

## 4.1.7 Rozložení náboje na vodiči

**Předpoklady:** 4101, 4102, 4104, 4105, 4106

Opakování:

**vodič** – látka, ve které se mohou volně pohybovat nosiče náboje (většinou elektrony), nemohou ji však opustit (bez doteku s jiným vodičem)

**intenzita elektrického pole** – síla na jednotkový náboj, udává sílu elektrického pole, jak hodně působí na náboje (strmost svahu)

**elektrický potenciál** – energie jednotkového náboje, udává energii nábojů v elektrickém poli (nadmořská výška svahu)

Jak souvisí intenzita s potenciálem?

Tak kde je velká intenzita, tam se rychle mění potenciál a vzniká velké napětí (strmý svah znamená rychlý nárůst nadmořské výšky), tam kde je intenzita nulová je potenciál stejný (vodorovný svah, znamená stejnou nadmořskou výšku).

**Př. 1:** Urči napětí mezi dvěma body  $A$  a  $B$  v homogenním elektrickém poli o intenzitě  $200 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  pokud jsou od sebe vzdáleny  $25 \text{ cm}$  a vektor  $\vec{AB}$  má směr siločár elektrického pole. Jak se napětí změní, když se zvýší intenzita na  $600 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  ?

Platí:  $U = E \cdot d$

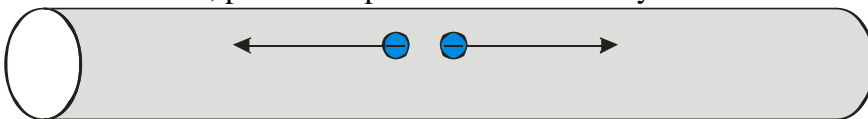
$$U_1 = E_1 \cdot d = 200 \cdot 0,25 \text{ V} = 50 \text{ V}$$

$$U_2 = E_2 \cdot d = 600 \cdot 0,25 \text{ V} = 150 \text{ V}$$

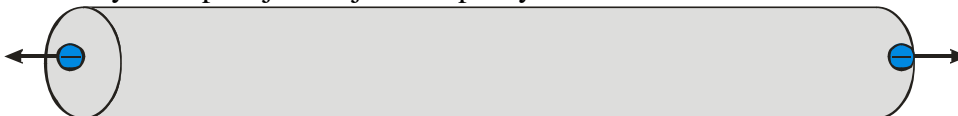
Napětí mezi body  $A$  a  $B$  se změní z  $50 \text{ V}$  na  $150 \text{ V}$ .

Výsledek odpovídá odhadu, větší intenzita elektrického pole znamená větší napětí.

Máme kus drátu, přenesu doprostřed dva elektrony. Co se stane?

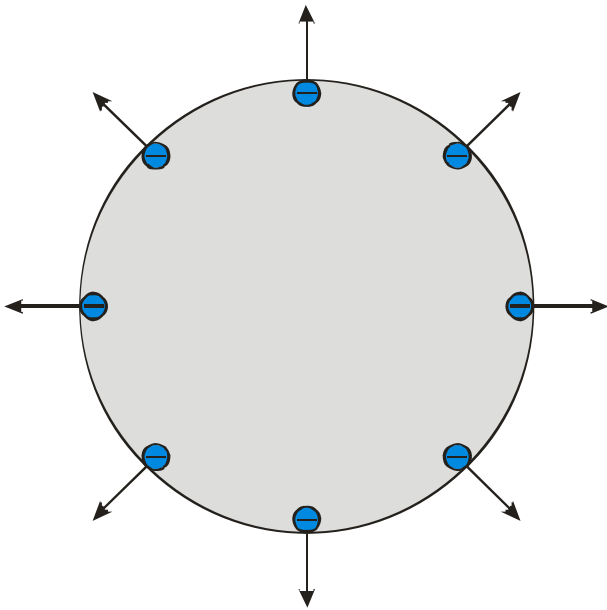


Elektrony se odpuzují  $\Rightarrow$  jdou k opačným stranám drátu



Dál jít nemohou.

Nyní přeneseme elektrony na vodivou kouli. Opět se odpuzují a snaží se dostat co nejdále jeden od druhého  $\Rightarrow$  rozmístí se po obvodu koule



Přenesené elektrony se rozmístí pouze po povrchu v jedné maximálně dvou atomových vrstvách  
 $\Rightarrow$  nezáleží zda je koule plná nebo ne.

