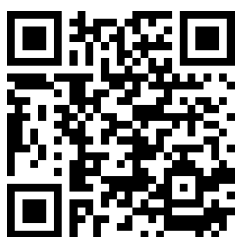


A. Mašlejová, A. Kotočová, I. Ondrejkočová, B. Papánková, D. Valigura

Výpočty v anorganickej chémií

https://anorganika.online/kniha_vypocty



Slovenská chemická knižnica v Bratislave

2024

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu nesmie byť použitá na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.

© Doc. Ing. Anna Mašlejová, PhD.
Doc. RNDr. Adela Kotočová, PhD.
Doc. Ing. Iveta Ondrejковиčová, PhD.
Doc. Ing. Blažena Papánková, PhD.
Doc. Ing. Dušan Valigura, PhD.

Recenzenti: Prof. Ing. Eugen Jóna, DrSc.
Doc. RNDr. Ivan Potočňák, PhD.

Schválilo vedenie Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave
dňa 25. 3. 1999 pre všetkých študentov prvého ročníka.

1 ÚVOD

1.1 Sústava SI, niektoré veličiny potrebné v chémii

Fyzikálna veličina vyjadruje opis nejakého javu, stavu látky alebo telesa, tj. vyjadruje vlastnosti hmoty zo stránky kvantitatívnej a kvalitatívnej. Fyzikálna veličina X je súčinom číselnej hodnoty $\{X\}$ a jednotky $[X]$. U nás platí medzinárodná sústava jednotiek SI (franc. *Système international d'unités*). Jednotky sústavy SI sú rozdelené do kategórií:

- základné jednotky SI, tj. jednotky základných veličín,
- doplnkové jednotky SI,
- odvodené jednotky SI,
- násobky a diely jednotiek SI, utvorené z jednotiek prvých troch kategórií,
- vedľajšie jednotky.

Tabuľka 1.1 Základné jednotky SI.

Základná veličina	Symbol veličiny	Jednotka SI	Symbol jednotky
Dĺžka	l	meter	m
Hmotnosť	m	kilogram	kg
Čas	t	sekunda	s
Elektrický prúd	I	ampér	A
Termodynamická teplota	T	kelvin	K
Látkové množstvo	n	mól	mol
Svietivosť	I_v	kandela	cd

Tabuľka 1.2 Odvodené jednotky SI.

Veličina	Symbol veličiny	Jednotka SI	Symbol a rozmer jednotky
plocha	S	štvorcový meter	m^2
objem	V	kubický meter	m^3
hustota	ρ	kilogram na kubický meter	$kg\ m^{-3}$
sila	F	newton	$N = m\ kg\ s^{-2}$
tlak	p	pascal	$Pa = N\ m^{-2} = m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
energia	E	joule	$J = m^2\ kg\ s^{-2}$
elektrický náboj	Q	coulomb	$C = A\ s$
elektrické napätie	U	volt	$V = J\ C^{-1} = m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$

Tabuľka 1.3 Násobky a diely jednotiek SI.

Predpona	Symbol	Násobok	Predpona	Symbol	Násobok
deka	da	10	deci	d	10 ⁻¹
hekto	h	10 ²	centi	c	10 ⁻²
kilo	k	10 ³	mili	m	10 ⁻³
mega	M	10 ⁶	mikro	μ	10 ⁻⁶
giga	G	10 ⁹	nano	n	10 ⁻⁹
tera	T	10 ¹²	piko	p	10 ⁻¹²
peta	P	10 ¹⁵	femto	f	10 ⁻¹⁵
exa	E	10 ¹⁸	atto	a	10 ⁻¹⁸

Tabuľka 1.4 Niektoré dôležité konštanty.

Konštantá	Symbol	Hodnota
Avogadrova konštantá	N_A	6,02214076 · 10 ²³ mol ⁻¹ (presne)
Elementárny náboj	e	1,60217733(49) · 10 ⁻¹⁹ C
Faradayova konštantá	F	9,6485309(29) · 10 ⁴ C mol ⁻¹
Mólová plynová konštantá	R	8,314510(70) J mol ⁻¹ K ⁻¹
Mólový objem ideálneho plynu pri normálnych podmienkach ($T = 273,15$ K, $p = 101\,325$ Pa)	V_{mn}	2,241410(19) · 10 ⁻² m ³ mol ⁻¹
Nula Celziovej stupnice	T_0	273,15 K (presne)

1.2 Presnosť meraní a platné číslice

Chémia je hlavne experimentálnou vedou a zaoberá sa chemickými látkami, ktorých rôzne fyzikálno-chemické vlastnosti sa dajú priamo zmerať, alebo na základe získaných údajov môžeme pomocou matematických výpočtov zistiť iné odvodené vlastnosti.

Mnoho jednoduchých meraní sme schopní urobiť priamo v laboratóriu, kde prichádzame často do styku s rôznymi typmi váh, odmerných nádob, využívame prístroje, pomocou ktorých kvantitatívne zisťujeme hodnotu rôznych veličín. Napr. vážením na predvažovacích váhach zisťujeme hmotnosť s presnosťou na desatinu gramu, tj. 0,1 g alebo na analytických váhach s presnosťou na desatinu miligramu, tj. 0,0001 g, príp. až na 0,00001 g. Naproti tomu, objem roztoku v rozmedzí od 1 do 100 cm³ je možné zmerať vhodnými odmernými nádobami – pipetou, byretou, odmerným valcom, resp. odmernou bankou s presnosťou na stotinu mililitra, čiže objem sa v takomto prípade udáva na dve desatinné miesta.

Pri spracovaní údajov získaných z meraní v ďalších výpočtoch musíme postupovať tak, aby výsledný údaj nemal väčší počet platných číslic, ako mali experimentálne zistené údaje.

Presné čísla sú buď racionálne (napr. číslo 2 vo vzťahu $E = mc^2$) alebo iracionálne (π , e , $2^{1/2}$), ktoré nie sú zaťažené žiadnou chybou.

Približné čísla sú čísla, ktorými vyjadrujeme výsledky bežných laboratórnych meraní a sú vždy zaťažené chybou.

Presnosť danej veličiny je vyjadrená počtom platných číslic, resp. počtom desatinných miest.

Presnosť merania je vzájomná zhoda hodnôt pri meraní jednej veličiny za rovnakých podmienok merania.

