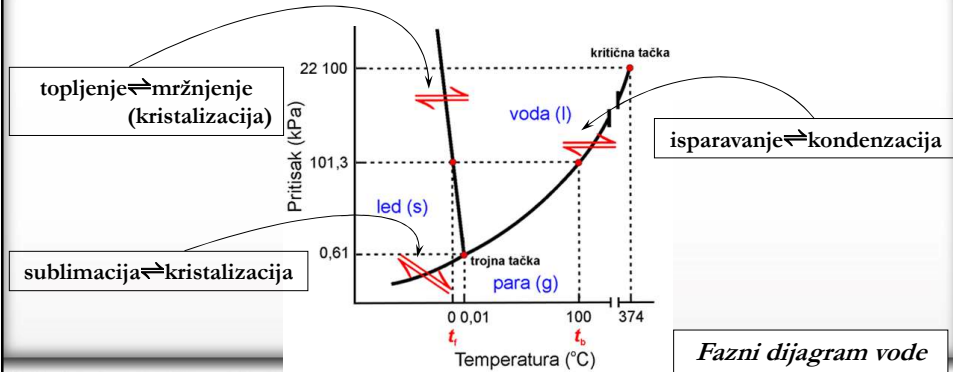


RASTVORI

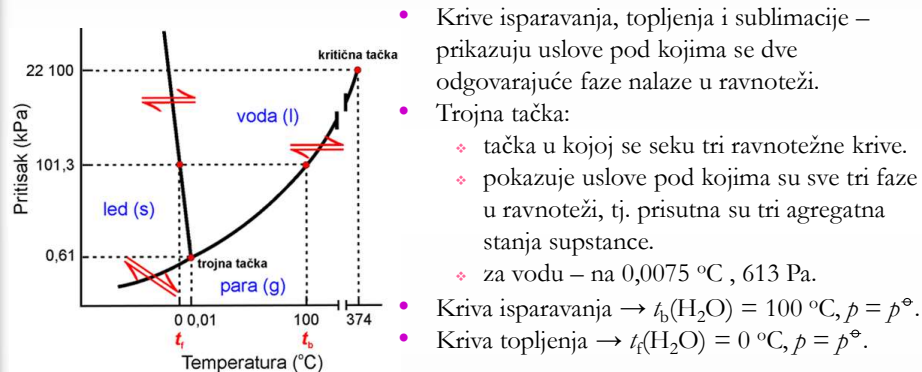
FAZNI DIJAGRAM

- Dijagram stanja ili fazni dijagram neke supstance je grafik na kome su prikazani uslovi (pritisci i temperature) pri kojima se supstanca nalazi u određenom agregatnom stanju (fazi), kao i uslovi pri kojima dolazi do prelaska iz jednog agregatnog stanja u drugo.



RASTVORI

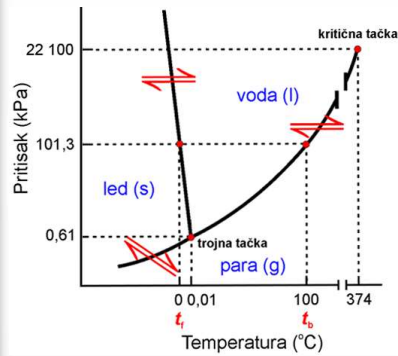
FAZNI DIJAGRAM



- Krive isparavanja, topljenja i sublimacije – prikazuju uslove pod kojima se dve odgovarajuće faze nalaze u ravnoteži.
- Trojna tačka:
 - tačka u kojoj se seku tri ravnotežne krive.
 - pokazuje uslove pod kojima su sve tri faze u ravnoteži, tj. prisutna su tri agregatna stanja supstance.
 - za vodu – na 0,0075 °C , 613 Pa.
- Kriva isparavanja → $t_b(\text{H}_2\text{O}) = 100\text{ °C}, p = p^\circ$.
- Kriva topljenja → $t_f(\text{H}_2\text{O}) = 0\text{ °C}, p = p^\circ$.

