

Lehký úvod do elektrostatiky: vakuum

1/23
AB19

Síla na náboj q způsobená nábojem Q : $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2}$

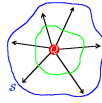
Intenzita pole: $E = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$

Potenciál: $\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$, platí $\nabla\phi \equiv \frac{\partial}{\partial r}\phi \equiv \text{grad}\phi \equiv \left(\frac{\partial}{\partial x'} \frac{\partial}{\partial y'} \frac{\partial}{\partial z'}\right)\phi = -E$

Celkový tok el. pole kulovou plochou (sférou) o poloměru r : $\int_{\text{sféra}} E \cdot dS = \frac{Q}{\epsilon_0}$

Zachování počtu siločar (\int nezávisí na r ani směru plochy)

\Rightarrow pro náboj **uvnitř** plochy S platí: $\frac{Q}{\epsilon_0} = \int_S E \cdot dS$



Intenzita pole těsně u rovinné desky: $E = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}$

Intenzita pole mezi deskami kondenzátoru: $E = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$

(A = plocha desky, $S = 2A$)

Lehký úvod do elektrostatiky: dielektrikum

2/23
AB19

Dielektrikum = „kladný náboj (hustota $+\rho$) + záporný náboj ($-\rho$)“

V el. poli v kondenzátoru $Q||-Q$ se náboje posunou o δ

Stínící náboj vlevo je $-Q_s$, vpravo $+Q_s$, $Q_s = A\delta\rho$

Efektivní náboj klesne v poměru 1 : ϵ_r (ϵ_r = definice ϵ_r):

$$Q - Q_s = Q/\epsilon_r$$

Ve stejném poměru klesne intenzita pole (\propto síla):

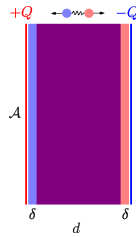
$$E = \frac{Q}{A\epsilon_r\epsilon_0} = \frac{Q}{A\epsilon} \quad (\text{def. } \epsilon = \epsilon_r\epsilon_0)$$

Objemová hustota dipólového momentu (= polarizace) v každém objemu V je $(V\rho\delta)/V = \rho\delta = P$. Dohromady:

$$Q_s = A\delta\rho = AP = Q - \frac{Q}{\epsilon_r} \quad \text{tj. } Q = \frac{Q}{\epsilon_r} + Q_s = \frac{Q}{\epsilon_r} + AP$$

vydělíme A a definujeme elektrickou indukci: $D \equiv \epsilon E = \frac{Q}{A} + P = \epsilon_0 E + P$

Kapacita kondenzátoru: $C = \frac{Q}{\phi} = \frac{AD}{\phi} = \frac{A\epsilon E}{\phi} = \frac{A\epsilon}{d}$, kde $\epsilon = \frac{\phi}{E}$



Poissonova rovnice

3/23
AB19

Zachovává se počet el. indukčních čar:

$$Q = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

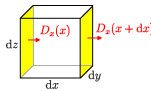
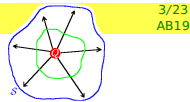
Integrál spočítáme přes povrch krychličky $dx \times dy \times dz$:

$$\begin{aligned} dQ = dV\rho &= \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = dydz[D_x(x+dx) - D_x(x)] \\ &+ dx dz[D_y(y+dy) - D_y(y)] \\ &+ dx dy[D_z(z+dz) - D_z(z)] \\ &= dx dy dz \left(\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} \right) = -dV\epsilon \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

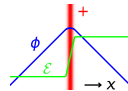
kde $\rho = dQ/dV$ je hustota náboje a permitivita je konstantní.