Správnosť merania je zhoda experimentálnych hodnôt so skutočnými alebo prijatými hodnotami veličiny.

1.2.1 Zapisovanie čísel

Približné čísla sa udávajú s rôznou presnosťou, vyskytujú sa s rôznym počtom platných číslic a s rôznym počtom desatinných miest. Počet platných číslic je teda mierou presnosti približného čísla. Vo všeobecnosti pri zisťovaní počtu platných číslic sa môžeme riadiť týmito pravidlami:

- **Platné číslice** daného čísla sú všetky číslice od prvej zľava, ktorá nie je nulová, po poslednú zapísanú číslicu napravo. Pritom sa nepočítajú nuly plynúce z činiteľa 10^n .
- Nula medzi dvomi číslicami, ako aj nula na konci čísla, je platnou číslicou. Napr. 9,00 cm; 9,10 cm; 90,0 cm – všetky tieto čísla majú 3 platné číslice.
- Nula naľavo od prvej nenulovej číslice nie je platnou číslicou, určuje len, na ktorom desatinnom mieste sa prvá nenulová číslica nachádza. Napr. číslo 0,08765 g má 4 platné číslice.

Ak je nutné vyznačiť, že číslo je presné, uvedie sa za číslo slovo „(presne)“, alebo sa jasne vyznačí posledná číslica, napr. 1 kWh = 3 600 000 J (presne) alebo 3 600 000 J. Väčšina fyzikálno-chemických konštánt sa považuje za presné čísla, napr. Avogadrova konštanta $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (presne) alebo termodynamická teplota odpovedajúca 0°C v Celziovej stupnici $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (presne). To isté platí, ak je v zadaní výpočtu udaná napr. koncentrácia látkového množstva $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ (presne). Musíme si však uvedomiť, že pri celých číslach bez desatinnej čiarky, keď má dané číslo na konci niekoľko núl, nie je možné bezprostredne určiť, koľko z nich je platných. Napr. ak číslo 785000 má 3 platné číslice, zapíše sa v tvare $7,85 \cdot 10^5$. Ak dané číslo 785 000 má 5 platných číslic (z toho 2 nuly za poslednou nenulovou číslicou), zapíšeme ho v tvare $7,8500 \cdot 10^5$. V chémii často pracujeme s hodnotami, ktoré sú extrémne veľké, alebo malé. Napr. atóm zlata má hmotnosť iba 0,000 000 000 000 000 000 000 3271 g. Veľmi ľahko by sa nám mohlo pri výpočte stať, že by sme niektorú z núl zabudli, alebo pridali, preto zapisujeme takéto hodnoty v exponenciálnom tvare ako $H \cdot 10^n$, kde H je číslo medzi 1,000... a 9,999..., čiže nenulové číslo pred desatinnou čiarkou a n je exponent, celé číslo, ktoré môže byť kladné alebo záporné. Na základe uvedeného môžeme prehľadne zapísať, že jeden atóm zlata má hmotnosť $3,271 \cdot 10^{-22} \text{ g}$.

1.2.2 Zaokrúhľovanie čísel

Zaokrúhľovanie čísel je vypúšťanie platných číslic sprava až po daný poriadok platných miest a prípadná zmena poslednej číslice v tomto poriadku. Hodnoty so zbytočne veľkým počtom číslic, ktorých presnosť nemožno zaručiť, treba zaokrúhliť podľa nasledujúcich pravidiel:

- V prípade, že prvá z vypúšťaných číslic (počítané zľava doprava) je menšia než 5, posledná ponechaná číslica sa nemení – zaokrúhľovanie smerom nadol. Napr. zaokrúhlenie čísla 1,2143 na tri platné číslice je 1,21.

- V prípade, ak je prvá z vypúšťaných číslic rovná 5 alebo väčšia ako 5, posledná ponechaná číslica sa zväčší o jednu – zaokrúhľovanie smerom nahor. Napr. zaokrúhlením čísla 9,145 na tri platné číslice dostaneme 9,15. Zaokrúhlením čísla 18794 na dve platné číslice dostaneme $1,9 \cdot 10^4$.

Zaokrúhľuje sa naraz na požadovaný počet platných číslic a nie po etapách (postupne). Napr. zaokrúhlením čísla 875,46 na tri platné číslice vznikne číslo 875. Postupným zaokrúhľovaním by vzniklo: po prvom zaokrúhlení 875,5 a po druhom 876, čo by bolo chybou.

1.2.3 Platné číslice vo výpočtoch

Pri výpočtoch používame približné čísla s rôznou presnosťou, preto pre zjednodušenie určujeme platné číslice v čiastočných a záverečných výsledkoch podľa týchto pravidiel:

1. Pri sčítaní a odčítaní jednotlivých čísel výsledok sa udáva s takým počtom desatinných miest, aký má najmenej presné číslo.
2. Pri násobení alebo delení nameraných hodnôt výsledok sa udáva s rovnakým počtom platných číslic, ako malo najmenej presné číslo, čiže s najmenším počtom platných číslic. Nesmieme však zabudnúť na presné čísla získané z definícií alebo ak pracujeme s násobkami. Napr. výpočtom chceme zistiť, koľko minút je 8760 sekúnd. Podľa definície 1 minúta = 60 sekúnd, čiže odpoveď bude $8760 : 60 = 146,0$ minút. Počet platných číslic vo výsledku je určený údajom 8760 a nie 60.
3. Pri operáciách umocňovania a odmocňovania približných čísel výsledok sa udá na rovnaký počet platných číslic, ako mal základ.
4. Pri logaritmovaní sa výsledok určí na rovnaký počet desatinných miest, ako je počet platných číslic logaritmovaného čísla. Podobné platí aj pri antilogaritmovaní – výsledok má rovnaký počet platných číslic, ako je počet desatinných miest exponentu).
5. Vo výpočtoch pH sa zaviedla konvencia, že pH má zmysel udávať na dve desatinné miesta. Vyplýva to z experimentálnych možností merania pH.
6. Pri všetkých čiastočných výsledkoch nechávame o jednu platnú číslicu navyše, ako sa požaduje podľa predchádzajúcich pravidiel. V konečnom výsledku však túto nadbytočnú číslicu vynecháme (so zaokrúhlením predchádzajúcej číslice). Ak pri výpočte používame kalkulačku, ktorá operuje s väčším počtom desatinných miest a nezapisujeme dlhšie výsledky, urobíme všetky matematické výpočty s nezaokrúhlenými číslami a zaokrúhlime až konečný výsledok, tak ako je uvedené vyššie.
7. Ak majú niektoré približné hodnoty viac číslic než ostatné, zaokrúhlime ich tak, aby sa zachovalo len o jednu platnú číslicu navyše.