RASTVORI

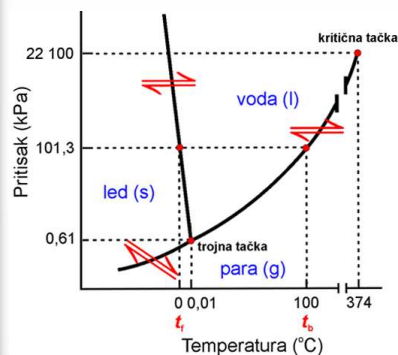
FAZNI DIJAGRAM



- Krive topljenja i sublimacije nisu ograničene, dok je kriva isparavanja ograničena kritičnom tačkom.
- Za kritičnu tačku karakterističan je kritična t i kritični p (za vodu – 374 °C i 22,1 MPa).
- Na t većim od kritične iščezava tečna faza i postoji samo gasovita, bez obzira na povećanje pritiska.
- Do kritične t moguće je komprimovati gas povećanjem pritiska i prevesti ga u tečno stanje.

RASTVORI

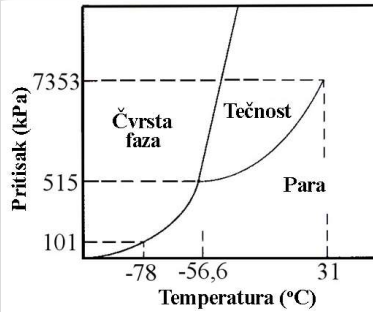
FAZNI DIJAGRAM



- Kriva topljenja – negativan nagib → sa porastom pritiska temperatura topljenja leda se snižava.
- Kriva sublimacije → sublimacija se dešava samo na temperaturama ispod trojne tačke i veoma niskim pritiscima.
 - ✦ iskorišćeno kod **liofilizacije** → sušenja nekog materijala *bez zagrevanja*. Na atmosferskom pritisku, materijal se zamrzne, prisutna vlaga zaleđi. Snižanjem pritiska ispod 613 Pa led sublimuje i materijal se suši.

RASTVORI

FAZNI DIJAGRAM



Fazni dijagram CO₂

- Pritisak u trojnoj tački (515 kPa) je veći od atmosferskog.
- Čvrsti CO₂ → “suvi led” → dobijen na niskim t , kada se iznese na sobnu t sublimuje, direktno prelazi u paru, na atmosferskom pritisku.
- Proces sublimacije je endoterman i t sredine veoma brzo opada, zbog čega se koristi kao efikasno sredstvo za hlađenje.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA

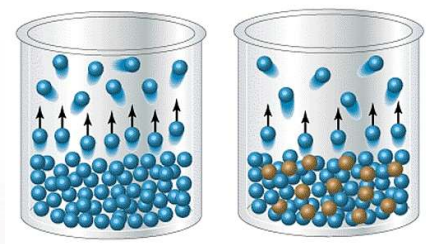
- Svojstva razblaženih rastvora ($c < 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$), jer se ponašaju gotovo idealno.
- Interakcije između molekula rastvarača i rastvorene supstance, koje bi dovele do odstupanja od ponašanja idealnih rastvora, su zanemarljive.
- Ne zavise od međumolekulskih interakcija, tj. od prirode rastvorene supstance i rastvarača.
- Zavise samo od broja čestica rastvorene supstance u rastvoru, tj. od koncentracije rastvora.
- Colligatus (latinski → združen, zbiran) → „združena” svojstva rastvora:
 - ❖ sniženje napona pare
 - ❖ povišenje temperature ključanja
 - ❖ sniženje temperature mržnjenja
 - ❖ osmotski pritisak rastvora
- Razlikuju se koligativna svojstva rastvora neelektrolita i elektrolita.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *sniženje napona pare*

- Napon pare rastvarača u rastvoru je niži od napona pare čistog rastvarača → vodeni rastvor isparava sporije od čiste vode → zbog dodatnih međumolekulskih interakcija između molekula rastvarača i rastvorene supstance.



RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *sniženje napona pare (Δp)*

- Prema Raulovom zakonu (za idealne rastvore) napon pare tečnosti proporcionalan je njenom molском udelu u rastvoru:

$$p(\text{H}_2\text{O}) = x(\text{H}_2\text{O}) p^0(\text{H}_2\text{O})$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x(\text{A}) \quad \text{A – rastvorena supstanca}$$

$$p(\text{H}_2\text{O}) = [1 - x(\text{A})] p^0(\text{H}_2\text{O}) = p^0(\text{H}_2\text{O}) - x(\text{A}) p^0(\text{H}_2\text{O})$$

$$p^0(\text{H}_2\text{O}) - p(\text{H}_2\text{O}) = \Delta p = x(\text{A}) p^0(\text{H}_2\text{O})$$

- Sniženje napona vodene pare iznad rastvora proporcionalno je molском udelu rastvorene supstance → što je veća koncentracija rastvora, sniženje napona pare je veće.

RAZBLAŽENI RASTVORI

PRIMER

- Izračunati sniženje napona pare iznad 25 mas.% vodenog rastvora glukoze ($C_6H_{12}O_6$) na 25 °C. Napon pare vode na 25 °C iznosi 3,167 kPa.

$$\Delta p = x(C_6H_{12}O_6) p^\circ(H_2O)$$

$$x(C_6H_{12}O_6) = \frac{n(C_6H_{12}O_6)}{n(H_2O) + n(C_6H_{12}O_6)} = \frac{0,14 \text{ mol}}{4,16 \text{ mol} + 0,14 \text{ mol}} = 0,033$$

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m}{M} = \frac{25 \text{ g}}{180,2 \text{ g mol}^{-1}} = 0,14 \text{ mol}$$

$$n(H_2O) = \frac{m}{M} = \frac{75 \text{ g}}{18,02 \text{ g mol}^{-1}} = 4,16 \text{ mol}$$

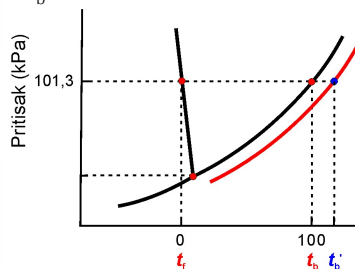
$$\Delta p = 0,033 \cdot 3,167 \text{ kPa} = 0,105 \text{ kPa}$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *povišenje temperature ključanja (ΔT_b)*

- t_b rastvora je veća od t_b rastvarača → vodenii rastvor ključa na većoj temperaturi od čiste vode.



$$\Delta t_b = \Delta T_b = t_b' - t_b$$

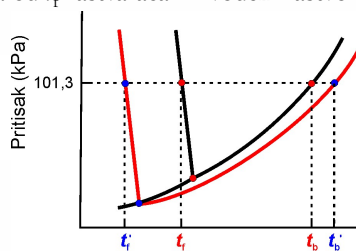
- posledica sniženja napona pare rastvarača u rastvoru → kada rastvor ima niži napon pare potrebna je viša t da bi rastvor proključao, tj. da bi se napon pare izjednačio sa atmosferskim pritiskom.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *snižanje temperature mržnjenja (ΔT_f)*

- t_f rastvora je manja od t_f rastvarača $\rightarrow$ vodeni rastvor mrzne na nižoj temperaturi od čiste vode.



$$\Delta t_f = \Delta T_f = t_f - t_f'$$

$$\Delta t_f > \Delta t_b$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *snižanje temperature mržnjenja*

- Značaj ΔT_f :
 - ❖ posipanje ulica solju protiv poledice (NaCl , CaCl_2)
 - ❖ dodatak antifrizu (etilen-glikol) u hladnjake automobila
 - ❖ priprema ledenih kupatila (smeša NaCl i leda, -20°C)
 - ❖ određivanje molarne mase rastvorene supstance

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *povišenje temperature ključanja i sniženje temperature mržnjenja*

- oba svojstva razblaženih rastvora su posledica sniženja napona pare rastvarača u rastvoru.

$$\Delta T_b = K_b m$$

$$\Delta T_f = K_f m$$

Dva nova Raulova zakona.