Laplaceův operátor: $\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) \equiv \nabla^2 \stackrel{\text{často}}{\equiv} \Delta$

Poissonova rovnice: $\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon}$ nebo v 1D: $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon}$



zde Δ značí:
 $\Delta\phi = \phi_{\text{vpravo}} - \phi_{\text{vlevo}}$



Elektrická dvojvrstva - vznik

4/23
AB19

Na rozhraní (pevné látky, bublina) a iontového roztoku vzniká **povrchový náboj** v důsledku různé afinity iontů různého znaménka, např.:

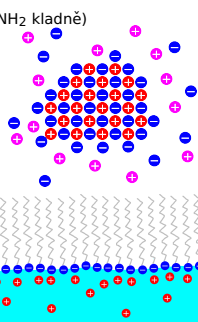
- Ionizace (disociace/protonizace) skupin (-COOH se nabije záporně, -NH₂ kladně)
- Přednostní rozpouštění či adsorpce iontů (AgCl v \ominus NaCl se nabije záporně)

Ionty se adsorbují z \ominus na povrchu krystalu, jestliže tvoří s iontem opačného znaménka málo rozpustnou sloučeninu

Kazimierz Fajans, Friedrich Paneth, Otto Hahn
Hahn: Nobelova cena za radiochemii, štěpení uranu

- Přednostní adsorpce povrchově aktivní látky (povrch mýdlové vody je záporný)
- Izomorní substituce (Al³⁺/Si⁴⁺ na povrchu jílu)
- Rozštěpnutí krystalu

Otázka: co tento náboj udělá v \ominus ?



Elektrická dvojvrstva: Tak ne!

[show/doublelayer.sh] 5/23
AB19

Mějme \ominus NaCl mezi elektrodami. Intenzita elektrostatického pole = E .

Ionty s elektrodou neinteragují (o interakci až později...) Jak se bude měnit koncentrace Na⁺ a Cl⁻ mezi elektrodami?

Naivní řešení:

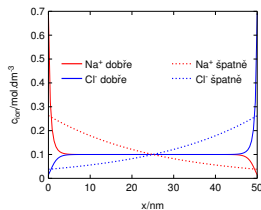
elektrostatický potenciál = $\phi(x) = -Ex$?

pot. energie kationtů = $e\phi(x)$

pravděpodobnost: $\exp\left[-\frac{e\phi(x)}{k_B T}\right] = \exp\left(\frac{Ex}{k_B T}\right)$

pot. energie aniontů = $-e\phi(x)$

pravděpodobnost: $\exp\left[-\frac{-e\phi(x)}{k_B T}\right] = \exp\left(-\frac{Ex}{k_B T}\right)$



Příklad. NaCl 0.1 mol dm⁻³, vzdálenost elektrod = 50 nm, napětí = 50 mV

Neutralita (nulový potenciál) uprostřed

1 eV = 96 485 J/mol

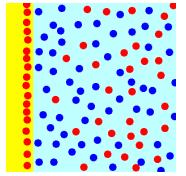
— : správně

..... : naivní řešení odporuje požadavku elektroneutality objemové fáze

Difúzní vrstva: Gouy-Chapman

6/23
AB19

- elektrický potenciál v objemové fázi je $\phi(\infty) = 0$
- elektrický potenciál na elektrodě je $\phi(0) = \phi_0$ (o původ ϕ_0 se zatím nebudeme starat)
- ionty jsou nabitě body, elektroda je tuhá zed'
- elektroda neinteraguje (žádná adsorpce)
- koncentraci iontů nahradíme průměrnou hodnotou (zanedbáváme korelace iontů)
- rozpouštědlo je dielektrické kontinuum (permitivita = $\epsilon = \epsilon_r\epsilon_0$)
- omezíme se na roztok soli 1:1 o koncentraci c (lze snadno zobecnit)



e = Eulerovo číslo
 e = elementární náboj

Poissonova rovnice: $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon}$

Objemová hustota náboje: $\rho = \sum_i z_i \rho_i = \rho_+ - \rho_-$, kde

$$\rho_+ = cF \exp\left[-\frac{\phi(x)e}{k_B T}\right] \quad \rho_- = cF \exp\left[\frac{\phi(x)e}{k_B T}\right]$$

Poissonova-Boltzmannova rovnice pro potenciál: $\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{cF}{\epsilon} [e^{\phi e/k_B T} - e^{-\phi e/k_B T}]$

Difúzní vrstva: Gouy-Chapman

7/23
AB19

Rovnice pro potenciál (Poisson-Boltzmann):

$$\frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{cF}{\epsilon} [e^{\phi e/k_B T} - e^{-\phi e/k_B T}], \quad \phi(0) = \phi_0, \quad \phi(\infty) = 0$$

