

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.

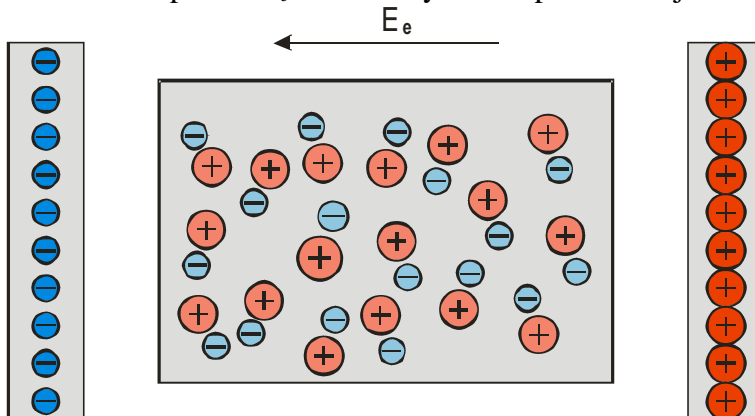
Látky jsme zatím dělili do dvou skupin:

- vodiče
- nevodiče (izolanty, dielektrika)

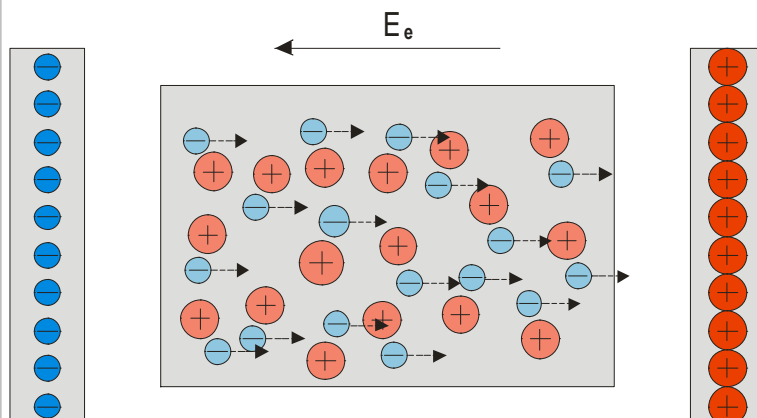
Vodiče

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“)

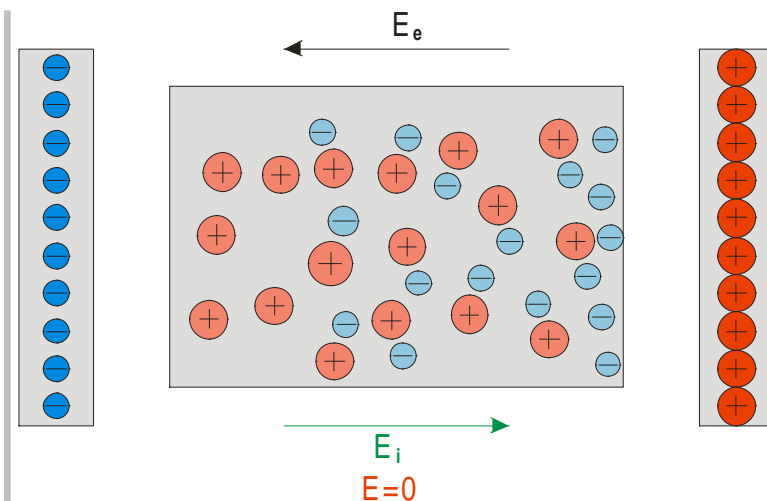
Př. 1: Na obrázku je schématický náčrt vnitřní stavby vodiče, který se nachází uvnitř vnějšího elektrického pole E_e . Jaké síly budou působit na jeho částice? K jakým změnám dojde?



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
Faradayova 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 z vnějšku.