K_b – molalno povišenje temperature ključanja rastvarača } karakteristične
 K_f – molalno sniženje temperature mržnjenja rastvarača } veličine za
 svaki rastvarač

$$m - \text{molalitet (mol kg}^{-1}\text{)} \quad m = \frac{n(\text{supstance})}{m(\text{rastvarača})}$$

- što je veća koncentracija rastvora, ΔT_b je veće $\rightarrow t_b$ je viša, odnosno ΔT_f je veće $\rightarrow t_f$ je niža.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *povišenje temperature ključanja i sniženje temperature mržnjenja*

- koriste se za određivanje molarne mase rastvorene supstance.
- metode za određivanje M : ebulioskopija i krioskopija.

ebulioskopija

$$\Delta T_b = K_b m$$

$$\Delta T_b = K_b \frac{m(\text{supstance})}{M(\text{supstance}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$



$$M(\text{supstance}) = K_b \frac{m(\text{supstance})}{\Delta T_b \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$

K_b – ebulioskopska konstanta

krioskopija

$$\Delta T_f = K_f m$$

$$\Delta T_f = K_f \frac{m(\text{supstance})}{M(\text{supstance}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$



$$M(\text{supstance}) = K_f \frac{m(\text{supstance})}{\Delta T_f \cdot m(\text{H}_2\text{O})}$$

K_f – krioskopska konstanta

RAZBLAŽENI RASTVORI

PRIMERI

- Izračunati temperaturu mržnjenja rastvora antifriza koji sadrži 50,0 cm³ etilen-glikola (C₂H₆O₂) gustine 1,12 g cm⁻³ i 50,0 g vode.

$$\Delta T_f = K_f m^*$$

$$m^* = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{56 \text{ g}}{62,07 \text{ g mol}^{-1} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 18,04 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = \rho V = 1,12 \text{ g cm}^{-3} \cdot 50,0 \text{ cm}^3 = 56 \text{ g}$$

$$\Delta T_f = K_f m^* = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \cdot 18,04 \text{ mol kg}^{-1} = 33,5 \text{ K}$$

$$t_f = 0 \text{ }^\circ\text{C} - 33,5 \text{ }^\circ\text{C} = -33,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

PRIMERI

- Izračunati molarnu masu nepoznate organske supstance, ako rastvor 1,50 g supstance u 75,0 g cikloheksana mrzne na 2,7 °C.

$$\begin{aligned} \text{Priručnik: } t_f(\text{cikloheksan}) &= 6,2 \text{ }^\circ\text{C}, \\ K_f(\text{cikloheksan}) &= 20,2 \text{ K kg mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\Delta T_f = 6,2 \text{ }^\circ\text{C} - 2,7 \text{ }^\circ\text{C} = 3,5 \text{ }^\circ\text{C} = 3,5 \text{ K}$$

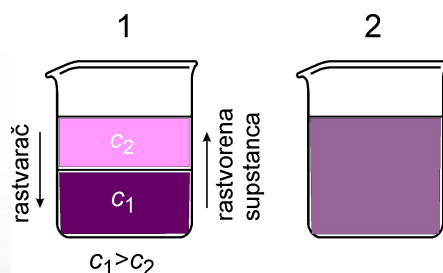
$$\Delta T_f = K_f m^* \Rightarrow m^* = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{3,5 \text{ K}}{20,2 \text{ K kg mol}^{-1}} = 0,173 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\begin{aligned} m^* &= \frac{m(\text{X})}{M(\text{X}) \cdot m(\text{cikloheksan})} \Rightarrow M(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m^* \cdot m(\text{cikloheksan})} = \\ &= \frac{1,50 \text{ g}}{0,173 \text{ mol kg}^{-1} \cdot 75,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 115,6 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

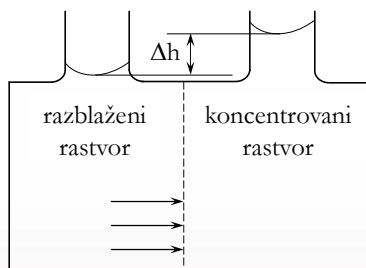
- Kada se dva rastvora različitih koncentracija dovedu u neposredan kontakt i bez mešanja će doći do izjednačavanja koncentracija u celokupnom rastvoru.
- **Difuzija** → molekuli rastvarača difunduju iz razblaženijeg u koncentrovaniji rastvor, a čestice rastvorene supstance iz koncentrovanijeg u razblaženiji rastvor, dok se ne uspostavi ravnoteža.



RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

- **Osmoza** → specijalan tip difuzije kada se dva rastvora različitih koncentracija odvoje polupropustljivom membranom koja propušta samo molekule rastvarača.
 - ❖ usmereno kretanje molekula rastvarača kroz polupropustljivu membranu.
 - ❖ iz razblaženijeg u koncentrovaniji rastvor čiji se nivo podiže (Δh).



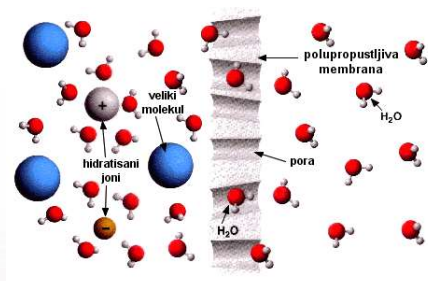
Difuzija rastvarača kroz polupropustljivu (semipermeabilnu) membranu.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak* (π)

- hidrostatski pritisak rastvora uspostavljen na polupropustljivoj membrani.
- jednak je onom pritisku iznad rastvora koji je potreban da se spreči osmoza.
- poslednji (četvrti) Raulov zakon:



$$\pi V = nRT$$

- ✧ analogno jednačini idealnog gasnog stanja – stanje u razblaženom rastvoru (idealnom) uporedivo je sa stanjem idealnog gasa.

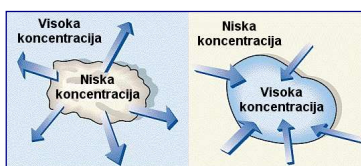
$$\pi = \frac{n}{V}RT = cRT$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak*

- rastvori koji imaju jednake osmotske pritiske – *izotonični rastvori*.
- primena u medicini:
 - ✧ sve ćelijske opne su polupropustljive membrane, pa unošenjem rastvora u krvotok može doći do uništavanja krvnih zrnaca (krvnih ćelija) usled smežuravanja ili bubrenja zbog osmoze.

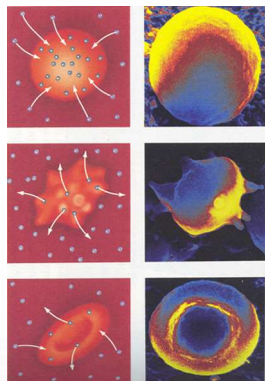


- ✧ fiziološki rastvor (0,95% rastvor NaCl) se može uneti u krvotok bez opasnosti jer je izotoničan sa tečnošću krvnih zrnaca.
- ✧ dijaliza potrebna bubrežnim bolesnicima je takođe vrsta osmoze.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak*



Uticaj koncentracije rastvora unetog u krvotok na krvna zrnca.

- ❖ **Hipotoničan rastvor** – suviše razblažen, pa će voda ulaziti u krvnu ćeliju dok ne pukne.
- ❖ **Hipertoničan rastvor** – suviše koncentrovan, pa će voda izlaziti iz krvne ćelije dok se ne smežura i prestane da funkcioniše.
- ❖ **Izotoničan rastvor.**

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak*

- primena u prehrambenoj industriji:
 - ❖ pri kišljenju u slanoj vodi krastavac se smežura – voda iz krastavca putem osmoze prelazi u koncentrovani rastvor soli kroz koru (semipermeabilnu membranu).

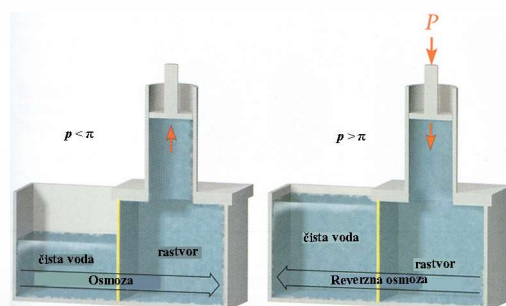


- ❖ suvo voće (šljiva) bubri kada se stavi u vodu – molekuli vode putem osmoze prolaze kroz koru u rastvor unutar suvog voća koji je koncentrovaniji.

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak*



Osmoza i reverzna osmoza.