Jak vypadají elektrické veličiny vně koule?

Stejně jako u bodového náboje:

- Intenzita klesá s rostoucí vzdáleností od koule:  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$
- Potenciál stoupá od nekonečna směrem ke kouli z nulové hodnoty  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r}$

Elektrickou intenzitu u povrchu koule způsobuje elektrický náboj na jejím povrchu:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^2} = \frac{1}{4\pi R^2} \cdot \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{\epsilon_0} = \sigma \cdot \frac{1}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$4\pi R^2 = S$  - povrch koule (jeden z důvodů, proč se místo  $k$  používá  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ),  $\frac{Q}{S} = \sigma$  -

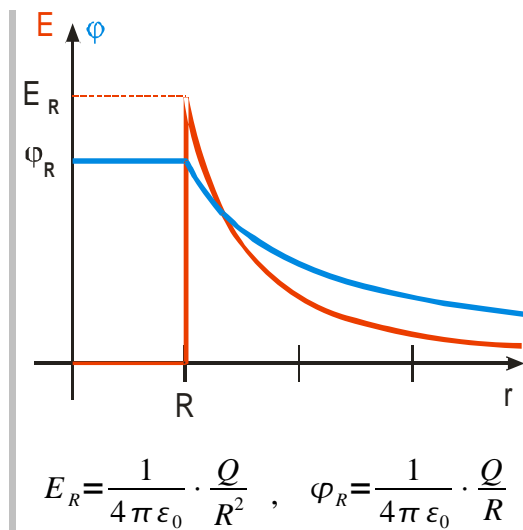
plošná hustota náboje

**Vztah**  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  platí pro všechna vodivá nabitá tělesa bez ohledu na jejich tvar

Jak vypadají elektrické veličiny uvnitř koule?

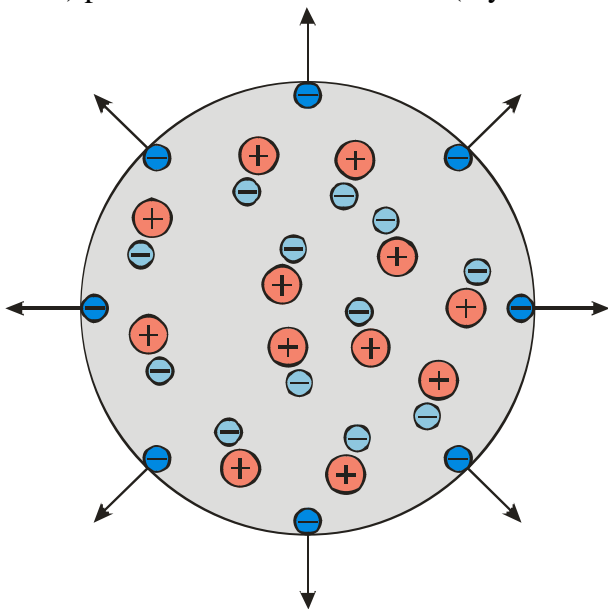
Elektrická intenzita je všude nulová (kdyby nebyla, volné náboje v kovu by se tak dlouho posouvaly, dokud by ji nevynulovaly)  $\Rightarrow$  Elektrický potenciál má všude stejnou hodnotu (mění se jenom tam, kde není nulová intenzita)

**Př. 2:** Nakresli graf udávající závislost elektrické intenzity a elektrického potenciálu na vzdálenosti od středu koule.

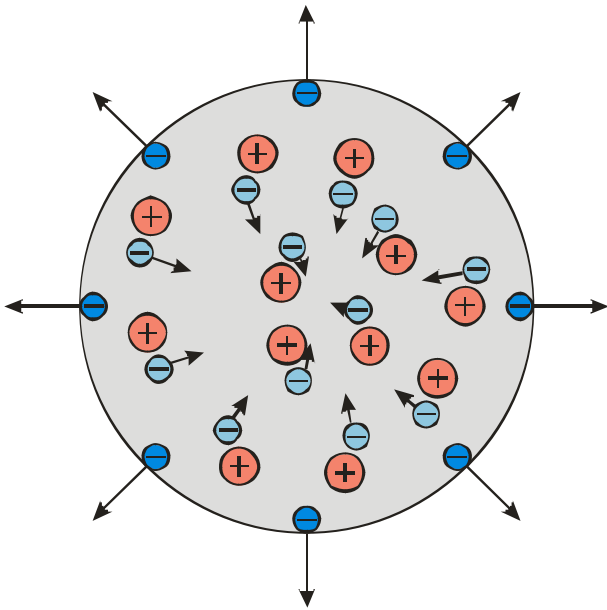


Proč je uvnitř vodiče nulové elektrické pole?

