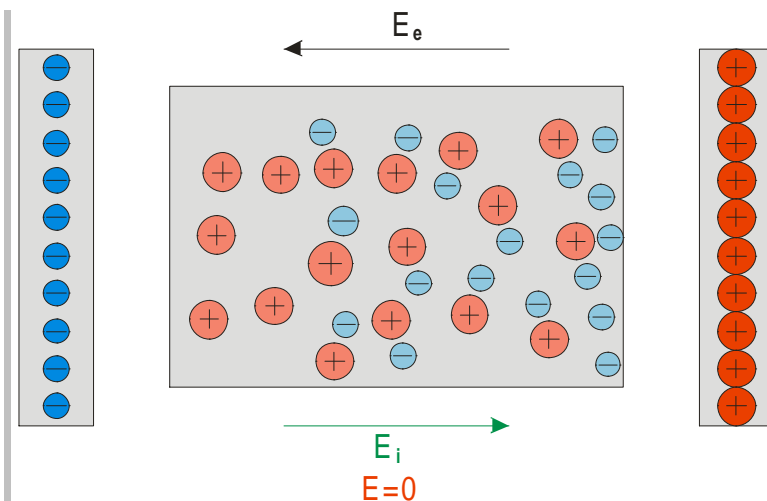
**Př. 1:** Na obrázku je schématický náčrt vnitřní stavby vodiče, který se nachází uvnitř vnějšího elektrického pole  $E_e$ . Jaké síly budou působit na jeho částice? K jakým změnám dojde?



Vnější elektrické pole  $E_e$  působí na elektrony uvnitř vodiče  $\Rightarrow$  elektrony se začnou pohybovat



$\Rightarrow$  na okrajích vodiče se vytvoří dva nové náboje (indukované), které vytvoří indukované elektrické pole  $E_i$ , které působí proti poli vnějších nábojů  $E_e$



indukované náboje se zvětšují dokud indukované pole  $E_i$  uvnitř vodiče nevyruší působení vnějšího pole  $E_e \Rightarrow$  uvnitř vodiče je intenzita elektrického pole vždy nulová (kdyby nebyla nulová, elektrony by pokračovaly v pohybu doprava a zvětšovaly indukované elektrické pole  $E_i$ , které působí proti vnějšímu poli a ruší jeho působení uvnitř vodiče).

Průběh i výsledek nezávisí na tom, zda je vodič plný nebo dutý.

### Důsledky:

- Náboje naindukované na krajích vodiče je možné oddělit.
- **Uvnitř vodiče je vždy nulová intenzita elektrického pole** (pokud je dostatek času a náboje stihnou přeběhnout)  $\Rightarrow$   
**Faradyova klec** – dutá vodivá klec odstíní vnější elektrické pole  $\Rightarrow$  pokud chceme cokoli chránit před vnějším elektrickým polem, stačí to zavřít do vodivé krabice (tímto způsobem chrání plechová karosérie auta před bleskem)  $\Rightarrow$  **stínění**: dráty se slabým signálem (signály z antén, mikrofonní kabely, ...) jsou schovány ve vodivém obalu, který signál chrání před poruchami zvětřku

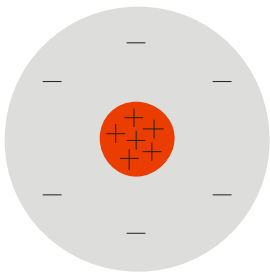
**Poznámka:** Předchozí obrázky jsou velmi přehnané. Jak víme z kapitoly 4102 k vybuzení obrovských elektrických polí stačí velmi malý náboj (v našem příkladu tvořily nové elektrony pouze  $\frac{1}{10^{12}}$  původního počtu elektronů v látce)  $\Rightarrow$  při dodržení reálných poměrů by nebylo možné postřehnout žádnou změnu. Uvedený poměr však zároveň vysvětluje, jak proč dokáží vodiče velmi rychle vyrovnat i velké vnější pole. Změny, ke kterým uvnitř vodičů dochází, jsou ve skutečnosti velmi malé.

**Dodatek:** Faradyovu klec využívají také zloději v obchodech. Velká část zboží je chráněna proti krádeži pomocí RFID čipů, které reagují na vnější rádiový signál (většinou u kasy). Pokud je zboží v tašce pokryté vodičem (většinou hliníková fólie), nachází se ve Farayově kleci a tento signál k čipu nepronikne.

