

# Elektrický náboj a elektrické pole

## Elektrování těles

Např.: plastové pravítko-vlna, vlasy-hřeben

- Pomocí kinetického „otírání“ dochází k přenosu elektronů mezi tělesy
- Přenesení náboje z již nabitého tělesa
- Elektrostatická indukce (viz níže)

Elektrizovaná tělesa získávají elektrický náboj (net electric charge – **Q**)- jednotka coulomb (**C**)

## Elektrický náboj

Elektrické náboje na sebe působí silou (fundamentální, tzv. elektromagnetická interakce), tomto případě elektrostatickou

Existují dva druhy náboje: kladný a záporný

Tělesa se souhlasným elektrickým nábojem se odpuzují a ta s opačným nábojem se přitahují

### **Zákon zachování elektrického náboje:**

- Celkový náboj se v izolované soustavě nemění

## Atomární struktura

- Elektronový obal- vázán elektromagnetickou silou
  - o Elektrony (-)
- Nukleony- vázány silnou jadernou interakcí
  - o Protony (+)
  - o Neutrony (n)

Neionizované atomy jsou z makroskopického pohledu elektricky neutrální (n. elektronů=n. protonů)

Proton je výrazně těžší, ale má stejný náboj jako elektron (antiproton i pozitron)- objevil Robert Millikan:

- Elementární elektrický náboj (**e**)=  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$

Kvantování elektrického náboje- každý náboj je násobkem elementárního náboje ( $\leftarrow$  kvarky s nábojem  $2/3e$  a  $1/3e$  nikdy nebyly pozorovány samostatně)

Elektrizace tělesa spočívá v převládání iontů kladného/záporného náboje, tedy v přenosu elektronů

## Vodiče a izolanty

Elektrina spočívá právě v pohybu elektronů:

- Kovy- kovová vazba (tzv. elektronový plyn)  $\rightarrow$  výborné vodiče
- Izolant- pevně vázané elektrony  $\rightarrow$  nevedou elektrický proud (dokonalý izolant neexistuje)

- Dielektrikum- izolant, který má schopnost elektrizace (pomocí polarizace částic), de facto všechny reálné izolanty

### Coulombův zákon – elektrická síla

Elektrická síla může (na rozdíl od gravitace) přitahovat i odpuzovat (v závislosti na hodnotě nábojů)

Jinak formální podobnost s Newtonovským pojetím gravitace (zákon převrácených čtverců atd.)

Použitelný zvl. pro elektrostatiku- stacionární náboje, které netvoří elektrický proud ani magnetickou sílu<sup>1</sup>

Coulombův zákon uvažuje tzv. bodový náboj (ekvivalent hmotného bodu)

$$F_E = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \text{ (viz níže)}$$

$$k_e = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \text{ (vakuum)}$$

Vzájemná elektrická síla dvou částic je podle 3. Newtonova zákona shodná a míří k druhému náboji

### Elektrická permitivita ( $\epsilon$ )

Schopnost *odolávat* elektrickému poli

Elektrická konstanta (permitivita vakua):

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \text{ (vakuum)}$$

Relativní permitivita / dielectric constant (bezrozměrné číslo) – (např. voda=81; keramika=10<sup>3</sup>)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon \text{ (prostředí)}}{\epsilon_0 \text{ (vakuum)}}$$

Čím vyšší je relativní permitivita prostředí, tím nižší je působící elektrická síla – elektrická síla v prostředí jakékoliv látky je tedy nižší, než ta ve vakuu:

$$F_E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

### Elektrické pole

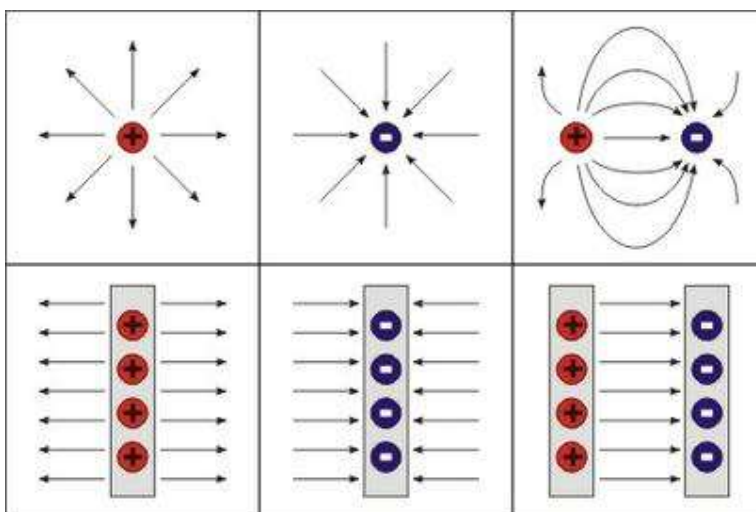
Umožňuje nám zobecnit vliv jednoho náboje, bez potřeby vytvářet soustavu nábojů

---

<sup>1</sup> Pohybující se náboje tvoří elektrokinetiku, tj. magnetická interakce