- další předpoklad: linearizace (přibližné řešení pro malé potenciály) ($\phi e/k_B T \ll 1$, tj. $\phi \ll 26$ mV pro 298 K):

$$\exp(x) = \frac{x^0}{0!} + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots \approx 1 + x \Rightarrow \frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{2cF e}{\epsilon} \phi \Rightarrow \phi = \phi_0 e^{-x/\lambda}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\epsilon k_B T}{2cF e}} = \sqrt{\frac{\epsilon R T}{2c F^2}} = \text{Debyeova stínící délka, směřs: } \lambda = \sqrt{\frac{\epsilon R T}{2I c F^2}}$$

Příklad. NaCl ve vodě $c = 0.1$ mol dm⁻³, 25 °C $\Rightarrow \lambda = 0.96$ nm ($\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$, $\epsilon_r = 78.4$, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F m⁻¹)

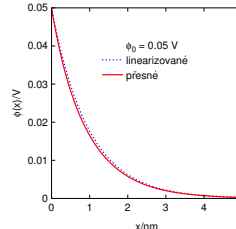
Pro srovnání:

- O-O vzdálenost ve vodě ≈ 0.28 nm, 120 molekul v λ -kouli
- Bjerrumova délka (energie páru elem. nábojů = $k_B T$): $\lambda_B = \frac{e^2}{4\pi\epsilon k_B T} \approx 0.7$ nm

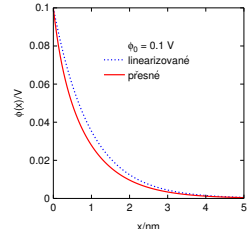
Difúzní vrstva: Gouy-Chapman

8/23
AB19

$\phi_0 = 50$ mV



$\phi_0 = 100$ mV



Potenciál (v závislosti na vzdálenosti od povrchu) ubývá exponenciálně v důsledku stínění náboje ionty opačného znaménka

Nazývá se **difúzní vrstva**, protože lze ekvivalentně vysvětlit jako rovnováhu mezi difúzí a přitahováním k elektrodě

Elektrická dvojvrstva II

9/23
AB19

Nabitý povrch přitahuje **protiionty** (counterions).

Gouy-Chapman

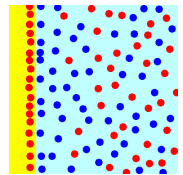
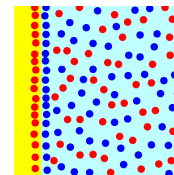
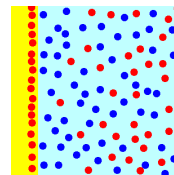
nabitý povrch
difúzní vrstva postupně
odstíní náboj
neutrální roztok

Helmholtz

nabitý povrch
adsorbované protiionty stíní
celý náboj
neutrální roztok

Stern

nabitý povrch
adsorbované protiionty stíní
část náboje
difúzní vrstva stíní
zbylý náboj
neutrální roztok



Povrchový náboj

10/23
AB19

(povrchový náboj) = - (náboj Gouyovy-Chapmanovy vrstvy)

$$\sigma = - \int_0^\infty (\rho_+ - \rho_-) dx = - \int_0^\infty cF \left\{ \exp\left[-\frac{\phi(x)e}{k_B T}\right] - \exp\left[\frac{\phi(x)e}{k_B T}\right] \right\} dx$$

Použijeme linearizovanou teorii, $\exp(x) \approx 1 + x$, protože $\phi(x)e/k_B T \ll 1$

$$\sigma \approx \int_0^\infty 2cF \frac{\phi(x)e}{k_B T} dx = \int_0^\infty 2cF \frac{\phi_0 e^{-x/\lambda}}{k_B T} dx = \int_0^\infty \frac{\epsilon}{\lambda^2} \phi_0 e^{-x/\lambda} dx = \frac{\epsilon}{\lambda} \phi_0 \quad (1)$$

Kapacita Gouyovy-Chapmanovy dvojvrstvy na jednotku plochy jako kondenzátoru:

$$\frac{C}{A} = \frac{\sigma}{\phi_0} = \frac{\epsilon}{\lambda}$$

Zpravidla se měří diferenciální kapacita, $d\sigma/d\phi$, protože obecně $\sigma \neq \phi$