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

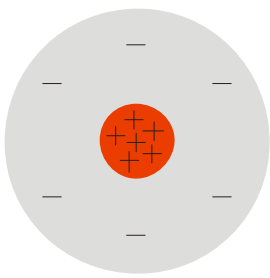
poměrů by nebylo možné postřehnout žádnou změnu. Uvedený poměr však zároveň vysvětluje, jak dokáží vodiče velmi rychle vyrovnat i velké vnější pole. Změny, ke kterým uvnitř vodičů dochází, jsou ve skutečnosti velmi malé.

Dodatek: Faradayovu 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 Faradayově kleci a tento signál k čipu nepronikne.

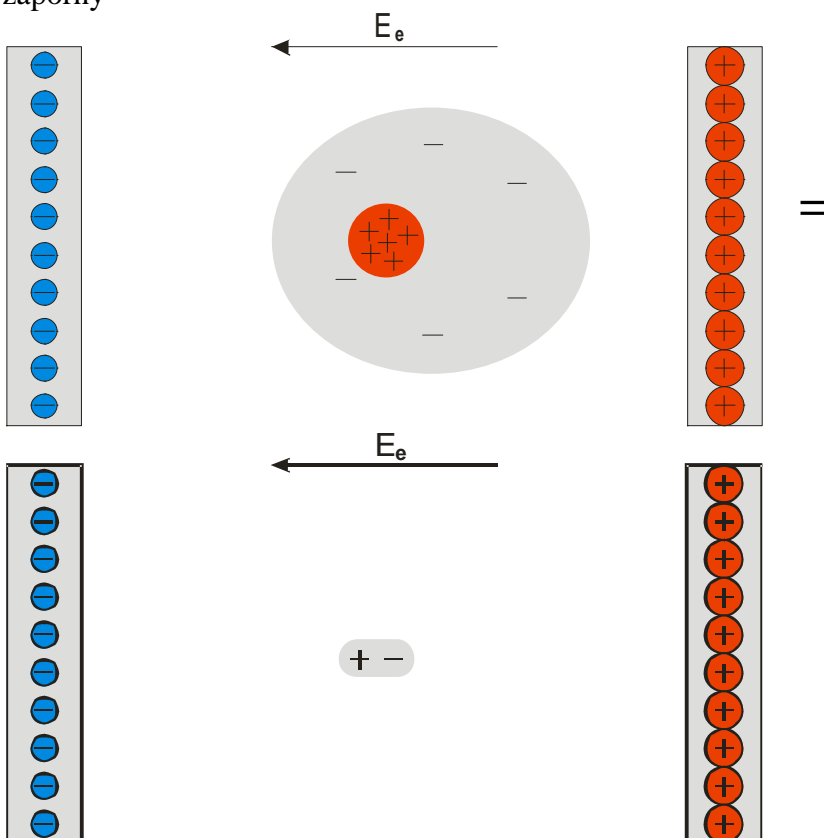
Izolanty (dielektrika)

Nabitě částice se nemohou hýbat.
dvě možnosti:

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



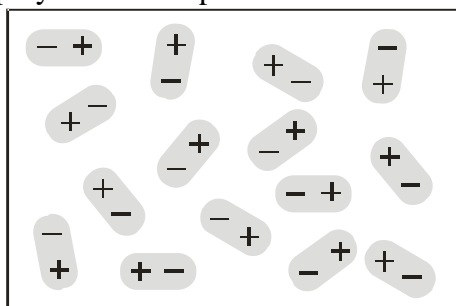
Vložíme atom do vnějšího elektrického pole $E_e \Rightarrow$ elektrony jsou přitahovány na jednu stranu, protony v jádře na druhou \Rightarrow atom se zdeformuje, na jedné straně víc kladný na druhé víc záporný