Často máme zadanú úlohu tak, že nemôžeme dosadením do vzťahu hneď vypočítať zisťovanú veličinu. V takomto prípade je výhodné riešenie výpočtových úloh analytickou metódou, ktorá má nasledujúce kroky:

- zápis zisťovanej veličiny, zápis známych hodnôt veličín,
- odvodenie vzorca,
- dosadenie známych (zistených) hodnôt veličín do vzorca a výpočet, pričom získaný výsledok sa zaokrúhli podľa uvedených pravidiel.

1.2.4 Riešené príklady

Poznámka: Výsledky matematických operácií bez zaokrúhlenia, tj. za predpokladu, že vstupné údaje sú presné, budeme označovať zloženými zátvorkami { }.

1.2.1 Vykonaajte nasledujúce matematické operácie a získaný výsledok zaokrúhlite na správny počet platných číslic.

a) $179,8 \text{ g} + 6,324 \text{ g} + 0,7894 \text{ g}$,

b) $0,0876 \text{ cm} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$,

c) $9,34 : 45,07$,

d) $(2,72 \cdot 10^{-3})^2$,

e) $\log 3,42 \cdot 10^3$,

f) $10^{-4,295}$,

g) $156,8 + (3,48 \cdot 9,7)$,

h) $10 \cdot 20$.

Riešenie:

a) $179,8 \text{ g} + 6,324 \text{ g} + 0,7894 \text{ g} = \{186,9134\} \text{ g}$

Pretože 179,8 g je údaj, ktorý má najmenší počet desatinných miest, správne vyjadrený výsledok je po zaokrúhlení na jedno desatinné miesto \Rightarrow **186,9 g**.

b) $0,0876 \text{ cm} \cdot 0,0028 \text{ cm} = \{0,00024528\} \text{ cm}^2$

Pre prehľadnejší výpočet je vhodnejšie urobiť zápis v exponenciálnom tvare

$$8,76 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = \{2,4528\} \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$$

Konečný údaj podľa najmenej presného čísla $2,8 \cdot 10^{-3}$ bude udaný na dve platné číslice \Rightarrow **$2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$** .

c) $9,34 : 145,07 = \{0,064382711\dots\}$

Najmenší počet platných číslic je 3 \Rightarrow **$6,44 \cdot 10^{-2}$** .

d) $(2,72 \cdot 10^{-3})^2 = \{7,3984\} \cdot 10^{-6}$

Výsledok bude mať tri platné číslice, ako má mocnenec \Rightarrow **$7,40 \cdot 10^{-6}$** .

e) $\log 3,42 \cdot 10^3 = \{3,534026106\dots\}$

Číslo, ktoré logaritmujeme má tri platné číslice, preto musí byť výsledok podľa pravidla 4 (kap. 1.2.3) zaokrúhlený na tri desatinné miesta \Rightarrow **3,534**.

f) $10^{-4,295} = \{5,069907083\dots\} \cdot 10^{-5}$

Exponent má tri desatinné miesta, preto musí byť výsledok podľa pravidla 4 (kap. 1.2.3) zaokrúhlený na tri platné číslice \Rightarrow **$5,07 \cdot 10^{-5}$** .

g) $156,8 + (3,48 \cdot 9,7) = \{190,556\}$

Tu musíme urobiť dve matematické operácie – najprv súčin a potom súčet. Pri násobení $3,48 \cdot 9,7 = \{33,756\}$ má menej presné číslo 9,7 síce len dve platné číslice, ale výsledok násobenia je medzivýsledok, preto mu pridáme jednu platnú číslicu, tj. 33,8. Pre operáciu sčítania $156,8 + 33,8 = 190,6$ by mal byť výsledok zaokrúhlený na jedno desatinné miesto, ale medzivýsledok 33,8 mal o jedno desatinné číslo navyše (mal byť 34). Výsledok preto musí byť celé číslo \Rightarrow **191**.

h) $10 \cdot 20 = \{200\}$

Ak by vstupné údaje 10 a 20 boli presné čísla, napr. počet študentov v aule, výsledok násobenia by bol tiež presný, tj. 200 (presne). Takúto informáciu však nemáme, preto musíme presnosť čísel určiť počtom zapísaných platných číslic. Výsledok teda musíme zaokrúhliť na dve platné číslice, na čo musíme použiť exponenciálny tvar $\Rightarrow 2,0 \cdot 10^2$.

1.2.2 Vypočítajte objem 0,120 mol plynu pri teplote 23 °C a tlaku 0,30 kPa.

Riešenie:

Na výpočet objemu plynu použijeme stavovú rovnicu ideálneho plynu.

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,120 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 23) \text{ K}}{0,30 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = \{0,98493567\} \text{ m}^3$$

Ako prvý krok môžeme urobiť analýzu každého člena danej rovnice: číslo 0,120 má tri platné číslice; 8,3145 má päť platných číslic; po sčítaní $273,15 + 23 = 296$ podľa pravidla 1 (kap. 1.2.3) číslo 23 nemá žiadne desatinné miesto, čiže po sčítaní týchto dvoch čísel výsledná hodnota bude mať tri platné číslice; 0,30 má dve platné číslice, čo je najmenej presné číslo. Po uskutočnení všetkých matematických úkonov na kalkulačke, konečný výsledok zaokrúhlime na dve platné číslice $\Rightarrow 0,98 \text{ m}^3$.

☑ Objem 0,120 mol plynu pri teplote 23 °C a tlaku 0,30 kPa je $0,98 \text{ m}^3$.

1.2.3 Kovové gárium má najväčší tepelný rozsah existencie kvapalnej fázy medzi všetkými prvkami. Topí sa pri 29,78 °C a teplota varu je 2403 °C. Vyjadrite tieto teploty fázovej premeny v jednotkách SI.