Elektrické pole je podíl síly, která by působila na imaginární kladný bodový náboj ( $q$  – tzv. zkušební náboj) a tohoto náboje:

$$E = \frac{F_E}{q} = k \cdot \frac{Q}{r^2} [N/C]$$



Elektrické siločáry znázorňují elektrické pole- tradičně vycházejí z kladného náboje a sbíhají se v záporném náboji + platí pro ně zákon převrácených čtverců

Ideální případy:

- Radiální elektrické pole- tvořeno bodovými náboji
- Homogenní elektrické pole- tvořeno dvěma velmi rozsáhlými rovnoběžnými a opačně nabitými deskami (→ rovnoběžné siločáry s konstantní hodnotou elektrického pole)

### Elektrický potenciál ( $\phi$ ) / elektrické napětí ( $U$ )

Pokud se bodový náboj v elektrickém poli díky působení síly pohybuje, mění se potenciální energie ( $U_E$ ):

- Při přemístění ve směru elektrické síly se potenciální energie zmenšuje (ekv. llesání v gravitačním poli)
- Při přemístění proti směru elektrické síly se potenciální energie zvyšuje (ekv. stoupání v gravitačním poli)

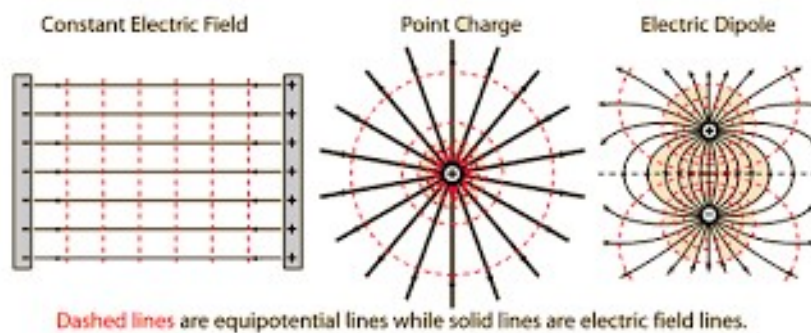
$$U_E = F \cdot r = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r}$$

$$\varphi (V) = \frac{U_E}{q} = k \cdot \frac{Q}{r}$$

Elektrický potenciál ( $V$  nebo  $\phi$ ) nám opět umožňuje zobecnit potenciální energii okolo jednoho náboje i bez zahrnutí zkušebního/druhého náboje- jednotka volt (V)

Uzemněná tělesa- vlhká půda může „neomezeně“ vydávat a přijímat elektrony- elektrický potenciál je tedy považován za 0

Při přemísťování náboje kolmo k siločarám se nekoná práce (žádná síla není překonávána) → stejný elektrický potenciál → ekvipotenciální plochy/hladiny:



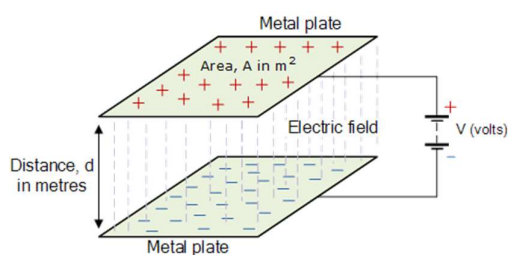
Díky distribuci nábojů je jednou z ekvipotenciálních hladin i jakýkoliv povrch 3D těles → náboje se vždy nachází při povrchu nabitého tělesa

### Homogenní elektrické pole

Pokud se zkušební náboj ( $q$ ) přesune z kladné desky (+Q) na zápornou (-Q):

$$W = F_E \cdot d$$

$$V = \frac{W}{q} = \frac{F_E \cdot d}{q} = E \cdot d$$



### Elektrické napětí

Rozdíl elektrického potenciálu mezi dvěma body- relativní (oproti absolutnímu elektrického potenciálu)

$$U (\Delta V) = \phi_f - \phi_i$$

Voltmetr- nejstarší pracují podobně jako elektroskopy (míra odpuzování dvou plátek kovu v baňce)

## Práce v homogenním elektrickém poli

$$W = E \cdot q \cdot d \quad \wedge \quad \Delta V = E \cdot d \Rightarrow W = \Delta V \cdot q$$

\*Symbol elektrického napětí (**U**) i elektrického potenciálu (**ϕ**) se často nahrazuje symbolem (**V**), v případě elektrického napětí i (**ΔV**) – v obou případech je jednotkou volt [V]

\*\*Jednotka elektrického pole se udává buď jako [N/C] nebo [V/m]

