

## II. Statické elektrické pole v dielektriku

- Osnova:
1. Dipól
  2. Dielektrikum
  3. Polarizace dielektrika
  4. Jevy v dielektriku

# 1. Dipól

## Konečný dipól

2 bodové náboje stejné velikosti a opačného znaménka ve vzdálenosti  $l$

**Elektrický dipólový moment**  $\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i q_i$

Elektrický dipólový moment dipólu  $\vec{p} = q\vec{l}$ , náboj  $Q_c = 0$

Bodový dipól – konečný dipól, jehož rozměry jsou mnohem menší, než naše vzdálenost od něj

**Kvadrupól** – model: 4 bodové náboje stejné velikosti různých znamének

# 1. Dipól

## Multipólový rozvoj elektrostatického pole

- objem, ve kterém je rozložen spojitě náboj o celkové hodnotě  $Q_c = \iiint \rho(\vec{r}') dV$
- nabitý objem pozorujeme ze vzdáleností mnohem větších, než jsou jeho rozměry, potom
- pole vytvářené objemem = pole bodového náboje  $Q_c$  + pole bodového dipólu + pole bodového kvadrupólu +...
- velikost jednotlivých příspěvků prudce klesá
- aplikace: např. interakce atomů a molekul

## Dipól v homogenním elektrostatickém poli

$$\vec{F} = \vec{0} \quad \vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

## 2. Dielektrikum

**Dielektrikum** (izolant, nevodič) – látka, jejíž nabité částice jsou v ní pevně vázány, působením vnějšího el. pole se nemohou pohybovat.

**Struktura látky** (dielektrika)

- molekuly a atomy (elektrony, jádra, ...)
- tj. soustava kladných a záporných nábojů (1 mol látky odpovídá  $10^{23}$  částicím)
- za normálních podmínek je celkový náboj nulový, ale dielektrika mohou být elektricky aktivní:

**Dělení dielektrik podle rozložení náboje v nich**

1. **polární dielektrika** - těžiště kladných a záporných nábojů jeho částic jsou posunuta, vlastní dipólový moment je nenulový (např. dielektrikum z polárních molekul  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , ...)
2. **nepolární dielektrika** – vlastní dipólové momenty jeho částic neexistují, částice se mohou deformovat vlivem vnějšího el. pole, vzniká indukovaný el. dipólový moment (např. dielektrikum z nepolárních atomů Ar, Xe, ... či molekul  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  ...)

## 2. Dielektrikum

**Model dielektrika:** dielektrikum = soustava elektrických dipólů

**Vektor elektrické polarizace  $\vec{P}$**

- charakterizuje rozložení dipólů v dielektriku
- je objemová hustota elektrických dipólů
- při rovnoměrném rozložení dipólů v objemu  $V$  se spočte  $\vec{P} = \frac{\vec{p}_V}{V}$

**Gaussova věta elstat. pole pro dielektrikum**

Tok elektrické indukce libovolnou uzavřenou plochou je roven celkovému náboji obklopenému touto plochou.

$$\Psi_D = \oint_{\vec{S}} \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_C$$

Vektor elektrické indukce  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

pro lineární izotropní dielektrikum  $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ ,  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

## 2. Dielektrikum

### Vliv dielektrika na kapacitu kondenzátoru

- kondenzátor ve vakuu o kapacitě  $C_0$  a napětím mezi deskami  $U_0$
- vložení dielektrika o rel. permitivitě kapacita vzroste ( $C$ ), napětí klesne ( $U$ )

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{U_0}{U}$$

### Zobecnění vztahů pro vakuum na látkové prostředí – dielektrikum

záměna  $\varepsilon_0 \rightarrow \varepsilon_0 \varepsilon_r$

# 3. Polarizace dielektrika

**Polarizace** - vznik elektrických dipólových momentů v dielektriku

- dipólový moment může vzniknout u atomů, molekul, elementárních buněk krystalů
- probíhá vlivem vnějšího elektrického pole (popř. jiných vnějších sil)
- procesy s různou fyzikální podstatou, 3 typy:

1) **posuvná polarizace** (závislost na intenzitě vnějšího pole)

a) **elektronová (atomová) polarizace** – deformace elektronových obalů vlivem vnějšího pole, posunutí těžiště elektronového náboje, vznik indukovaného elektrického dipólového momentu

b) **iontová polarizace** – u molekul složených z iontů se vlivem vnějšího pole zvětší elektrický dipólový moment (vlastní+indukovaný)

2) **orientační polarizace** (závislost na intenzitě vnějšího pole a teplotě)

částice s nenulovým elektrickým dipólovým momentem se vlivem vnějšího pole natácejí do jeho směru (až do maxima polarizace – všechny jsou natočeny), polarizace bržděna neustálým neuspořádaným pohybem částic

# 4. Jevy v dielektriku

## **Hystereze**

závislost polarizace na intenzitě vnějšího pole není lineární, ale je vyjádřen hysterezní křivkou

## **Elektrostrikce**

změna vnějšího pole – změna vektoru polarizace – vznik (zesílení) dipólů – přitahování dipólů – mechanická deformace dielektrika (smrštění)

## **Piezoelektrický jev**

mechanické namáhání – změna rozložení dipólů – změna polarizace – na plochách dielektrika vznik náboje – napětí mezi konci dielektrika

## **Pyroelektrický jev**

zahřátí dielektrika – tepelná roztažnost – deformace dipólů – změna polarizace – vznik napětí na koncích dielektrika

## **Ztráty v dielektriku**

vznikají jeho polarizací a vodivostí reálného dielektrika (malé množství volných nábojů)