Riešenie:

Jednotkou teploty v sústave SI je kelvin (K). Rozdiel medzi udávaním teploty v stupňoch Celzia je len v lokalizácii nulového bodu. V stupnici Kelvina voda tuhne pri 273,15 K, takže vzťah medzi stupnicou Kelvina a Celzia je

$$T / \text{K} = t / ^\circ\text{C} + 273,15$$

Na základe tohto vzťahu vypočítame pre kovové gárium jeho teplotu topenia

$$T = (29,78 + 273,15) \text{ K} = 302,93 \text{ K}$$

a jeho teplotu varu.

$$T = (2403 + 273,15) \text{ K} = 2676 \text{ K}$$

☑ Teplota topenia kovového gália je 302,93 K a teplota varu je 2676 K.

1.3 Úlohy

1.3.1 Určite počet platných číslic v daných údajoch.

a) 8,050 g zlata; b) 0,0300 s; c) $9,00 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$ vody; d) $125,6 \text{ }^\circ\text{C}$; e) 7 teplomerov.

[a) 4; b) 3; c) 3; d) 4; e) ∞]

1.3.2 Napíšte dané čísla v exponenciálnom tvare.

a) 38 000; b) 0,00026; c) 857 000 000; d) 0,0903.

[a) $3,8000 \cdot 10^4$; b) $2,6 \cdot 10^{-4}$; c) $8,57000000 \cdot 10^8$; d) $9,03 \cdot 10^{-2}$]

1.3.3 Zaokrúhlite nasledujúce čísla na udaný počet platných číslic.

a) 0,78945 na tri platné číslice,

b) $5,012 \cdot 10^4$ na dve platné číslice,

c) 0,000032574 na tri platné číslice,

d) 547,95 na štyri platné číslice.

[a) 0,789; b) $5,0 \cdot 10^4$; c) 0,0000326; d) 548,0]

1.3.4 Pri zisťovaní hmotnosti neznámej vzorky sa získali nasledujúce údaje: 5,34 g; 5,32 g; 5,35 g; 5,34 g. Vypočítajte priemernú hodnotu hmotnosti vzorky.

[$m = 5,34 \text{ g}$]

1.3.5 Vo vzorke zliatiny boli stanovené nasledujúce hmotnosti: 2,011 g medi, 1,02 g zinku a 1,4 g mangánu. Uveďte aká bola hmotnosť zliatiny.

[$m' = 4,4 \text{ g}$]

1.3.6 Bola stanovená rozpustnosť látky. Zistilo sa, že 2,299 g tejto látky rozpustilo v 28,39 g vody. Uveďte správny výsledok na vyjadrenie rozpustnosti danej látky v presne 100 g vody.

[$s = 7,491 \text{ g látky na } 100 \text{ g vody}$]

1.3.7 Vypočítajte hustotu vzorky vodného roztoku chloridu sodného, ak jeho hmotnosť je 1,54 g a objem odmeraný v odmernom valci je $1,3 \text{ cm}^3$.

[$\rho' = 1,2 \text{ g cm}^{-3}$]

1.3.8 Na základe hodnôt relatívnych molekulových hmotností prvkov uvedených v chemických tabuľkách vypočítajte mólovú hmotnosť $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$.

[$M = 811,5 \text{ g mol}^{-1}$]

1.3.9 Fluorid sírový je bezfarebný plyn. V nádobe s objemom $6,35 \text{ dm}^3$ sa nachádza 1,52 mol tohto plynu pri teplote $72,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Vypočítajte, aký je tlak v nádobe.

[$p = 688 \text{ kPa}$]

1.3.10 Teplota topenia ortuti je $234,3 \text{ K}$. Pri akej teplote v $^\circ\text{C}$ sa topí ortuť?

[$t_f = -38,9 \text{ }^\circ\text{C}$]

2 MNOŽSTVO CHEMICKÝCH LÁTKOK

2.1 Veličiny vyjadrujúce množstvo látky

Chemická látka má charakteristické zloženie a skladá sa z častíc rozličného alebo rovnakého druhu. Ak je látka tvorená jedinou chemickou látkou (zlúčeninou alebo jednoduchou látkou), nazýva sa čistou látkou. Čistá látka je chemické individuum, ktorého zloženie a vlastnosti sa ďalším čistením nemenia. Namiesto pojmu chemická látka sa často používa pojem **látka**. Množstvo látky vyjadrujú **extenzitné veličiny** (tab. 2.1) – hmotnosť m , objem V , počet častíc N , látkové množstvo n . Chemické reakcie prebiehajú medzi obrovským počtom častíc (atómov, molekúl, iónov), preto je nepraktické udávať množstvo látky pomocou počtu častíc. Z tohoto dôvodu sa zaviedla veličina **látkové množstvo** n , ktorá je priamo úmerná počtu častíc. Látkové množstvo je jedna zo základných fyzikálnych veličín (tab. 1.1). Jej jednotkou je mól. Počet entít v jednom móle látky udáva **Avogadrova konštanta** N_A (tab. 1.4). Jej hodnota je $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (presne).

Tabuľka 2.1 Extenzitné veličiny vyjadrujúce množstvo látky.

Extenzitná veličina	Symbol	Základná jednotka	Násobky jednotky
Hmotnosť	m	kg	g, mg
Objem	V	m^3	dm^3, cm^3
Počet častíc	N	–	–
Látkové množstvo	n	mol	kmol, mmol

2.2 Prepočty medzi veličinami vyjadrujúcimi množstvo látky

Na vzájomný prepočet **extenzitných veličín** (tab. 2.1) sa používajú **intenzitné veličiny** (tab. 2.2) a Avogadrova konštanta N_A (tab. 1.4).

Medzi počtom častíc N látky a jej látkovým množstvom n platí vzťah

$$N = N_A n \quad (2.1)$$

Ak je **hmotnosť jednej častice** m_X , potom pre hmotnosť m látky platí vzťah

$$m = m_X N \quad (2.2)$$

Po dosadení vzťahu (2.1) do vzťahu (2.2) dostaneme

$$m = m_X N_A n = M n$$

čiže

$$m_X N_A = M \quad (2.3)$$

Mólová hmotnosť M látky vyjadruje hmotnosť jedného mólu látky. Dá sa vyjadriť ako podiel hmotnosti m látky a jej látkového množstva n .

$$M = \frac{m}{n} \quad (2.4)$$

Mólová hmotnosť M vyjadrená jednotkou g mol^{-1} sa číselne rovná **relatívnej atómovej hmotnosti** A_r prvku alebo **relatívnej molekulovej hmotnosti** M_r látky.