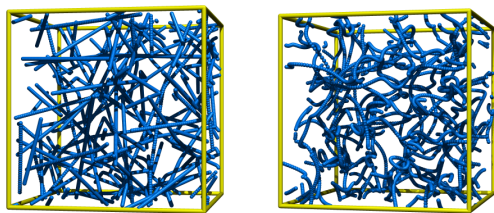
Příklad. Molekula mýdla zaujímá na povrchu plochu asi $a = 0.2$ nm². Protiionty jsou v \ominus o koncentraci 0.1 mol dm⁻³ v průměru $\lambda = 1$ nm daleko.

- Jaký je povrchový náboj?
- Jaké kapacitě kondenzátoru (na m²) to odpovídá? ($\epsilon_r = 78$.)
- Jaký je potenciál povrchu mýdlové vody?

(a) $-0.8 \times 10^{-2} \text{ C m}^{-2}$, (b) 0.7 F m^{-2} , (c) 0.1 V (mohlo by měnit, protože nejsou napsány předpoklady)

Plazma, roztoky elektrolytů:

- interakce náboj-náboj ubývá pomalu
- velké odchylky od ideálního chování
- neexistuje viriálový rozvoj



helium T=300K

helium T=10 000 K

Debyeova-Hückelova teorie pro roztoky elektrolytů 12/23 AB19

Zjednodušující předpoklady:

- rozpuštědlo je homogenní dielektrické kontinuum
- ionty (může být několik druhů) aproximujeme tuhou nabitou kuličkou o průměru σ ; jiné než elektrostatické interakce zanedbáváme
- rozložení iontů v okolí vybraného iontu popisujeme pravděpodobnostně jako spojité rozložení náboje (iontová atmosféra); korelace iontů v atmosféře zanedbáváme
- platí $ze\phi \ll k_B T$ - alespoň „pro většinu iontů“
 - pro 1:1 nastane pro dostatečně zředěný roztok ($< 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$)
 - pro $|z| > 1$ nutné mnohem zředěnější roztoky

Iontová síla:

$$I_c = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i \quad \text{často pomocí molalit: } I = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 m_i$$

sčítá se přes všechny ionty v roztoku

Aktivní koeficienty iontů – příklad 1 16/23 AB19

Vypočítejte střední aktivní koeficient iontů v ϕ CaCl_2 , $c = 0.01 \text{ mol dm}^{-3}$

$$I_c = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i = \frac{1}{2} [2^2 c + 1^2 \cdot 2c] = 3c$$

$$\ln \gamma_{\pm} = -A z_{\oplus} z_{\ominus} \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -A \cdot 2 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -1.176 \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{0.03}}{1 + \sqrt{0.03}} = -0.3473 \Rightarrow \gamma_{\pm} = 0.71$$

Iontová síla pro jednu sůl o molaritě c v roztoku (použije se elektroneutralita):

$$I_c = \frac{1}{2} z_{\oplus} z_{\ominus} (v_{\oplus} + v_{\ominus}) c$$

$$A = 1.176 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2} \\ a = 1 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$$

Debyeova-Hückelova teorie pro roztoky elektrolytů 13/23 AB19

Výsledky (stíněný Coulombův nebo Yukawův potenciál)

$$\phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ze}{r} \rightarrow \phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ze}{r} \exp(-r/\lambda) \quad \text{stínění}$$

Debyeova délka (velikost iontové atmosféry):

$$\lambda = \sqrt{\frac{\epsilon RT}{2I_c F^2}} \quad \lambda = 0.96 \text{ nm pro } 1:1, c = 0.1 \text{ mol dm}^{-3} \\ \text{v kouli o poloměru } \lambda \text{ je } 120 \text{ H}_2\text{O}$$

často se značí $\kappa = 1/\lambda$

Aktivní koeficient iontu:

$$\ln \gamma_i = -Az_i^2 \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} \approx -Az_i^2 \sqrt{I_c} \quad \text{bodové ionty (limitní zákon)}$$

$$A = \frac{e^3 N_A^2 \sqrt{2}}{8\pi(\epsilon RT)^{3/2}} \quad (= 1.176 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2} \text{ pro vodu } 25^\circ\text{C})$$

$$a = \sqrt{\frac{2F^2}{\epsilon RT}} \sigma \quad (\hat{=} 1 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2} \text{ pro } \sigma = 0.3 \text{ nm})$$