Kromě přidaných elektronů, obsahuje kov i mnohem víc ( $10^{12}$  víc, jak jsme počítali v hodině 4102) původních elektronů z kovu (i tyto elektrony se mohou volně pohybovat)



Přidané elektrony vytvoří elektrické pole  $\Rightarrow$  pole začne působit na původní pohyblivé elektrony  
 $\Rightarrow$  začnou se přemísťovat (od krajů)  $\Rightarrow$  tím pole přidaných elektronů zmenšují, dokud není výsledné pole nulové

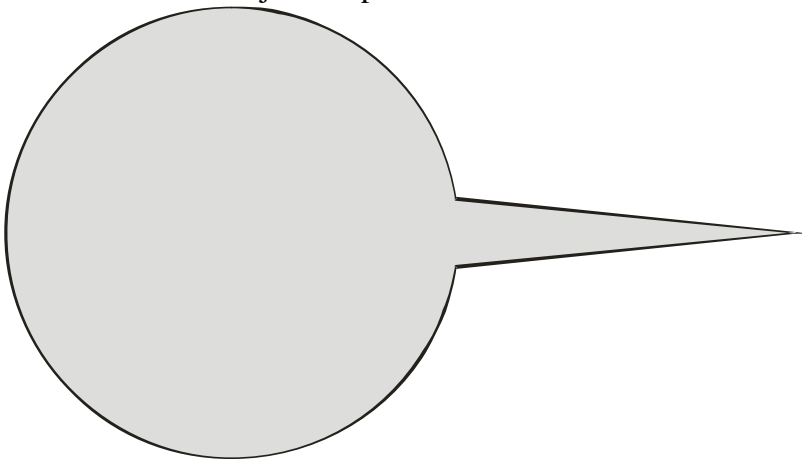


⇒ po ustálení musí být uvnitř nulové elektrické pole (jinak by na pohyblivé elektrony působilo elektrické pole, které by pokračovalo v jejich přemísťování) ⇒ elektrické siločáry vychází z povrchu vodiče kolmo (jinak by hýbaly náboji na povrchu)

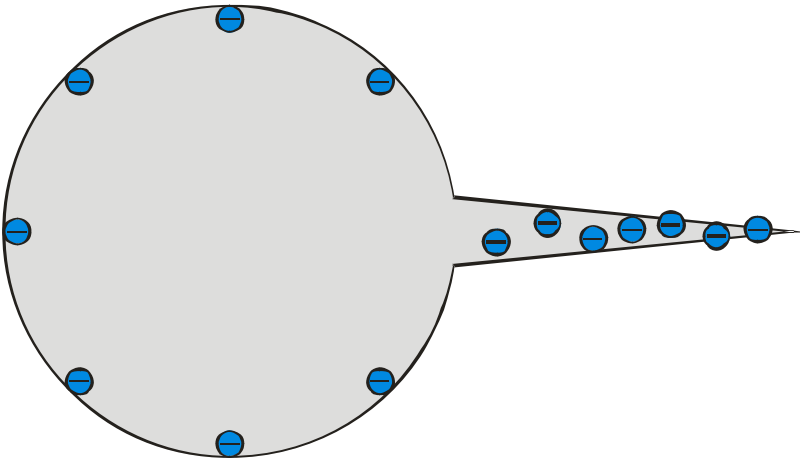
**Poznámka:** Podobný mechanismus udržuje hladinu kapalin vodorovnou. Jakmile je v nějakém místě kapaliny více molekul ⇒ vyšší hladina ⇒ větší hydrostatický tlak na molekuly v tomto místě ⇒ pohyb do stran ⇒ zánik vyvýšeniny.

**Pedagogická poznámka:** Vysvětlení nulové intenzity uvnitř vodičů je příkladem obecného efektu dosažení rovnovážného stavu. Proto je důležité jeho pochopení.

Jak se rozmístí náboje na nepravidelném tělese?



