

### 13. KOLIGATIVNÍ VLASTNOSTI

01	Snížení tlaku páry nad roztokem.....	2
02	Snížení tlaku páry nad roztokem, výpočet molární hmotnosti.....	2
03	Snížení tlaku páry nad roztokem, výpočet molární hmotnosti rozpouštědla .....	2
04	Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů .....	2
05	Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů .....	2
06	Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů .....	2
07	Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů .....	2
08	Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů .....	2
09	Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů a neelektrolytů.....	3
10	Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, $K_K$ .....	3
11	Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, stupeň disociace .....	3
12	Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, stupeň disociace .....	3
13	Zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů, výpočet $M_2$ .....	3
14	Zvýšení teploty varu a snížení tlaku páry nad roztokem výpočet $K_E$ a $M_2$ .....	3
15	Zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů, výpočet $K_E$ a $M_2$ .....	4
16	Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů .....	4
17	Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů .....	4
18	Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů, stupeň disociace.....	4
19	Snížení teploty tuhnutí roztoků a zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů .....	4
20	Osmotický tlak roztoků neelektrolytů.....	4
21	Osmotický tlak roztoků bílkovin, molární hmotnost .....	4
22	Osmotický tlak tělních tekutin .....	5
23	Osmotický tlak .....	5
24	Osmotický tlak roztoků neelektrolytů, molární hmotnost .....	5
25	Osmotický tlak roztoků neelektrolytů, molární hmotnost .....	5
26	Tonicita roztoků .....	5
27	Osmoregulace.....	6
28	Osmotický tlak neideálních roztoků .....	6
29	Osmotický tlak roztoků elektrolytů.....	6
30	Osmotický tlak roztoků elektrolytů.....	6

$$\frac{p_1^s - p_1}{p_1^s} = x_2$$

$$\Delta T_v = K_E \cdot m_2 \qquad K_E = \frac{RT_{v1}^2 \cdot M_1}{\Delta_{vyp} H_{ml}} \quad [\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

$$-\Delta T_t = K_K \cdot m_2 \qquad K_K = \frac{RT_{t1}^2 \cdot M_1}{\Delta_{tani} H_{ml}} \quad [\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

$$\pi = c_2 RT = \frac{c_w}{M_2} RT$$

$$\pi = c_2 RT \cdot (1 + B \cdot c_2 + \delta \cdot c_2^{3/2} + C \cdot c_2^2 + \dots)$$

## Snížení tlaku páry nad roztokem

### 01 Snížení tlaku páry nad roztokem

K 500 cm<sup>3</sup> vody bylo při teplotě 50°C přidáno 10 cm<sup>3</sup> glycerinu (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>). Vypočítejte snížení tlaku páry nad tímto roztokem. Tlak páry čisté vody při uvedené teplotě je 12,332 kPa, její hustota 0,988 g cm<sup>-3</sup> a hustota glycerinu je 1,26 g cm<sup>-3</sup>.

$$[\Delta p_1 = 61,228 \text{ Pa}]$$

### 02 Snížení tlaku páry nad roztokem, výpočet molární hmotnosti

3,64 g netěkavé organické látky rozpuštěné ve 400 g chloroformu ( $M = 119,38 \text{ g mol}^{-1}$ ) sníží jeho tlak nasycené páry při teplotě 15°C o 55 Pa. Vypočítejte tlak páry nad tímto roztokem a molární hmotnost rozpuštěné látky. Pro tlak nasycené páry chloroformu je dán Antoineovou rovnicí:

$\log(p^s / \text{kPa}) = A - \frac{B}{C + (t / ^\circ\text{C})}$	$A$	$B$	$C$
	6,23638	1232,79	230,213

$$[p_1 = 16,124 \text{ Pa}; M_2 = 318,43 \text{ g mol}^{-1}]$$

### 03 Snížení tlaku páry nad roztokem, výpočet molární hmotnosti rozpouštědla

Při teplotě 40°C byl nad čistým rozpouštědlem naměřen tlak páry 40,4 kPa. Nad roztokem, který vznikl rozpuštěním 0,4 g NaCl ( $M = 58,44 \text{ g mol}^{-1}$ ) v 650 g tohoto rozpouštědla byl tlak páry o 121,2 Pa nižší. Vypočítejte molární hmotnost rozpouštědla.