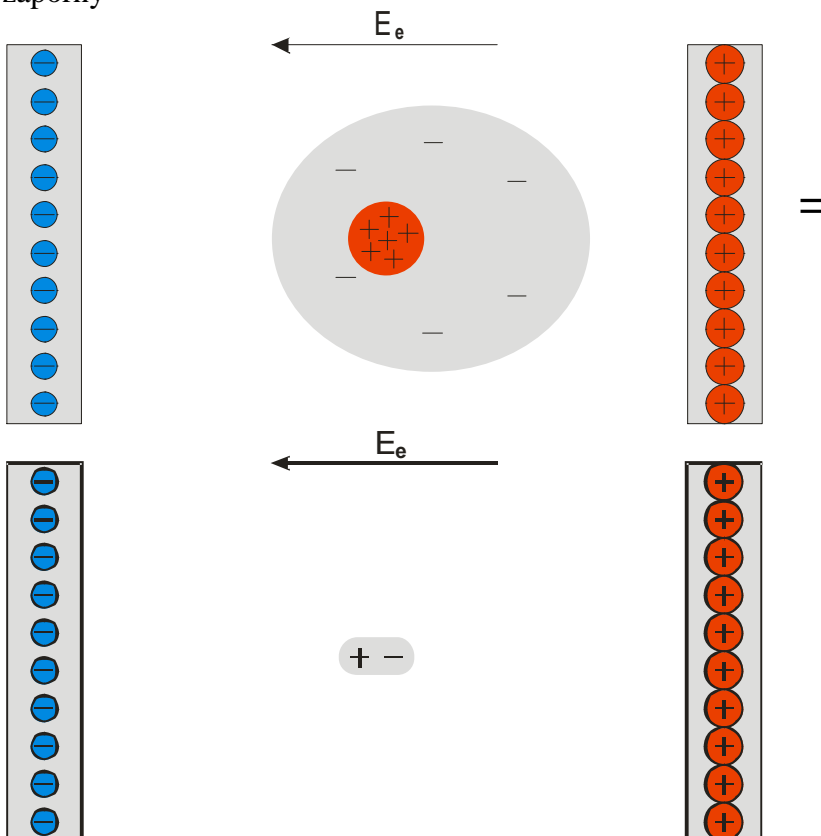
### Izolanty (dielektrika)

nabitě částice se nemohou hýbat  
dvě možnosti:

**1. částice látky jsou ze všech stran stejné** (je složena z atomů nebo molekul bez dipólu)



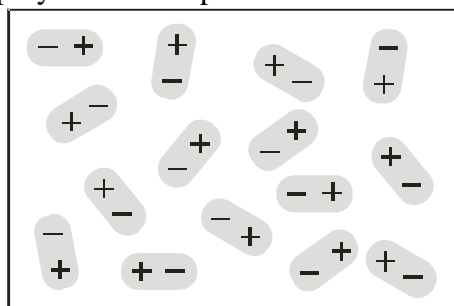
Vložíme atom do vnějšího elektrického pole  $E_e \Rightarrow$  elektrony jsou přitahovány na jednu stranu, protony v jádře na druhou  $\Rightarrow$  atom se zdeformuje, na jedné straně víc kladný na druhé víc záporný



$\Rightarrow$  zvenku vypadá jako dipól, proběhla **atomová polarizace dielektrika**

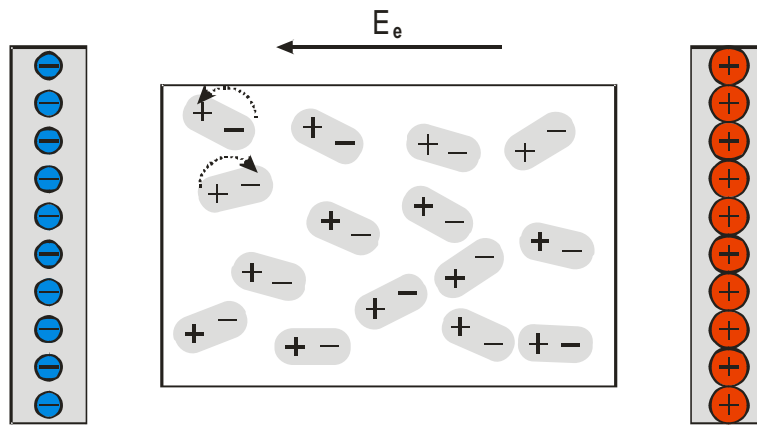
**2. částice mají vlastnosti dipólu** (je složena z molekul, které jsou na jedné straně kladnější a na druhé zápornější, například voda)

za normálních okolností jsou dipóly částic neuspořádané a navenek se neprojevují.