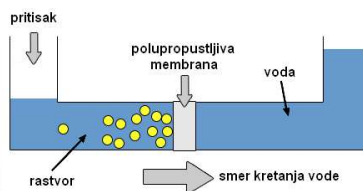
RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA NEELEKTROLITA

■ *osmotski pritisak*

• Reverzna osmoza:

- ❖ difuzija molekula rastvarača iz koncentrovanijeg u razblaženiji rastvor kroz polupropustljivu membranu.
- ❖ nije spontan proces, već je potrebno primeniti pritisak veći od osmotskog.

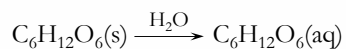


- ❖ koristi se za dobijanje čiste i pitke vode, desalinaciju morske vode, omekšavanje tvrde vode, prečišćavanje otpadnih voda.

RAZBLAŽENI RASTVORI

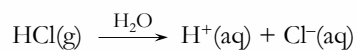
KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA ELEKTROLITA

- **Neelektroliti** – supstance čiji vodeni rastvori ne provode električnu struju:

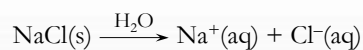


- **Elektroliti** – supstance čiji vodeni rastvori provode električnu struju:

- ❖ rastvori kovalentnih polarnih jedinjenja → jonizacija.



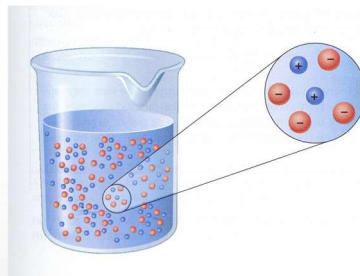
- ❖ rastvori soli (jonskih jedinjenja) → disocijacija.



RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA ELEKTROLITA

- Jačina elektrolita može se opisati pomoću **stepena jonizacije (disocijacije), α** :
 - ❖ odnos između broja molekula koji su disosovali i ukupnog broja rastvorenih molekula.
 - ❖ veće α , jači elektrolit, rastvor bolje provodi struju.
 - ❖ $0 < \alpha < 1$ ($0\% < \alpha < 100\%$).
 - ❖ do 30% → slab elektrolit.
 - ❖ od 30 do 100% → jak elektrolit.



RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA ELEKTROLITA

- Razblaženi rastvori elektrolita odstupaju od idealnog ponašanja zbog jonskih interakcija → jon teži da bude okružen suprotno naelektrisanim jonima.
- Koligativna svojstva rastvora elektrolita odstupaju od Raulovih zakona, ali na sistematičan način.

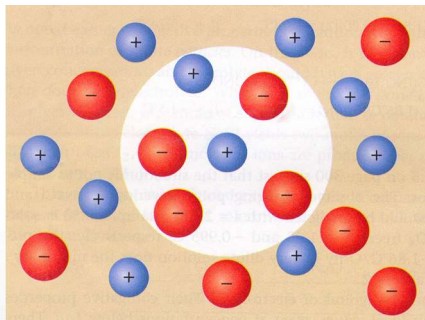
ΔT_f – izračunata vrednost

$\Delta T_f'$ – eksperimentalna vrednost (uvek veća)

$$\Delta T_f' / \Delta T_f = i$$

***i* - vant Hofov broj**

Svaki jon je okružen sa više suprotno naelektrisanih jona.



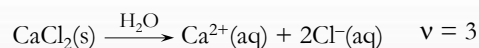
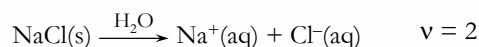
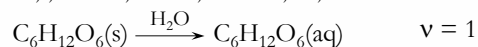
RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA ELEKTROLITA

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_b &= K_b m i \\ \Delta T_f &= K_f m i \\ \pi &= c R T i \end{aligned} \right\} \text{Raulovi zakoni za rastvore elektrolita.}$$

$$i = 1 + (\nu - 1) \alpha \quad i > 1 \Rightarrow \text{rastvori elektrolita imaju veće } \Delta T_b, \Delta T_f \text{ i } \pi \text{ od rastvora neelektrolita}$$

ν – ukupan broj jona koji nastaju disocijacijom elektrolita u rastvoru

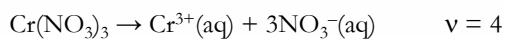


- koligativna svojstva razblaženih rastvora zavise samo od broja čestica, a ne i od njihove prirode.