$$[M_1 = 142,67 \text{ g mol}^{-1}]$$

## Snížení teploty tuhnutí

### 04 Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů

Ve 400 g benzenu ( $K_K = 5,12 \text{ K kg mol}^{-1}$ ) bylo při čtyřech různých pokusech rozpuštěno 0,01 mol: (a) bromoformu ( $K_K = 14,4 \text{ K kg mol}^{-1}$ ), (b) dioxanu ( $K_K = 4,63 \text{ K kg mol}^{-1}$ ), (c) cyklohexanu ( $K_K = 20,0 \text{ K kg mol}^{-1}$ ), (d) kafru ( $K_K = 37,7 \text{ K kg mol}^{-1}$ ). U kterého z pokusů bylo dosaženo nejnižší teploty tání směsi?

$$[\Delta T_i \text{ je ve všech případech stejné}]$$

### 05 Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů

Na oslavě jste si na balkón schovali láhev vína a ráno jste zjistili, že je prasklá. Víno obsahuje asi 10 hm.% ethanolu. Jaký musel být v noci minimálně mráz? Kryoskopická konstanta vody je 1,86 K kg mol<sup>-1</sup>.

$$[-4,5^\circ\text{C}]$$

### 06 Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů

Kryoskopická konstanta vody je  $K_K = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$ . Jaké látkové množství methanolu musíme minimálně přidat k 2,6 kg vody, aby se nevyloučil led při teplotách nad -10°C?

$$[n_2 = 14 \text{ mol}]$$

### 07 Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů

Při jaké teplotě zamrzne 0,3 dm<sup>3</sup> vody ( $M = 18,016 \text{ g mol}^{-1}$ , hustota 0,9992 g cm<sup>-3</sup>), oslazené 33 g sacharózy ( $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342,3 \text{ g mol}^{-1}$ ). Entalpie tání čisté vody je 6009 J mol<sup>-1</sup>.

$$[t_{\text{tání}} = -0,6^\circ\text{C}, (K_K = 1,86, m_2 = 0,3216 \text{ mol kg}^{-1})]$$

### 08 Snížení teploty tuhnutí roztoků neelektrolytů

Odhadněte snížení teploty tuhnutí u roztoku 20,3 g 1,3,5-trichlorbenzenu v 861 g p-dioxanu vůči čistému p-dioxanu. Vyberte si vhodná data:

	$M / (\text{g mol}^{-1})$	$t_{\text{tání}} / ^\circ\text{C}$	$\Delta_{\text{tání}}H_m$ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	$t_{\text{var}} / ^\circ\text{C}$	$\Delta_{\text{výp}}H_m$ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )
p-dioxan	88,1	11,8	12,46	101,1	34,2
1,3,5-trichlorbenzen	181,4	63,45	6,5	208	42,9

$$[\Delta T_i = 0,62 \text{ K } (K_K = 4,773 \text{ K kg mol}^{-1})]$$

### 09 Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů a neelektrolytů

Vodný roztok 10,6 g chloridu sodného (při rozpouštění úplně disociuje,  $M_{\text{NaCl}} = 58 \text{ g mol}^{-1}$ ) v 849,8 g vody tuhne při teplotě  $-0,8^\circ\text{C}$ . Vypočítejte jaké nejmenší hmotnostní množství ethylenglykolu (při rozpouštění nedisociuje,  $M_2 = 62 \text{ g mol}^{-1}$ ) je třeba rozpustit v 15 kg vody, aby se při teplotě  $-10^\circ\text{C}$  právě zabránilo tvorbě ledu.

$$[m_2 = 5 \text{ kg}]$$

### 10 Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, $K_K$

Při jaké teplotě tuhne roztok, připravený rozpuštěním 7,4 g chloridu hořečnatého ve 111,6  $\text{cm}^3$  vody? Předpokládejte, že  $\text{MgCl}_2$  je ve vodném roztoku zcela disociován. Hustota vody při uvažované teplotě je  $0,986 \text{ g cm}^{-3}$ , entalpie tání při normální teplotě tání má hodnotu  $6,009 \text{ kJ mol}^{-1}$ . ( $M_{\text{MgCl}_2} = 95,21 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,016 \text{ g mol}^{-1}$ )

$$[t_{\text{tání}} = -3,77^\circ\text{C}]$$

### 11 Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, stupeň disociace

Vodný roztok chloridu amonného o molalitu 0,01  $\text{mol kg}^{-1}$  tuhne při teplotě  $-0,0358^\circ\text{C}$ . Určete stupeň disociace  $\text{NH}_4\text{Cl}$  v tomto roztoku. Kryoskopická konstanta vody má hodnotu  $1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$ .