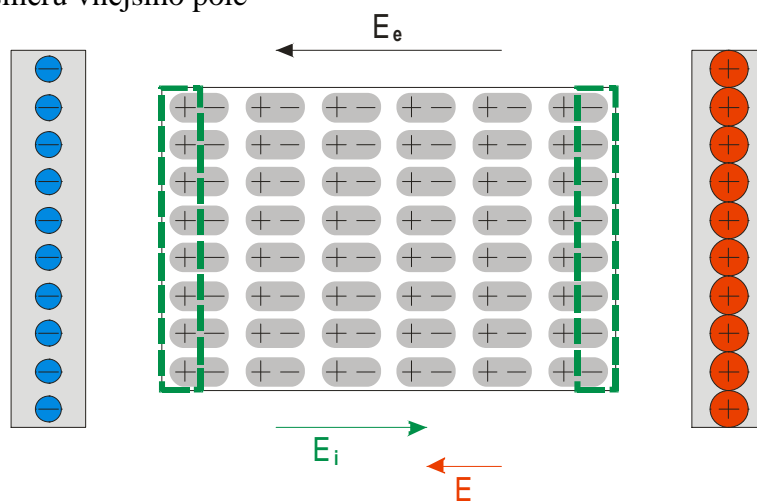


Vnější elektrické pole na dipóly působí a začne je natáčet ve směru svých siločar

$\Rightarrow$  dipóly jednotlivých částic jsou uspořádány ve směru pole, proběhla **orientační polarizace dielektrika**



Jak při atomové tak při orientační polarizaci je výsledek stejný – látka je složena z dipólů zorientovaných ve směru vnějšího pole



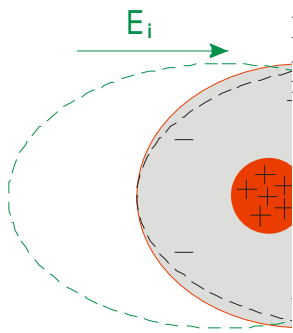
Krajní vrstvy dipólových nábojů fungují jako vrstvy indukovaného náboje u vodičů a vytváření indukované elektrické pole  $E_i$ , které působí proti vnějšímu elektrickému poli  $E_e$ .

- alespoň jeden z předchozích mechanismů funguje v každé látce
- indukované elektrické náboje na krajích látky není možné od sebe oddělit (museli bychom rozdělit částice látky)
- výsledné elektrické pole uvnitř látky není nikdy nulové (pokud není nulové i vnější pole)

**Př. 2:** Zkus vysvětlit, proč výsledné pole uvnitř nevodice nemůže být nikdy nulové jako u vodičů

Nulové pole uvnitř izolantu  $\Rightarrow$  na nabitě částice v látce nepůsobí žádná elektrická síla  $\Rightarrow$  neexistuje síla, která vytváří dipóly (atomová polarizace) nebo dipóly uspořádává (orientační polarizace)  $\Rightarrow$  nevzniká indukovaný náboje  $\Rightarrow$  neexistuje indukované elektrické pole  $\Rightarrow$  výsledné pole uvnitř látky se rovná vnějšímu poli (spor s předpokladem, že výsledné pole uvnitř látky je nulové).

Ještě jednou a pomaleji na příkladu atomové polarizace:



Elektronový obal atomu je pod vlivem výsledného pole  $E \Rightarrow$  obal je protažený, elektrony jsou přitahovány doprava  
 Výsledné pole vzniká jako součet vnějšího pole  $E_e$  a indukovaného pole  $E_i$ .

- Vnější pole  $E_e$  se snaží elektrony přitáhnout ještě více doprava (černá přerušovaná čára)
- Indukované pole  $E_i$  (existuje pouze díky deformaci elektronových obalů a tedy díky existenci výsledného pole) se naopak snaží přitáhnout elektrony doleva (zelená přerušovaná čára).

Pokud by výsledné pole bylo nulové, černá a zelená deformace by se navzájem vyrušily a atom by se nepolarizoval  $\Rightarrow$  zelené pole by vůbec neexistovalo  $\Rightarrow$  výsledné pole nemůže být nikdy nulové (polarizace nesmí být příliš úspěšná, protože si sama pod sebou podřezává větve)

Různé látky zeslabují vnější elektrické pole různě  $\Rightarrow$  míru zeslabování udáváme pomocí poměru  $\frac{E_e}{E}$ .

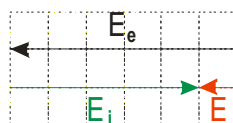
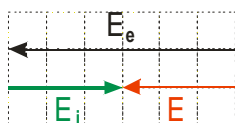
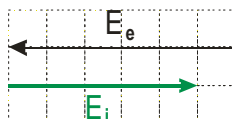
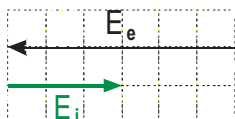
**Př. 3:** Na obrázcích jsou nakresleny vektory vnějšího elektrického pole  $E_e$  a indukovaného elektrického pole  $E_i$  ve dvou látkách.

a) Najdi vektor výsledné intenzity elektrického pole v obou látkách.

b) Porovnej velikost poměru  $\frac{E_e}{E}$  pro obě látky.

c) Odhadni, ve které z látek probíhá polarizace snadněji.

d) poměr  $\frac{E_e}{E}$  je velmi důležitou látkovou konstantou, kterou již známe. Odhadni, o kterou jde.