RAZBLAŽENI RASTVORI

PRIMER

- Izračunati temperaturu ključanja rastvora hrom(III)-nitrata koncentracije $0,20 \text{ mol kg}^{-1}$, ako je stepen disocijacije soli u rastvoru 90%.



$$i = 1 + (v - 1) \alpha = 1 + 3 \cdot 0,90 = 3,7$$

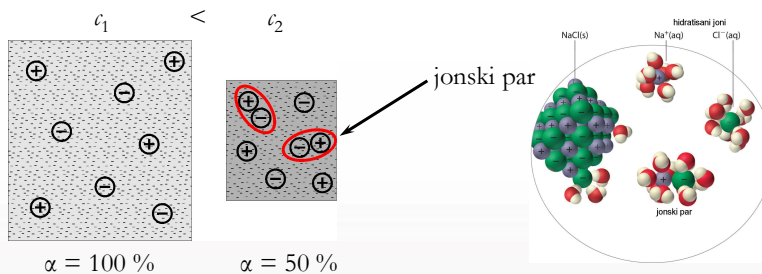
$$\Delta T_b = K_b m^* i = 0,513 \text{ K kg mol}^{-1} \cdot 0,20 \text{ mol kg}^{-1} \cdot 3,7 = 0,38 \text{ K}$$

$$t_b = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} + 0,38 \text{ }^{\circ}\text{C} = 100,38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

RAZBLAŽENI RASTVORI

KOLIGATIVNA SVOJSTVA RASTVORA ELEKTROLITA

- Jonska jedinjenja pri rastvaranju potpuno disosuju $\Rightarrow \alpha = 100\% \rightarrow$ **stvarni stepen disocijacije**.
- Eksperimentalno određena vrednost je uvek $\Rightarrow \alpha < 100\% \rightarrow$ **prividni stepen disocijacije**.
- Suprotno naelektrisani joni u rastvoru elektrolita grade *jonske parove*.



- sa porastom koncentracije, zbog stvaranja jonskih parova, α opada.

RAZBLAŽENI RASTVORI

PRIMER

- Izračunati prividni stepen disocijacije u rastvoru cink(II)-sulfata, ako rastvor koji sadrži 0,50 g ove soli u 150 g vode mrzne na $-0,053\text{ }^{\circ}\text{C}$.



$$\Delta T_f = 0,053\text{ K}$$

$$\Delta T_f = K_f \cdot m^* \cdot i \Rightarrow i = \frac{\Delta T_f}{K_f \cdot m^*} = \frac{0,053\text{ K}}{1,86\text{ K kg mol}^{-1} \cdot 0,0206\text{ mol kg}^{-1}} = 1,38$$

$$m^* = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,50\text{ g}}{161,5\text{ g mol}^{-1} \cdot 150 \cdot 10^{-3}\text{ kg}} = 0,0206\text{ mol kg}^{-1}$$

$$i = 1 + (v - 1) \alpha = 1 + \alpha \Rightarrow \alpha = i - 1 = 1,38 - 1 = 0,38 = 38\%$$

RASTVORI

REAKCIJE JONSKE IZMENE

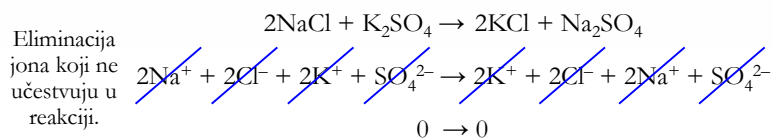
- U vodenom rastvoru mnoge supstance se nalaze u obliku jona $\rightarrow$ o tome je potrebno voditi računa pri odigravanju hemijskih reakcija i pisanju odgovarajućih jednačina.
- U vodenom rastvoru u jonizovanom (disosovanom) obliku nalaze se **jaki elektroliti**:
 - ❖ sva jedinjenja sa jonskom vezom **ako su rastvorna u vodi** (soli, baze alkalnih i zemnoalkalnih metala),
 - ❖ jake kiseline (HCl, HBr, HI, HClO₄, H₂SO₄, HNO₃, itd.).
- U vodenom rastvoru u molekulskom (nejonizovanom) obliku nalaze se **slabi elektroliti**:
 - ❖ sva jedinjenja koja nisu rastvorna u vodi,
 - ❖ slabe baze (NH₃),
 - ❖ slabe kiseline (CH₃COOH, HClO, HNO₂, H₂S, itd.),
 - ❖ voda.

