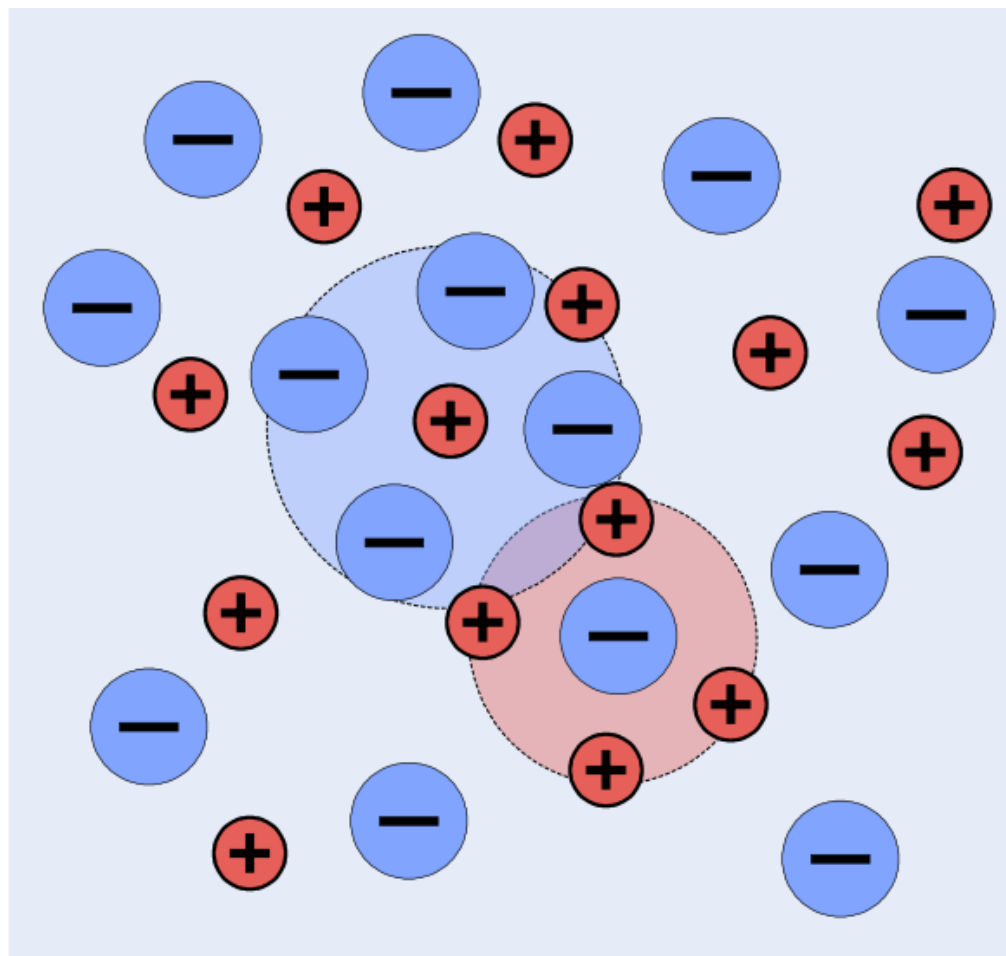


# Elektrostatičko ekraniranje

4

centralni jon okružen jonima suprotnog znaka



# Šta je elektrostatičko ekraniranje?

- Još jedna manifestacija kolektivne interakcije kod plazme na malim rastojanjima, reda veličine Debaj-evog radijusa.
- Na tim rastojanjima, reda veličine Debaj-evog radijusa su moguća razdvajanja prostornih naelektrisanja suprotnog znaka.
- Pojava elektrostatičkog ekraniranja se sastoji u tome, što potencijal elektrostatičkog polja u blizini jona vrste  $\alpha$ , se se on nalazi u plazmi, nije dat izrazom

$$\varphi_{\alpha}^C(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e_{\alpha}}{r}$$

koji bi važio kad bi se taj jon nalazio u vakuumu (oznaka C ima za cilj da naglasi da se radi u Kulonovom potencijalu).

- Potencijal elektrostatičkog polja u blizini jona u plazmi ima znatno drugačiju zavisnost od rastojanja.