Použitelnost max. do $I_c = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$ (jednomocné), jinak ještě míň

Aktivní koeficienty iontů – příklad 2 17/23 AB19

Vypočítejte střední aktivní koeficient iontů v ϕ CH_3COOH , $c = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$, je-li stupeň disociace $\alpha = 0.013$

$$c_{\oplus} = c_{\ominus} = \alpha c, \quad I_c = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i = \frac{1}{2} [1^2 c_{\oplus} + 1^2 c_{\ominus}] = c_{\oplus} = \alpha c = 0.0013 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\ln \gamma_{\pm} = -A \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -1.176 \cdot \frac{\sqrt{0.0013}}{1 + \sqrt{0.0013}} = -0.0409 \Rightarrow \gamma_{\pm} = 0.96$$

$$A = 1.176 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2} \\ a = 1 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$$

Aktivní koeficienty iontů – příklad 3 18/23 AB19

Vypočítejte aktivní koeficient protonů v ϕ H_2SO_4 , $c = 0.01 \text{ mol dm}^{-3}$, je-li disociace do 1. stupně úplná a do 2. stupně 60%.

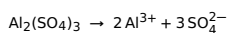
látko	zač.	1. st.	2. st.
H_2SO_4	c	0	0
HSO_4^-	0	c	0.4c
H^+	0	c	1.6c
SO_4^{2-}	0	0	0.6c
náboj	0	$-c + c = 0$	$-0.4c + 1.6c - 2 \cdot 0.6c = 0$

$$I_c = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i = \frac{1}{2} [1^2 \cdot 0.4c + 1^2 \cdot 1.6c + 2^2 \cdot 0.6c] = 2.2c = 0.022 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\ln \gamma_{\text{H}^+} = -A \cdot 1^2 \cdot \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -1.176 \cdot \frac{\sqrt{0.022}}{1 + \sqrt{0.022}} = -0.1519 \\ \gamma_{\text{H}^+} = 0.859$$

$$A = 1.176 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2} \\ a = 1 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$$

Roztok silného elektrolytu 14/23 AB19



Obecně:



Elektroneutralita (zde definuji: $z_{\oplus} > 0, z_{\ominus} > 0$):

$$v_{\oplus} z_{\oplus} = v_{\ominus} z_{\ominus}$$

$\Rightarrow \gamma_{\oplus}$ a γ_{\ominus} nejsou samostatně měřitelné běžnými metodami

Střední chemický potenciál ($1 =$ rozpouštědlo, $2 =$ sůl)

$$\mu_{2\pm} = \frac{v_{\oplus} \mu_{\oplus} + v_{\ominus} \mu_{\ominus}}{v_{\oplus} + v_{\ominus}}$$

Střední aktivita ($v = v_{\oplus} + v_{\ominus}$)

$$a_{2\pm} = \sqrt{a_{\oplus}^{v_{\oplus}} a_{\ominus}^{v_{\ominus}}}$$

$$\mu_i = \mu_i^{\ominus} + RT \ln a_i \\ a_i = \exp\left(\frac{\mu_i - \mu_i^{\ominus}}{RT}\right)$$

Rozpustnost málo rozpustné soli 19/23 AB19

Příklad. Součin rozpustnosti síranu barnatého je 1.0×10^{-10} . Vypočítejte rozpustnost BaSO_4

a) v čisté vodě:

$$K_S = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = c^2 \Rightarrow c = \sqrt{K_S} = 1 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} = 10 \mu\text{mol L}^{-1}$$

$$I_c = \frac{1}{2} [2^2 c + 2^2 c] = 4c$$

$$\ln \gamma_{\pm} = -A \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -1.176 \cdot 4 \cdot \frac{\sqrt{4 \times 10^{-5}}}{1 + \sqrt{4 \times 10^{-5}}} \Rightarrow \gamma_{\pm} = 0.971$$

$$K_S = a_{\text{Ba}^{2+}} a_{\text{SO}_4^{2-}} = \gamma_{\pm}^2 [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = \gamma_{\pm}^2 c^2 \Rightarrow c = \sqrt{K_S/\gamma_{\pm}} = 10.3 \mu\text{mol L}^{-1} \approx 10 \mu\text{mol L}^{-1}$$