Z obrázku je vidět, že poměr  $\frac{E_e}{E}$  je menší u látky vlevo než u látky vpravo

$$\frac{E_e}{E} = \frac{6}{3} = 2$$

$$\frac{E_e}{E} = \frac{6}{1} = 6$$

Na pravém obrázku bylo k vytvoření většího indukovaného pole třeba menší hodnoty výsledného pole (výsledné pole udržuje polarizaci látky)  $\Rightarrow$  v látce na pravém obrázku je polarizace látky snazší

Poměr  $\frac{E_e}{E}$  udává kolikrát zmenší látka elektrické pole  $\Rightarrow$  má podobný význam jako relativní permitivita  $\epsilon_r$

Poměr  $\frac{E_e}{E}$  nazýváme relativní permitivitou látky a značíme ho  $\epsilon_r = \frac{E_e}{E}$ .

**Př. 4:** Dvě vodivé desky jsou připojeny k napětí 500 V a od sebe odděleny vrstvou porcelánu o tloušťce 2 mm. Urči velikost elektrické intenzity mezi deskami, velikost intenzity indukovaného elektrického pole a velikost intenzity vnějšího elektrického pole.

$$U = E \cdot d \Rightarrow E = \frac{U}{d} = \frac{500}{0,002} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\epsilon_r = \frac{E_e}{E} \Rightarrow E_e = \epsilon_r \cdot E = 6 \cdot 250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 1500000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Z obrázků je zřejmé, že platí

$$E_e = E + E_i \Rightarrow E_i = E_e - E = 1500000 - 250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 1250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Elektrické pole mezi deskami má intenzitu  $250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ , vnější pole má intenzitu  $1500000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  a indukované  $1250000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

**Př. 5:** V tabulkách prostuduj hodnoty relativních permitivit pevných látek a kapalin. Zkus vysvětlit rozdíly v jejich velikostech a fakt, že kapaliny tvoří z hlediska relativní permitivity dvě skupiny. Navrhni vysvětlení a ověř ho pomocí znalostí z chemie.

Pevná látka	$\epsilon_r$	Kapalina	$\epsilon_r$	Plyn	$\epsilon_r$
Dřevo (suché)	6,6-7,4	Benzen	2,3	Dusík	1,00061
Sůl kamenná	4,4	Ethanol	24	Ethylen	1,00145
Křemen	4,4	Glycerol	43	Helium	1,00007
Papír	2-2,2	Chloroform	5,2	Kyslík	1,00055
Porcelán	6	Kyselina mravenčí	58	Oxid uhelnatý	1,00069
Sklo	5-7	Petrolej	2	Chlorovodík	1,003
Parafín	2	Terpentýnový olej	2,3	Vodík	1,00026
Kaučuk	2,2-3	Voda	81	Vzduch	1,00060

Z tabulek je vidět:

- pevné látky mají relativní permitivitu do 10
- kapaliny se dělí do dvou skupin, kapaliny s relativní permitivitou do 6 a kapaliny s relativní permitivitou větší než 20

Hypotéza: orientační polarizace je u kapalin podstatně jednodušší než u pevných látek  $\Rightarrow$  kapaliny s s relativní permitivitou větší než 20 by mohly mít polární molekuly (chovají se jako dipól), které se snadno zorientují,

Chemie: Molekula takových kapalin (voda, ethanol, nitrobenzen, kyselina mravenčí) jsou opravdu polární.

- relativní permitivita plynů je velmi malá – částice se pohybují neuspořádaným pohybem  $\Rightarrow$  orientační polarizace je velmi obtížná

**Př. 6:** V tabulkách se hodnoty relativních permitivit pro vodiče neuvádějí. Rozhodni, jakou hodnotu by bylo možné vodičům připsat pomocí definičního vztahu  $\epsilon_r = \frac{E_e}{E}$  .

Pro libovolnou velikost vnějšího pole, je hodnota výsledného pole uvnitř vodiče nulová  $\Rightarrow$  vodič se chová, jako kdyby jeho relativní permitivita měla nekonečnou velikost.

**Shrnutí:** Sledováním působení vnějšího elektrického pole na částice látek zjistíme, že uvnitř vodičů je nulové elektrické pole, uvnitř nevodivců se elektrické pole zeslabuje.