Nejvíce elektronů se usadí na hrotu (jsou v průměru nejdále od největšího počtu ostatních)

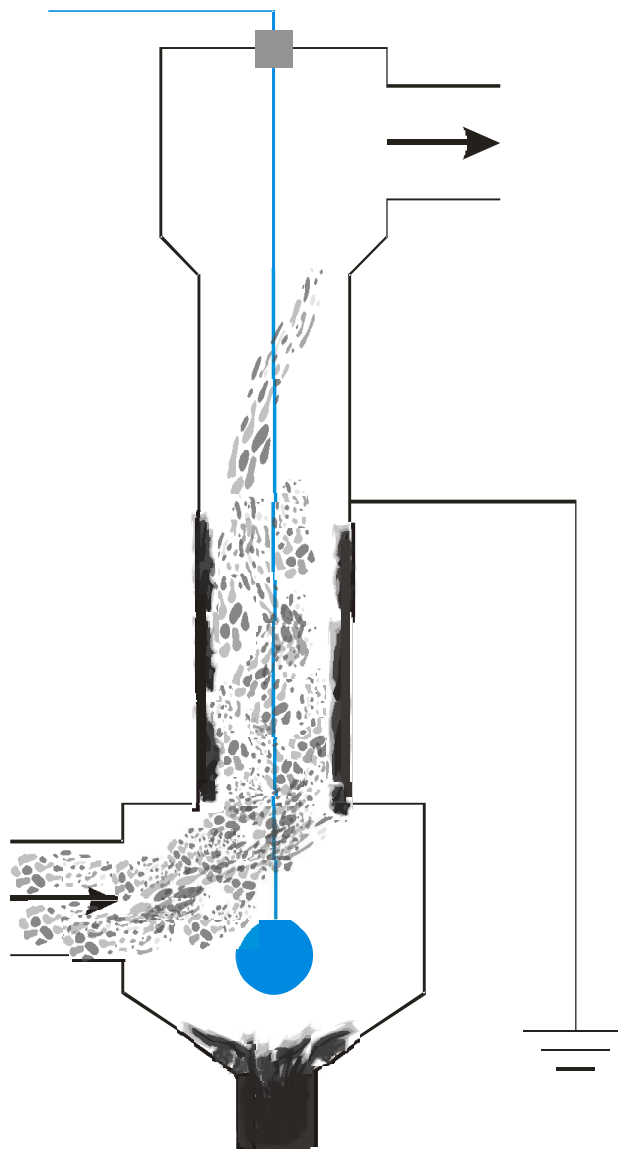


Uvnitř opět nulová intenzita a všude stejný potenciál.

Čím ostřejší hrot nebo hrana, tím větší hustota elektronů  $\Rightarrow$  větší intenzita elektrického pole při povrchu (vzorec  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ )  $\Rightarrow$  nebezpečí srážení náboje (jiskry jako u Van Der Graffova generátoru) = problém při přenosu elektrického proudu při velmi vysokých napětích

Přenesený náboj se rozmístí na okrajích vodivého tělesa s největší hustotou na hranách a hrotech. Elektrická intenzita uvnitř vodivého tělesa je vždy nulová, elektrický potenciál má všude stejnou hodnotu.

Elektrostatický filtr na popílek



Uprostřed komínu je natažený úzký drát o velmi vysokém záporném potenciálu až 100 kV  $\Rightarrow$  obrovská intenzita elektrického pole  $\Rightarrow$  srší z něj elektrony  $\Rightarrow$  nabíjejí částice popílku  $\Rightarrow$  částice popílku jsou odpuzovány od drátu ke stěnám  $\Rightarrow$  při doteku se stěnou se uzemněním vybíjí a padají dolů

**Př. 3:** Rozhodni, zda by elektrostatický filtr fungoval i v případě, že bychom na drát přiváděli kladný potenciál.

Nefungoval, protože protony nemohou sršet z drátu pryč.

**Př. 4:** Urči plošnou hustotu náboje na povrchu vodiče ve chvíli, kdy hodnota elektrické intenzity překročí pevnost vzduchu.

$$E_p = 3 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}, \quad \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}, \quad \sigma = ?$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \Rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon_0$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_0 = 3 \cdot 10^6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{N}^{-2} = 2,66 \cdot 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{N}^{-2}$$

Elektrická intenzita překročí pevnost vzduchu ve chvíli, kdy plošná hustota náboje překročí  $2,66 \cdot 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{N}^{-2}$ .

**Shrnutí:** Přenesený náboj se rozmístí na okrajích vodivého tělesa s největší hustotou na hranách a hrotech. Elektrická intenzita uvnitř vodivého tělesa je vždy nulová, elektrický potenciál má všude stejnou hodnotu.