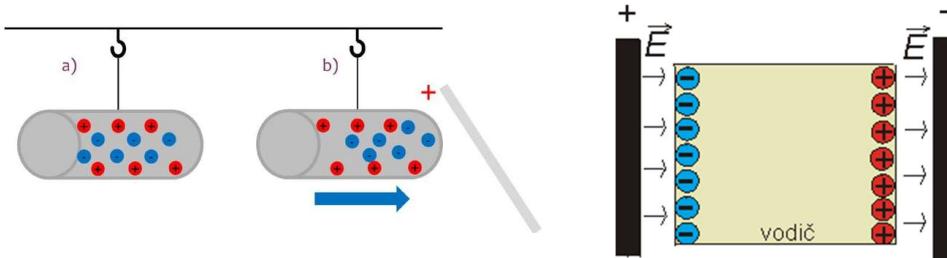
## Elektrostatická indukce

Obecně se po odstranění elektrického pole se nabitě částice dají do pohybu, „putují“ do oblastí s nižším elektrickým potenciálem a účinky indukce mizí

## Vodiče

Elektrostatická indukce:

- Obsahují volné nabitě částice (např. kovy- elektronový plyn)
- Elektrony se přitáhnou směrem ke kladnému náboji a jsou zároveň odpuzovány záporným nábojem
- Na straně blíže zápornému náboji je nedostatek elektronů → je kladně nabitá
- Indukce separuje částice → po „rozkrojení“ vodiče zůstanou části nabitě

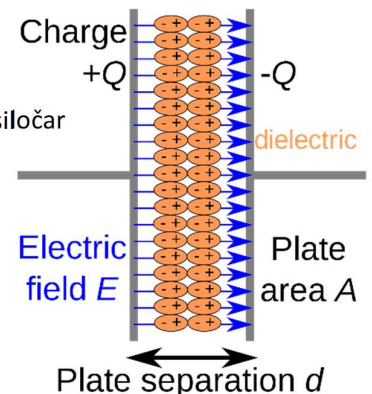


## Dielektrika

Polarizace:

- Elektrony jsou pevně vázány k jednomu jádru
- Ideální izolanty neexistují → princip dielektrik:
  - o Atomová polarizace- deformace atomu- posun obalu proti směru siločar a posun jádra po směru
  - o Orientační polarizace- orientace polárních molekul v elektrickém poli (např. voda)
- Takto nabitá tělesa jsou vázána na elektrické pole a dipóly → náboje nelze z dielektrika odvést či je „odříznout“

Dielektrika lépe odolávají elektrickému působení ( $\epsilon_r > 1$ ) než vakuum/vzduch, intenzita pole se tedy po vložení sníží



Zároveň se intenzita elektrického pole sníží díky vlastním (a protichůdným) elektrickým polím pólů dielektrika:

$$E_{tot} = E_0 - E_{prostředí}$$

### Kapacita vodiče (capacitance)

Kapacita vodiče (C) je definována jako schopnost přijmout náboj (Q) při určitém elektrickém napětí/potenciálu (V)- jednotka farad [F]

$$C = \frac{Q}{V}$$

Kapacita závisí na tvaru, rozměrech či materiálu vodiče i okolí

Vodič jedné polaroty má relativně nízkou kapacitu, jelikož jako „druhá deska“ mu slouží okolní prostor ( $\phi \approx 0$ )

### Kondenzátor (capacitor)

Kapacita osamostatněného vodiče (jedné polaroty) je velmi malá, při přidání druhé desky (opačné polaroty) ← díky elektrostatické indukci prudce vzroste → deskový kapacitor

Deskový kapacitor dokáže pojmout výrazně vyšší náboj díky blízkosti desek, a tedy větší elektrické síle indukující vyšší náboj na druhé desce atd.

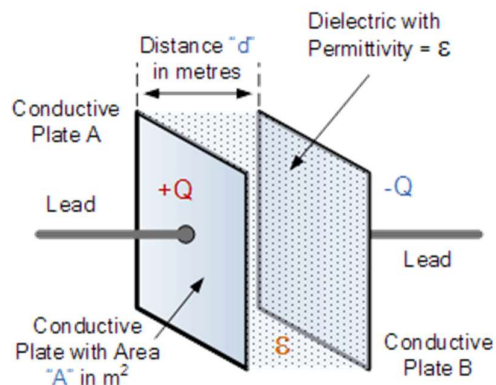
Odvození kapacity deskového kondenzátoru:

$$E_1 = \frac{\sigma \text{ (hustota náboje)}}{2\epsilon} \text{ (pole jedné desky)}$$

$$E_2 = 2 \cdot \frac{Q}{2 \cdot A \cdot \epsilon}$$

$$\frac{V}{d} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$



Svitkový kondenzátor- v praxi se vrstvy vodičů a dielektrik střídají a balí se do sebe

Vyšší permitivita snižuje elektrickou sílu a umožňuje tedy „uskladnění“ vyššího náboje → dielektrikem je často keramika či voskový papír

### Energie kondenzátoru

Kondenzátory se po nabití stávají v obvodu dočasným zdrojem energie (není však tzv. EMF, jelikož není schopen elektrické napětí generovat a pouze přeměňuje potenciální elektrickou energii na elektrickou energii)

$$\Delta W = V \cdot \Delta q \quad \bigwedge \quad \bar{v} = \frac{V}{2}$$

$$U_E = \frac{1}{2} V \cdot Q = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

---

<sup>2</sup> Napětí klesá s klesajícím nábojem