Obecně vede k transcendentní rovnici, lze řešit numericky softwarem nebo iteracemi (z nové koncentrace spočítáme nový aktivní koeficient).

b) v 0.01 M roztoku NaCl:

$$[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] \ll [\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] \Rightarrow I_c \approx [\text{NaCl}] = 0.01 \text{ mol L}^{-1}$$

$$\ln \gamma_{\pm} = -A \cdot 2 \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}} = -1.176 \cdot 4 \cdot \frac{\sqrt{0.01}}{1 + \sqrt{0.01}} \Rightarrow \gamma_{\pm} = 0.652$$

$$K_S = a_{\text{Ba}^{2+}} a_{\text{SO}_4^{2-}} = \gamma_{\pm}^2 [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = \gamma_{\pm}^2 c^2 \Rightarrow c = \sqrt{K_S/\gamma_{\pm}} = 15.3 \mu\text{mol L}^{-1} \approx 15 \mu\text{mol L}^{-1}$$

Roztok silného elektrolytu 15/23 AB19

Střední aktivní koeficient

$$\gamma_{2\pm} = \frac{\sqrt{\gamma_{\oplus}^{v_{\oplus}} \gamma_{\ominus}^{v_{\ominus}}}}{\gamma_{\pm}} \quad \ln \gamma_{2\pm} = \frac{v_{\oplus} z_{\oplus}^2 \gamma_{\oplus} + v_{\ominus} z_{\ominus}^2 \gamma_{\ominus}}{v_{\oplus} + v_{\ominus}}$$

$$\ln \gamma_i = -Az_i^2 \frac{\sqrt{I_c}}{1 + a\sqrt{I_c}}$$

kde $A = 1.176 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$, $a = 1 \text{ dm}^{3/2} \text{ mol}^{-1/2}$

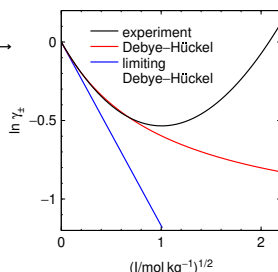
Test pro ϕ NaCl \rightarrow

Z definice středního chem. pot. $v_{\oplus} z_{\oplus} = v_{\ominus} z_{\ominus}$

$$\mu_{2\pm} = \frac{v_{\oplus} \mu_{\oplus} + v_{\ominus} \mu_{\ominus}}{v_{\oplus} + v_{\ominus}}$$

kteřá platí i pro dodatkový chem. pot. $\mu^E = RT \ln \gamma$

$$\frac{\ln \gamma_{2\pm}}{-A\sqrt{I_c}(1 + a\sqrt{I_c})} = \frac{v_{\oplus} z_{\oplus}^2 \gamma_{\oplus} + v_{\ominus} z_{\ominus}^2 \gamma_{\ominus}}{v_{\oplus} + v_{\ominus}} = \frac{v_{\oplus} z_{\oplus}^2 \gamma_{\oplus} + v_{\oplus} z_{\oplus}^2 \gamma_{\oplus}}{v_{\oplus} + v_{\oplus}} = z_{\oplus} z_{\ominus}$$



Rozpustnost málo rozpustné soli 20/23 AB19

- klesne v ϕ obsahujícím jeden z iontů např. rozpustnost BaSO_4 klesne po přidání $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ nebo Na_2SO_4
- poněkud stoupne v přítomnosti jiných (neinteragujících) iontů, protože klesnou aktivní koeficienty iontů tvořících sůl např. BaSO_4 v roztoku NaCl
- může se také změnit v důsledku změny pH, dochází-li k hydrolyze např. vápenec a oxid uhličitý, štávelan vápenatý v ϕ kyseliny štávelové
- může se změnit v důsledku komplexace např. AgCl v roztoku KCl má několikanásobně vyšší rozpustnost než v čisté vodě, protože vznikají komplexní ionty AgCl_2^- , AgCl_3^{2-} , AgCl_4^{3-}