RASTVORI

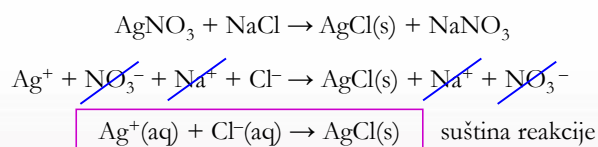
REAKCIJE JONSKE IZMENE

- Pravilan način pisanja jednačina hemijskih reakcija je **u jonskom obliku**, jer jonski oblik pokazuje suštinu hemijske reakcije.

Eliminacija
jona koji ne
učestvuju u
reakciji.



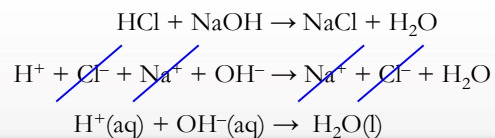
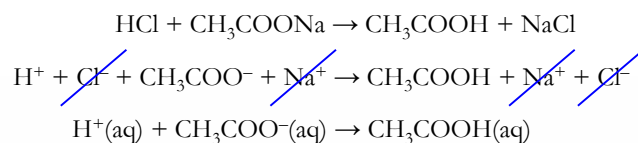
NEMA REAKCIJE



RASTVORI

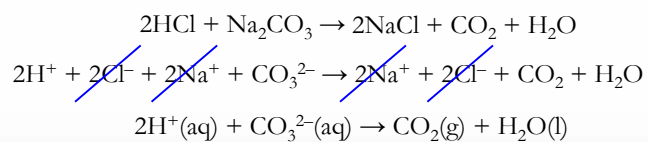
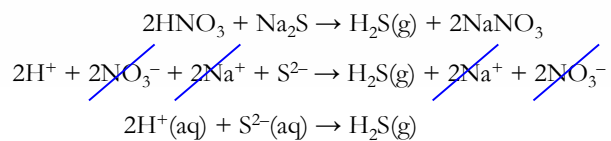
REAKCIJE JONSKE IZMENE

- Do reakcije dolazi kada nastaje:
 - ❖ slab elektrolit,
 - ❖ talog, } proizvod napušta
 - ❖ gas. } sistem (rastvor)



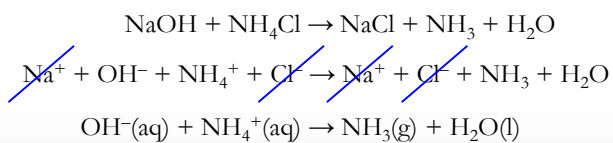
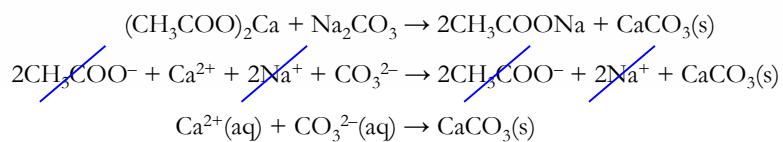
RASTVORI

REAKCIJE JONSKE IZMENE



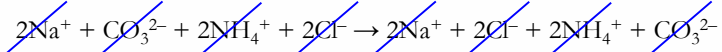
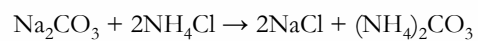
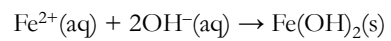
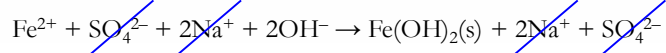
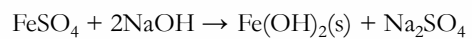
RASTVORI

REAKCIJE JONSKE IZMENE



RASTVORI

REAKCIJE JONSKE IZMENE



NEMA REAKCIJE