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

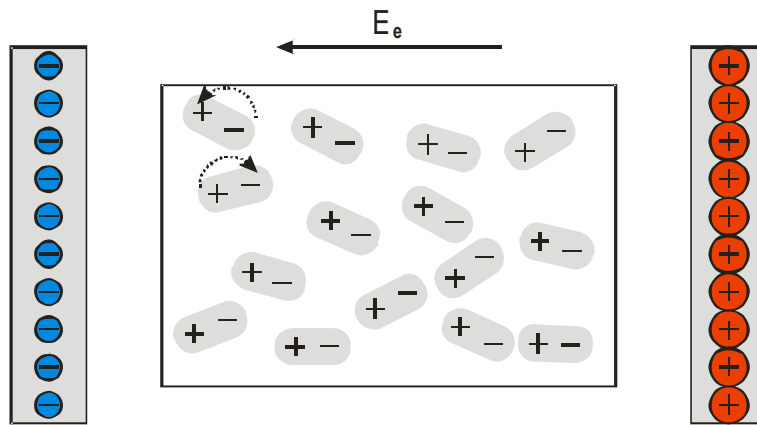
2. částice mají vlastnosti dipólu (je složena z molekul, které jsou na jedné straně kladnější a na druhé zápornější, například voda)

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

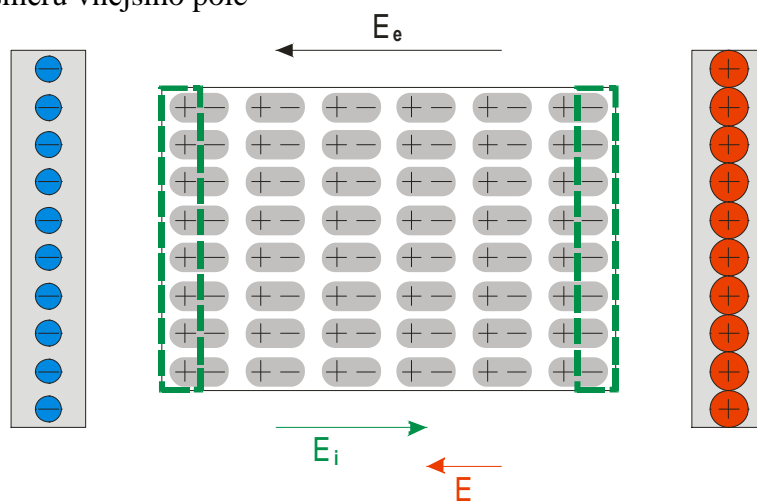


Vnější elektrické pole na dipóly působí a začne je natáčet ve směru svých siločár,

\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



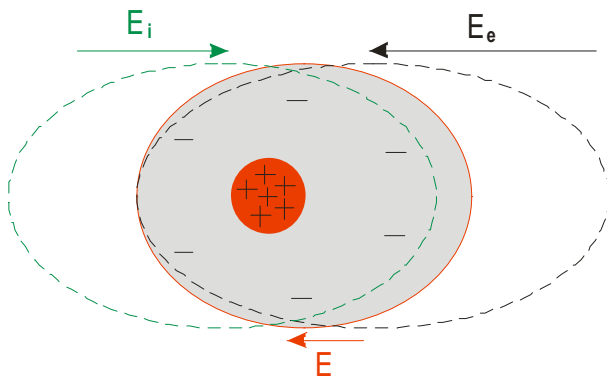
Krajní vrstvy dipólových nábojů fungují jako vrstvy indukovaného náboje u vodičů a vytváření indukované elektrické pole E_i , které působí proti vnějšímu elektrickému poli E_e .

- 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 větev)

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

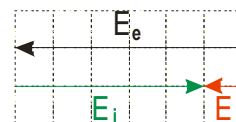
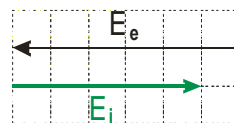
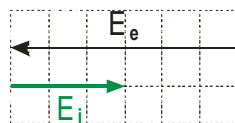
Př. 3: Na obrázcích jsou nakresleny vektory vnějšího elektrického pole E_e a indukovaného elektrického pole E_i ve dvou látkách.

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 ϵ_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	ϵ_r	Kapalina	ϵ_r	Plyn	ϵ_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 relativní permitivitou větší než 20 by mohly mít polární molekuly (chovají se jako dipól), které se snadno zorientují,

Chemie: Molekuly 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.