$$[\alpha = 0,925]$$

### 12 Snížení teploty tuhnutí roztoků elektrolytů, stupeň disociace

0,44 g sloučeniny  $\text{AB}_2$  ( $M = 76 \text{ g mol}^{-1}$ ) bylo rozpuštěno ve 200 g vody.  $\text{AB}_2$  je slabý elektrolyt, ve vodném roztoku uvedené koncentrace je z 80% disociován. Při jaké teplotě roztok začne tuhnout? Kryoskopická konstanta vody má hodnotu  $1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$ .

$$[-0,14^\circ\text{C}]$$

## Zvýšení teploty varu

### 13 Zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů, výpočet $M_2$

Přídavek 1,6 g síry do 500 g sirouhlíku ( $K_E = 2,50 \text{ K kg mol}^{-1}$ ) měl za následek zvýšení teploty varu o  $\Delta T = 0,031 \text{ K}$ . Určete molární hmotnost rozpuštěné síry.

$$[M_2 = 258,06 \text{ g mol}^{-1}]$$

### 14 Zvýšení teploty varu a snížení tlaku páry nad roztokem výpočet $K_E$ a $M_2$

Ethanolový roztok obsahující 4,4 g organické látky má teplotu varu o  $0,135^\circ\text{C}$  vyšší než je normální teplota varu čistého ethanolu ( $78,3^\circ\text{C}$ ). Výparné teplo ethanolu při normální teplotě varu je  $38,56 \text{ kJ mol}^{-1}$ .  $M_{\text{ethanol}} = 46,07 \text{ g mol}^{-1}$ . Studovaná látka v ethanolu nedisociuje.

(a) Vypočítejte molární hmotnost studované organické látky.

(b) O kolik nižší bude tlak páry nad tímto roztokem než nad čistým ethanolem při teplotě  $38^\circ\text{C}$ ? Tlak nasycené páry ethanolu je dán Antoineovou rovnicí:

$\log(p^s / \text{kPa}) = A - \frac{B}{C + (t / ^\circ\text{C})}$	$A$	$B$	$C$
	7,23347	1591,28	226,095

$$[(a) M_2 = 40 \text{ g mol}^{-1}; (b) \Delta p_1 = 81,38 \text{ Pa}]$$

**15** Zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů, výpočet  $K_E$  a  $M_2$ 

Molární hmotnost organické látky byla měřena ebullioskopicky. Pomocí glukosy byla nejprve zjištěna ebullioskopická konstanta rozpouštědla: 13,702 g glukosy ( $M = 180 \text{ g mol}^{-1}$ ) rozpuštěných ve 375 g rozpouštědla ( $M_1 = 56 \text{ g mol}^{-1}$ ) zvýšilo jeho teplotu varu o  $0,35^\circ\text{C}$ . Jaká je molární hmotnost studované látky, jejíž 6 g rozpuštěné ve 320 g rozpouštědla zvýšily jeho teplotu varu o  $0,25^\circ\text{C}$ ? Glukosa i neznámá látka jsou netěkavé a v použitém rozpouštědle nedisociují.

$$[M_2 = 129,3 \text{ g mol}^{-1}; (K_E = 1,724 \text{ K kg mol}^{-1})]$$

**16** Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů

1,5 mol NaCl, 1,3 mol  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 2,0 mol  $\text{MgCl}_2$ , a 2,0 mol KBr byly rozpuštěny každý v 10 litrech vody. Aniž byste prováděli rozsáhlé výpočty, seřaďte tyto roztoky podle klesající teploty varu

**17** Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů

Ebullioskopická konstanta vody má hodnotu  $0,513 \text{ K kg mol}^{-1}$ . Vypočítejte při jaké teplotě bude za standardního tlaku vřít roztok, který vznikl rozpuštěním 2,8 mol NaCl v 1,8 kg vody.

$$[t_{\text{var}} = 101,6^\circ\text{C}]$$

**18** Zvýšení teploty varu roztoků elektrolytů, stupeň disociace

Teplota varu roztoku slabého elektrolytu  $\text{A}_3\text{B}$  o koncentraci  $0,6 \text{ mol kg}^{-1}$  je o  $0,45^\circ$  vyšší než normální teplota varu čistého rozpouštědla, jehož ebullioskopická konstanta má hodnotu  $0,53 \text{ K kg mol}^{-1}$ . Vypočítejte stupeň disociace  $\text{A}_3\text{B}$  v tomto roztoku.