Poznámka: Relatívna hmotnosť A_r , resp. M_r častice je definovaná ako podiel hmotnosti častice m_x a atómovej hmotnostnej jednotky u , pričom u je $1/12$ hmotnosti nuklidu ^{12}C . Podľa staršej definície mólu mal 1 mól nuklidov ^{12}C hmotnosť 12 g (presne) a hodnota Avogadrovej konštanty N_A sa stanovovala experimentálne. Z uvedených skutočností vyplývalo:

$$u = \frac{1}{12} m_{^{12}\text{C}} = \frac{1}{12} \frac{M(^{12}\text{C})}{N_A} = \frac{1}{12} \cdot \frac{12,0 \text{ g mol}^{-1}}{\{N_A\} \text{ mol}^{-1}} = \frac{\text{g}}{\{N_A\}}$$

$$M = m_x N_A = M_r u N_A = M_r \frac{\text{g}}{\{N_A\}} \{N_A\} \text{ mol}^{-1} = M_r \text{ g mol}^{-1}$$

Revíziou jednotiek IUPAC v r. 2019 sa dohodou prijala hodnota $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (presne) a mólová hmotnosť izotopu ^{12}C sa, naopak, stanovuje experimentálne. V súčasnosti je

$$u = \frac{1}{12} m_{^{12}\text{C}} = \frac{1}{12} \frac{M(^{12}\text{C})}{N_A} = 1,66053907 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Hustota ρ látky je definovaná ako podiel hmotnosti m látky a jej objemu V .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.5)$$

Hustota látky je dôležitou veličinou. Je to experimentálne stanovená veličina, ktorej hodnota sa s teplotou mení – najviac u plyných a najmenej u tuhých látok.

Mólový objem V_m látky vyjadruje objem jedného mólu látky. Je definovaný ako podiel objemu V látky a jej látkového množstva n .

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (2.6)$$

Ak poznáme hustotu ρ látky, potom môžeme jej mólový objem vypočítať aj ako podiel mólovej hmotnosti M látky a jej hustoty ρ .

$$V_m = \frac{V}{n} = \frac{\rho}{\frac{m}{M}} = \frac{M}{\rho} \quad (2.7)$$

Fyzikálny stav plynu je určený troma **stavovými veličinami**: tlakom p , objemom V a termodynamickou teplotou T . Matematickým vyjadrením ich vzájomného vzťahu je stavová rovnica. V prípade ideálneho plynu platí **stavová rovnica ideálneho plynu**.

$$pV = nRT \quad (2.8)$$

Konštanta R je **mólová plynová konštanta** a jej hodnota je udaná v tab. 1.4. V praxi sa často používa zaokrúhľená hodnota $R = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Poznámka: Dôkaz konzistentnosti jednotiek stavovej rovnice ideálneho plynu.

$$\begin{aligned}
 [p][V] &= [n][R][T] \\
 (\text{Pa}) \cdot (\text{m}^3) &= (\text{mol}) \cdot (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}) \cdot (\text{K}) \\
 (\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}) \cdot (\text{m}^3) &= (\text{mol}) \cdot (\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}) \cdot (\text{K}) \\
 \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} &= \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \\
 1 &= 1 \quad \text{q.e.d.}
 \end{aligned}$$

Je užitočné zapamätať si vzťah $\mathbf{Pa \cdot m^3 = J}$, z ktorého vyplýva dôležitý záver:

Ak v stavovej rovnici udávame tlak v Pa, musíme objem udávať v m³.

Ak v stavovej rovnici udávame tlak v kPa, musíme objem udávať v dm³.

Normálny mólový objem V_{mn} látky vyjadruje mólový objem látky pri **normálnych podmienkach**, tj. pri teplote 0 °C a tlaku 101 325 Pa. Zmenou teploty sa objem kvapalných a tuhých látok nemení tak výrazne ako u plyných látok. Zmenu objemu kvapalných a tuhých látok s teplotou za stáleho vonkajšieho tlaku kvantitatívne vyjadruje koeficient objemovej rozťažnosti, ktorého hodnoty sú tabelované. Po dosadení normálnej teploty a normálneho tlaku do stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8), dostaneme normálny mólový objem V_{mn} ideálneho plynu (tab. 1.4).

$$V_{\text{mn}} = \frac{RT}{p} = \frac{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 273,15 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa}} = 22,414 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

Vo výpočtoch budeme používať jeho zaokrúhlenú hodnotu $V_{\text{mn}} = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Podľa Avogadroho zákona musí byť hodnota normálneho mólového objemu pre všetky plyny rovnaká. Objem V_n plynnej látky pri normálnych podmienkach možno vypočítať ako súčin normálneho mólového objemu V_{mn} a látkového množstva n látky.

$$V_n = V_{\text{mn}} n \tag{2.9}$$

Poznámka: V úlohách, kde vystupuje viac látok alebo častíc, musíme veličiny im prislúchajúce rozlišovať, napr. uvedením chemického vzorca v zátvorke za symbolom veličiny. Ak sú chemické vzorce príliš dlhé, kvôli zjednodušeniu zápisov možno zaviesť novú symboliku, napr. A, B,...

Tabuľka 2.2 Intenzitné veličiny vyjadrujúce množstvo látky.