# Objašnjenje

- Zbog privlačenja jona suprotnog znaka i odbijanja naelektrisanja istog znaka, oko svakog jona u plazmi se obrazuje jedna neravnomerna raspodela naelektrisanja u kojoj dominiraju čestice suprotnog znaka, tzv. “oblak” naelektrisanja.
- Unutar “oblaka” je, dakle, elektroneutralnost plazme narušena, što već ukazuje na to da njegove linearne dimenzije ne mogu biti veće od Debaj-evog radijusa.
- Najvažnija posledica obrazovanja ovog “oblaka” jeste zaklanjanje, ekraniranje, polja centralnog jona.
- Usled termalnog kretanja naelektrisanih čestica u “oblaku”, njegova struktura i oblik se neprekidno menjaju, ali se može uzeti da je on u srednjem sferno simetričan.

# Određivanje potencijala elektrostatičkog polja jona u plazmi okruženog “oblakom”

- Polazimo od Poisson-ove (Poisson) jednačine

$$\Delta\varphi_\alpha = -\frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{\sigma} e_{\sigma} n_{\sigma}^*(r)$$

- gde je  $n_{\sigma}^*$  koncentracija jona vrste  $\sigma$  na mestu koje se nalazi na rastojanju  $r$  od centralnog jona i gde je potencijal elektrostatičkog polja svih čestica oblaka iznosi  $\varphi_\alpha(r)$ .
- Debaj i Hikel (Hückel) su razvili teoriju u kojoj se polazi od pretpostavke da je svaka komponenta plazme vrlo približno idealni gas i da je vrlo blizu stanja termodinamičke ravnoteže i ima svoju temperaturu  $T_\alpha$ .
- U tom slučaju je dozvoljeno primeniti Boltzman-ovu (Boltzman) formulu za koncentraciju gasa u polju spoljašnjih sila sa potencijalom  $U$

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{U}{kT}\right)$$

# Ekranirani potencijal

$$n_{\sigma}^{*}(r) = n_{\sigma} \exp\left(-\frac{e_{\sigma}\varphi_{\alpha}}{kT_{\sigma}}\right)$$
$$\Delta\varphi_{\alpha}(r) = -\frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{\sigma} e_{\sigma} n_{\sigma} \exp\left(-\frac{e_{\sigma}\varphi_{\alpha}}{kT_{\sigma}}\right)$$

- Pretpostavka o sfernoj simetriji

$$\Delta\varphi_{\alpha}(r) = \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2}(r\varphi_{\alpha})$$
$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2}(r\varphi_{\alpha}) + \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{\sigma} e_{\sigma} n_{\sigma} \exp\left(-\frac{e_{\sigma}\varphi_{\alpha}}{kT_{\sigma}}\right) = 0$$

- Pod pretpostavkom da je elektrostatička energija ma koje naelektrisane čestice oblaka  $e_{\sigma}\varphi_{\alpha}$  znatno manja od srednje energije termalnog kretanja  $kT_{\sigma}$  čestice te vrste

$$\exp(-x) \approx 1 - x$$

# Za domači

- Rešiti jednačinu:

$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (r\varphi_\alpha) + \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{\sigma} e_{\sigma} n_{\sigma} \left( 1 - \frac{e_{\sigma} \varphi_{\alpha}}{kT_{\sigma}} \right) = 0$$

- Rešenje:

$$\varphi_{\alpha}(r) = \frac{C_1}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_D}\right) + \frac{C_2}{r} \exp\left(\frac{r}{r_D}\right)$$

- Debaj-Hikelov ili ekranirani potencijal:

$$\varphi_{\alpha}^{DH}(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{e_{\alpha}}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_D}\right)$$

# Analiza

- Ekranirani potencijal:

$$\varphi_{\alpha}^{DH}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e_{\alpha}}{r} \exp\left(-\frac{r}{r_D}\right)$$

- Skicirati Coulomb-ov (neekranirani) i Debye-Huckel-ov (ekranirani) potencijal – koju razliku uočavate?
- Zaključak: iako su Kulon-ove sile dugog dometa, svaka naelektrisana čestica plazme interaguje samo sa onim naelektrisanim česticama koje se nalaze u Debaj-ovoj sferi opisanoj oko nje.



## Ilustracija promene neekranirano i ekraniranog potencijala tačkastog naelektrisanja sa rastojanjem

- Zbog eksponencijalnog faktora, Debaj-Hikel-ov (DH) potencijal opada znatno brže sa rastojanjem nego Kulon-ov potencijal.
- Na rastojanjima reda veličine  $r_D$  se može smatrati da je “oblak” u potpunosti ekranirao polje centralnog jona.