$$[\alpha = 0,134]$$

**19** Snížení teploty tuhnutí roztoků a zvýšení teploty varu roztoků neelektrolytů

Do chladiče vašeho auta, který obsahuje  $4,45 \text{ dm}^3$  vody přidáte jeden kilogram ethylenglykolu ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ). Při jaké teplotě vám obsah chladiče (a) začne mrznout, (b) začne vřít? Hustota vody je  $0,9982 \text{ g cm}^{-3}$ . Entalpie tání při normální teplotě tání má hodnotu  $6,009 \text{ kJ mol}^{-1}$ , výparná entalpie při normální teplotě varu je  $40,65 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

$$[(a) t_{\text{tuhnutí}} = -6,75^\circ\text{C}; (b) t_{\text{var}} = 101,86^\circ\text{C}]$$

**Osmóza****20** Osmotický tlak roztoků neelektrolytů

Při studiu různých typů hemoglobinu bylo při teplotě  $5^\circ\text{C}$  rozpuštěno 21,5 mg proteinu v  $1,5 \text{ cm}^3$  vody. Osmotický tlak tohoto roztoku měl hodnotu 3,61 torr. Jaká je molární hmotnost studovaného hemoglobinu? Předpokládejte ideální roztok.

$$[M = 68,87 \text{ kg mol}^{-1}]$$

**21** Osmotický tlak roztoků bílkovin, molární hmotnost

V  $0,15 \text{ dm}^3$  roztoku NaCl o koncentraci  $0,22 \text{ mol dm}^{-3}$  bylo rozpuštěno 0,75 g ribonukleázy. Při teplotě  $20^\circ\text{C}$  byl u tohoto roztoku naměřen osmotický tlak 967,2 Pa (měřeno proti roztoku NaCl o koncentraci  $0,22 \text{ mol dm}^{-3}$ ). Použitá membrána je propustná pro vodu i nízkomolekulární ionty, ale nepropouští molekuly ribonukleázy. Určete molární hmotnost ribonukleázy.

$$[M_R = 12,6 \text{ kg mol}^{-1}]$$

## 22 Osmotický tlak tělních tekutin

Jaký je při teplotě 310 K rozdíl osmotických tlaků kapilární krve a tkáňového moku? Koncentrace nízkomolekulárních látek v obou tekutinách je přibližně stejná, ale koncentrace bílkovin se liší. Zatímco v tkáňovém moku je nepatrná, v krevní plazmě je jejich koncentrace okolo  $7 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$ . Průměrná molární hmotnost bílkoviny je  $66 \text{ kg mol}^{-1}$ .

$$[\Delta\pi = 2,73 \text{ kPa}]$$

## 23 Osmotický tlak

Celková koncentrace rozpuštěných částic uvnitř červených krevních buněk je přibližně  $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$  a jejich stěny jsou tvořeny polopropustnou membránou. Jaký by byl osmotický tlak uvnitř buňky, kdybychom ji při teplotě 298 K vyjmuli z krevní plasmy a umístili do čisté vody? Co by se s buňkou stalo?

$$[\pi = 743,3 \text{ kPa, do buňky bude pronikat voda}]$$

## 24 Osmotický tlak roztoků neelektrolytů, molární hmotnost

Při stanovení osmotického tlaku koloidního roztoku o koncentraci  $2,2 \text{ g}/\text{dm}^3$  při  $26,7^\circ\text{C}$  se hladina roztoku v osmometrické trubici ustavila ve výšce  $h = 1,3 \text{ cm}$ . Hustota roztoku je  $984 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Rozpuštěná látka v roztoku nedisociuje.

(a) Vypočítejte osmotický tlak roztoku.

(b) Za předpokladu že pro osmotický tlak platí van't Hoffova rovnice vypočítejte molární hmotnost rozpuštěné látky.

$$[(a) \pi = 125,49 \text{ Pa}, (b) M = 43,70 \text{ kg mol}^{-1}]$$

## 25 Osmotický tlak roztoků neelektrolytů, molární hmotnost

Molární hmotnost polymeru byla stanovována osmometricky. Za teploty  $37,6^\circ\text{C}$  vystoupil roztok studované látky v acetonu o koncentraci  $0,616 \text{ kg}/\text{m}^3$  v osmometrické trubici do výšky 44 mm. Hustota tohoto roztoku byla  $854 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Za předpokladu, že pro osmotický tlak platí van't Hoffova rovnice vypočítejte

(a) molární hmotnost studované vysokomolekulární látky,

(b) osmotický tlak acetonového roztoku této látky o koncentraci  $1,79 \text{ kg}/\text{m}^3$  při teplotě  $42,4^\circ\text{C}$ ?