Intenzitná veličina	Symbol	Základná jednotka	Násobky jednotky
Mólová hmotnosť	M	kg mol ⁻¹	g mol ⁻¹
Hustota	ρ	kg m ⁻³	g cm ⁻³
Mólový objem	V_m	m ³ mol ⁻¹	dm ³ mol ⁻¹ , cm ³ mol ⁻¹

Poznámka: Pri výpočtoch sa často stáva, že zadané veličiny sú vyjadrené v rôznych jednotkách, preto je treba ich vždy zjednotiť. Môžeme to urobiť ešte predtým, ako ich dosadíme do príslušných vzťahov, ale aj priamo po dosadení do vzťahu, kde zároveň uvedieme aj jednotkový prepočítavací faktor. Napr. ak máme vyjadriť v g cm⁻³ hustotu látky s hmotnosťou 2,50 kg a objemom 1500 cm³, namiesto bežného zápisu

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,50 \text{ kg}}{1500 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,00167 \text{ kg cm}^{-3}} = \mathbf{1,67 \text{ g cm}^{-3}}$$

môžeme výpočet zapísať

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,50 \text{ kg}}{1500 \text{ cm}^3} \cdot 10^3 \text{ g kg}^{-1} = 1,67 \text{ g cm}^{-3}$$

pričom prepočítavací faktor $10^3 \text{ g kg}^{-1} = 1$ vyplýva z definičného vzťahu medzi jednotkami.

$$\text{kg} = 10^3 \text{ g} \Leftrightarrow \frac{10^3 \text{ g}}{\text{kg}} = 10^3 \text{ g kg}^{-1} = 1$$

2.2.1 Riešené príklady

2.2.1 Vypočítajte látkové množstvo kyslíka, ktoré predstavuje $8,820 \cdot 10^{24}$ molekúl O_2 .

Riešenie:

Pri riešení úlohy vychádzame z (2.1).

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{8,820 \cdot 10^{24}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{14,65 \text{ mol}}$$

☑ Látkové množstvo kyslíka je 14,65 mol.

2.2.2 Chemickou reakciou vzniklo $1,50 \cdot 10^{-2}$ mol jodidu ciničitého. Vypočítajte jeho hmotnosť.

Riešenie:

Pri riešení úlohy vychádzame z (2.4).

$$m = nM = 1,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 634,328 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{9,51 \text{ g}}$$

☑ Hmotnosť vzniknutého jodidu ciničitého je 9,51 g.

2.2.3 Vypočítajte hmotnosť oxidu siričitého, ktorý obsahuje $1,22 \cdot 10^{24}$ molekúl.

Riešenie:

Látkové množstvo n si vyjadríme z (2.1) a po dosadení do (2.4) dostaneme

$$m = nM = \frac{N}{N_A} M = \frac{1,22 \cdot 10^{24}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 64,065 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{130 \text{ g}}$$

☑ Hmotnosť oxidu siričitého je 130 g.

2.2.4 Vypočítajte hmotnosť jedného atómu platiny.

Riešenie:

Pri riešení úlohy vychádzame z (2.3).

$$m_{\text{Pt}} = \frac{M}{N_A} = \frac{195,08 \text{ g mol}^{-1}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{3,2394 \cdot 10^{-22} \text{ g}}$$

☑ Jeden atóm platiny má hmotnosť $3,2394 \cdot 10^{-22}$ g.

2.2.5 Vo vodnom roztoku síranu sodného sa nachádza $2,282 \cdot 10^{-2}$ mol sodných katiónov.

- Vypočítajte hmotnosť sodných katiónov.
- Vypočítajte hmotnosť síranových aniónov.
- Vypočítajte hmotnosť síranu sodného.

Riešenie:

a) Vzhľadom na zanedbateľnú hmotnosť elektrónu voči hmotnosti atómového jadra platí $M(\text{Na}^+) \approx M(\text{Na})$. Po dosadení údajov do (2.4) dostaneme hmotnosť sodných katiónov.

$$m(\text{Na}^+) = n(\text{Na}^+) M(\text{Na}^+) \approx 2,282 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 22,9898 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,5246 \text{ g}}$$

b) Pri rozpúšťaní síranu sodného vo vode prebieha jeho ionizácia, pričom vznikajú dva sodné katióny a jeden síranový anión podľa rovnice



Z uvedenej chemickej rovnice vyplýva

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{1}{2} n(\text{Na}^+) = \frac{1}{2} \cdot 2,282 \cdot 10^{-2} \text{ mol} = 1,141 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Mólovú hmotnosť síranového aniónu vypočítame ako súčet mólových hmotností jednotlivých prvkov, pričom hmotnosť dvoch elektrónov opäť zanedbáme.

$$M(\text{SO}_4^{2-}) \approx M(\text{S}) + 4 M(\text{O}) = 32,066 \text{ g mol}^{-1} + 4 \cdot 15,9994 \text{ g mol}^{-1} = 96,0636 \text{ g mol}^{-1}$$

Hmotnosť síranových aniónov vypočítame podľa (2.4).

$$m(\text{SO}_4^{2-}) = n(\text{SO}_4^{2-}) M(\text{SO}_4^{2-}) \approx 1,141 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 96,0636 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1,096 \text{ g}}$$

c) Podľa rovnice ionizácie je látkové množstvo síranu sodného rovnaké ako látkové množstvo síranových aniónov, $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_4^{2-})$. Hmotnosť Na_2SO_4 vypočítame pomocou (2.4).

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,141 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 142,043 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1,621 \text{ g}}$$

Hmotnosť síranu sodného je súčtom hmotností sodných katiónov a síranových aniónov.

- ☑ a) Hmotnosť sodných katiónov je 0,5246 g. b) Hmotnosť síranových aniónov je 1,096 g.
c) Hmotnosť síranu sodného je 1,621 g.

2.2.6 Hmotnosť kryštálu chloridu sodného je 0,05238 g.

- Vypočítajte objem kryštálu, ktorého hustota je 2160 kg m^{-3} .
- Vypočítajte mólový objem chloridu sodného.

Riešenie:

Pri riešení úlohy vychádzame z (2.5).

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,05238 \text{ g}}{2,160 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{0,02425 \text{ cm}^3}$$

b) Mólový objem chloridu sodného vypočítame skombinovaním (2.4) a (2.6)

$$V_m = \frac{VM}{m} = \frac{0,02425 \text{ cm}^3 \cdot 58,443 \text{ g mol}^{-1}}{0,05238 \text{ g}} = \mathbf{27,06 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}}$$

alebo podľa (2.7)

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{58,443 \text{ g mol}^{-1}}{2,160 \text{ g cm}^{-3}} = 27,06 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

☑ a) Objem kryštálu chloridu sodného je $0,02425 \text{ cm}^3$. b) Mólový objem chloridu sodného je $27,06 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

2.2.7 V aparátúre sa nachádza 1,95 kmol plynného chlóru.

- a) Vypočítajte objem chlóru pri normálnych podmienkach,
b) Vypočítajte objem chlóru pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $102,5 \text{ kPa}$.