(c) Bude vám na měření osmotického tlaku roztoku (b), jehož hustota je  $895 \text{ kg}/\text{m}^3$ , stačit osmometrická trubice o délce 10 cm?

$$[(a) M = 4,3174 \text{ kg mol}^{-1}; (b) \pi = 1087,7 \text{ Pa}; (c) h = 12,4 \text{ cm} > \ell_{\text{trubice}}]$$

## 26 Tonicita roztoků

Máte za úkol připravit  $100 \text{ cm}^3$  izotonického roztoku. Víte, že osmotický tlak v krvi člověka je udržován na hodnotě cca  $0,75 \text{ MPa}$ .

(a) Navážili jste  $1,7 \text{ g}$  chloridu sodného ( $M = 58,44 \text{ g mol}^{-1}$ , ve vodném roztoku je úplně disociován), rozpustili v malém množství vody a při teplotě  $37^\circ\text{C}$  doplnili vodou na objem  $100 \text{ cm}^3$ . Bude váš roztok izotonický, hypertonický nebo hypotonický? Jak bude buňkám, ponořeným do takového roztoku? (Předpokládejte platnost van't Hoffovy rovnice).

(b) Kolik gramů močoviny ( $M = 60 \text{ g mol}^{-1}$ , ve vodě nedisociuje) byste potřebovali na přípravu  $100 \text{ cm}^3$  izotonického roztoku?

$$\left[ \begin{array}{l} (a) \text{ izotonický roztok: } m_{\text{NaCl}} = 0,85 \text{ g (když jste navážili } 1,7 \text{ g, zapomněli jste,} \\ \text{že NaCl disociuje - roztok je hypertonický, buňky se scvrknou);} \\ (b) m_{\text{glukóza}} = 1,745 \text{ g} \end{array} \right]$$

## 27 Osmoregulace

Žralok vyrovnává osmotický tlak okolní mořské vody tím, že v těle zadržuje močovinu. Na jaké hodnotě musí žralok udržovat koncentraci močoviny v tělních tekutinách (v gramech na  $1 \text{ dm}^3$ ), aby při teplotě  $25^\circ\text{C}$  přežil v mořské vodě, jejíž osmotický tlak je přibližně  $2,8 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ ? Předpokládejte, že pro žraloka platí van't Hoffova rovnice a molární hmotnost močoviny má hodnotu  $M = 60 \text{ g mol}^{-1}$ .



[67,77 g  $\text{dm}^{-3}$ ]

## 28 Osmotický tlak neideálních roztoků

Při měření osmotického tlaku roztoků vysokomolekulární látky byla při teplotě  $43^\circ\text{C}$  nalezena pro koncentrační závislost osmotického tlaku tato rovnice

$$\pi = 10,92 \cdot c_w + 0,94 \cdot c_w^2$$

kde  $\pi$  je osmotický tlak (Pa),  $c_w$  hmotnostní koncentrace roztoku ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

(a) Vypočítejte molární hmotnost uvažované vysokomolekulární látky,

(b) Jak vysoko vystoupí v osmometrické trubici roztok o koncentraci  $0,04 \text{ mol m}^{-3}$ ?

[ $M = 240,7 \text{ kg mol}^{-1}$ ,  $h = 2 \text{ cm}$ ]

## 29 Osmotický tlak roztoků elektrolytů

Vypočítejte osmotický tlak vodného roztoku elektrolytu  $\text{AB}_2$  o koncentraci  $0,00053 \text{ mol dm}^{-3}$  při teplotě  $16,2^\circ\text{C}$ . Za těchto podmínek je uvažovaný elektrolyt z 80% disociován. Hustota roztoku je  $1,024 \text{ g cm}^{-3}$ . Do jaké výšky vystoupí roztok v osmometrické trubici?

[ $\pi = 3,315 \text{ kPa}$ ]

## 30 Osmotický tlak roztoků elektrolytů

Jakou hodnotu má při teplotě  $318,2 \text{ K}$  osmotický tlak vodného roztoku, který v  $598,4 \text{ cm}^3$  obsahuje  $0,88 \text{ g Ca}(\text{NO}_3)_2$ ? Dusičnan vápenatý ( $M = 164 \text{ g mol}^{-1}$ ) je ve vodném roztoku zcela disociován. Předpokládejte platnost van't Hoffovy rovnice.

[ $\pi = 71,167 \text{ kPa}$ ]