Riešenie:

a) Pri výpočte objemu plynnej látky pri normálnych podmienkach vychádzame z (2.9) a z hodnoty normálneho mólového objemu ideálneho plynu $V_{mn} = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

$$V_n = V_{mn}n = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \cdot 1,95 \cdot 10^3 \text{ mol} = 43,7 \cdot 10^4 \text{ dm}^3 = 43,7 \text{ m}^3$$

b) Pri výpočte objemu plynnej látky pri uvedených podmienkach vychádzame zo stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8).

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1,95 \cdot 10^3 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (20,0 + 273,15) \text{ K}}{102,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = 46,4 \text{ m}^3$$

☑ a) Objem chlóru pri normálnych podmienkach je $43,7 \text{ m}^3$. b) Objem chlóru pri zadaných podmienkach je $46,4 \text{ m}^3$.

2.2.8 Reakčná nádoba s objemom $3,00 \text{ dm}^3$ obsahuje $2,50 \text{ cm}^3$ kvapalného brómu, ktorého hustota je $3,123 \text{ g cm}^{-3}$.

- a) Vypočítajte tlak plynného brómu v nádobe, ak reakčnú nádobu zohrejeme na teplotu $100,0 \text{ }^\circ\text{C}$.
b) Vypočítajte hustotu plynného brómu v reakčnej nádobe pri teplote $100,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Riešenie:

a) Tlak plynného brómu vypočítame zo stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8). Najprv si vypočítame látkové množstvo brómu, ktoré sa nachádza v reakčnej nádobe. Úpravou (2.4) a (2.5) dostaneme

$$n = \frac{\rho V}{M} = \frac{3,123 \text{ g cm}^{-3} \cdot 2,50 \text{ cm}^3}{159,808 \text{ g mol}^{-1}} = 0,04886 \text{ mol}$$

Látkové množstvo brómu sa zmenou skupenstva nezmení. Po dosadení vypočítaného látkového množstva brómu, zadaných stavových veličín a mólovej plynovej konštanty do stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8) dostaneme

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{0,04886 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (100,0 + 273,15) \text{ K}}{3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 5,05 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

b) Ak poznáme tlak a teplotu, potom hustotu plynného brómu vypočítame podľa vzťahu odvodeného z (2.4), (2.5) a (2.8).

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{5,053 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1}}{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (100,0 + 273,15) \text{ K}} = \mathbf{2603 \text{ g m}^{-3}}$$

☑ a) Tlak plynného brómu pri teplote 100,0 °C bude 50,5 kPa. b) Hustota plynného brómu pri teplote 100,0 °C bude 2,603 kg m⁻³.

2.2.9 Vypočítajte, koľko molekúl a koľko atómov obsahuje presne 1,5 cm³ vody, ak hustota vody je 1000 kg m⁻³. Vypočítajte, koľko váži jedna molekula vody.

Riešenie:

Pri riešení najprv vypočítame hmotnosť vody (2.5), potom látkové množstvo vody (2.4) a nakoniec počet molekúl vody (2.1). Jednoduchšie je však najprv si odvodiť výsledný vzťah

$$N = n N_A = \frac{m N_A}{M} = \frac{\rho V N_A}{M}$$

a do neho potom dosadiť zadané údaje

$$N = \frac{\rho V N_A}{M} = \frac{1,000 \text{ g cm}^{-3} \cdot 1,5 \text{ cm}^3 \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{18,015 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{5,014 \cdot 10^{22}}$$

Každá molekula vody H₂O je zložená z troch atómov – z dvoch atómov vodíka a z jedného atómu kyslíka. Z toho vyplýva, že počet atómov je trojnásobkom počtu molekúl vody.

$$N(\text{atómov}) = 3N = 3 \cdot 5,014 \cdot 10^{22} = \mathbf{1,504 \cdot 10^{23}}$$

Hmotnosť molekuly vody vypočítame podľa (2.3).

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{M}{N_A} = \frac{18,015 \text{ g mol}^{-1}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{2,9915 \cdot 10^{-23} \text{ g}}$$

☑ V presne 1,5 cm³ vody sa nachádza 5,014 · 10²² molekúl, a teda 1,504 · 10²³ atómov. Molekula vody váži 2,9915 · 10⁻²³ g.

2.2.10 Vypočítajte, hmotnosť MgO a CaCO₃, ktoré treba zmiešať, aby sme získali 1,00 kg zmesi, v ktorej je pomer Mg : Ca rovnaký ako v dolomite CaMg(CO₃)₂.

Riešenie:

Podľa zadania pre hmotnosti MgO a CaCO₃ platí

$$m(\text{MgO}) + m(\text{CaCO}_3) = m' = 1,00 \cdot 10^3 \text{ g} \quad (1)$$

Podľa (2.1) z podmienky pomeru počtu atómov Mg a Ca vyplýva

$$N(\text{Mg}) = N(\text{Ca}) \quad n(\text{Mg}) = n(\text{Ca})$$

Z chemických vzorcov MgO a CaCO₃ vyplýva

$$n(\text{MgO}) = n(\text{Mg}) \quad n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca})$$

z čoho

$$n(\text{MgO}) = n(\text{CaCO}_3)$$

$$\frac{m(\text{MgO})}{M(\text{MgO})} = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} \quad (2)$$

Dosadením neznámej, napr. $m(\text{CaCO}_3)$ z rovnice (2) do rovnice (1) dostaneme

$$m(\text{MgO}) + m(\text{MgO}) \frac{M(\text{CaCO}_3)}{M(\text{MgO})} = m'$$

z čoho po úprave

$$m(\text{MgO}) = \frac{m'}{1 + \frac{M(\text{CaCO}_3)}{M(\text{MgO})}} = \frac{1,00 \cdot 10^3 \text{ g}}{1 + \frac{100,087 \text{ g mol}^{-1}}{40,3044 \text{ g mol}^{-1}}} = \mathbf{287 \text{ g}}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = m' - m(\text{MgO}) = 1,00 \cdot 10^3 \text{ g} - 287 \text{ g} = \mathbf{713 \text{ g}}$$

☑ Na prípravu požadovanej zmesi treba zmiešať 287 g MgO a 713 g CaCO₃.

2.3 Úlohy

2.3.1 Vypočítajte mólovú hmotnosť

- trihydrátu octanu sodného,
- dihydroxid-uhličitanu meďnatého,
- dodekahydrátu síranu draselno-chromitého,
- tetraacetáto-diakvadichrómnateho komplexu.

[a) $M = 136,08 \text{ g mol}^{-1}$; b) $M = 221,12 \text{ g mol}^{-1}$; c) $M = 499,4 \text{ g mol}^{-1}$; d) $M = 376,19 \text{ g mol}^{-1}$]

2.3.2 Vypočítajte látkové množstvo

- oxidu železnateho a oxidu titaničitého v 70,0 kg ilmenitu zloženia FeTiO₃,
- oxidu horečnatého, oxidu boritého a chloridu horečnatého v 1000 g boracitu zloženia 6MgO·8B₂O₃·MgCl₂,
- draselných, hlinitých a chromitých katiónov, vody a síranových aniónov, ktoré sa nachádzajú v 44,5 mg kamenca zloženia Al_{0,3}Cr_{0,7}K(SO₄)₂·12H₂O.

[a) $n(\text{FeO}) = 0,461 \text{ kmol}$, $n(\text{TiO}_2) = 0,461 \text{ kmol}$; b) $n(\text{MgO}) = 6,71 \text{ mol}$, $n(\text{B}_2\text{O}_3) = 8,95 \text{ mol}$, $n(\text{MgCl}_2) = 1,12 \text{ mol}$; c) $n(\text{K}^+) = 9,05 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$, $n(\text{Al}^{3+}) = 2,71 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$, $n(\text{Cr}^{3+}) = 6,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$, $n(\text{H}_2\text{O}) = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$, $n(\text{SO}_4^{2-}) = 1,81 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$]

2.3.3 Vypočítajte látkové množstvo, ktoré zodpovedá

- $3,0 \cdot 10^{22}$ molekúlám ozónu,
- 15,0 mg cyklooktasíry S₈,
- 1,00 cm³ železa, ktorého hustota je 7874,3 kg m⁻³,
- 6,5 dm³ didusíka za normálnych podmienok,
- $8,00 \cdot 10^{21}$ uhličitanových aniónov.

[a) $n = 0,050 \text{ mol}$; b) $n = 5,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$; c) $n = 0,141 \text{ mol}$; d) $n = 0,29 \text{ mol}$; e) $n = 0,0133 \text{ mol}$]

2.3.4 Vypočítajte hmotnosť, ktorá zodpovedá

- a) $5,0 \cdot 10^{25}$ síranovým aniónom,
- b) 33,3 mmol tetrafosforu,
- c) $70,0 \text{ dm}^3$ argónu za normálnych podmienok,
- d) $2,00 \text{ cm}^3$ ortuti pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$,
- e) 12,22 kmol dekahydrátu tetraboritanu disodného.

[a) $m = 8,0 \text{ kg}$; b) $m = 4,13 \text{ g}$; c) $m = 125 \text{ g}$; d) $m = 27,1 \text{ g}$; e) $m = 4660 \text{ kg}$]

2.3.5 Vypočítajte objem, ktorý zodpovedá

- a) 2,35 kmol neónu pri teplote $30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 150 kPa,
- b) 45,6 g gália, ktorého hustota je 5910 kg m^{-3} ,
- c) $7,5 \cdot 10^{24}$ vzorcovým jednotkám oxidu hlinitého, ktorého hustota je 4000 kg m^{-3} ,
- d) 22,25 mmol dusíka za normálnych podmienok.

[a) $V = 39,5 \text{ m}^3$; b) $V = 7,72 \text{ cm}^3$; c) $V = 317 \text{ cm}^3$; d) $V = 0,4986 \text{ dm}^3$]

2.3.6 Vypočítajte koľko atómov obsahuje

- a) presne 2 mg irídia,
- b) presne 2 mmol dodekabóru B_{12} ,
- c) $7,55 \text{ cm}^3$ plynného chlorovodíka pri teplote $50,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $1,20 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
- d) $1,00 \text{ cm}^3$ chloridu tionylu (dichlorid-oxidu siričitého SOCl_2), ktorého hustota je 1638 kg m^{-3} .

[a) $N = 6,2657 \cdot 10^{18}$; b) $N = 1,445 \cdot 10^{22}$; c) $N = 4,06 \cdot 10^{21}$; d) $N = 3,32 \cdot 10^{22}$]

2.3.7 Vypočítajte hmotnosť atómu prócia ^1H a atómu deutéria ^2H (označovaného aj D). Porovnajte ich hmotnosti.

[$m_{\text{H}} = 1,674 \cdot 10^{-24} \text{ g}$, $m_{\text{D}} = 3,348 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Atóm deutéria je 2,00-krát ťažší ako atóm prócia.]

2.3.8 V reaktore sa nachádza presne 1 kmol oxidu dusičitého. Vypočítajte jeho hmotnosť a objem, ktorého hustota je $1,449 \text{ kg m}^{-3}$.

[$m = 46,0055 \text{ kg}$; $V = 31,75 \text{ m}^3$]

2.3.9 V reakčnej nádobe sa nachádza 0,250 mol vodíka.

- a) Vypočítajte objem vodíka za normálnych podmienok.
- b) Vypočítajte objem vodíka pri teplote $400 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 400 kPa.

[a) $V = 5,60 \text{ dm}^3$. b) $V = 3,50 \text{ dm}^3$]

2.3.10 Vypočítajte hustotu plynného fluóru za normálnych podmienok.

[$\rho = 1,6955 \text{ kg m}^{-3}$]

2.3.11 Katalytickým rozkladom peroxidu vodíka sa uvoľnilo $125,0 \text{ cm}^3$ dikyslíka pri teplote $21,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a 100 kPa.

- a) Vypočítajte hmotnosť uvoľneného dikyslíka.
- b) Vypočítajte hustotu dikyslíka za uvedených podmienok.

[a) $m = 0,164 \text{ g}$. b) $\rho = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$]

2.3.12 V nádobe sa nachádza $50,00 \text{ cm}^3$ kvapalného bromidu kremičitého pri teplote $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Po ochladení na teplotu $-80,0 \text{ }^\circ\text{C}$ sa získal tuhý bromid kremičitý.

a) Vypočítajte hmotnosť bromidu kremičitého.

b) Vypočítajte objem tuhého bromidu kremičitého.

c) Vypočítajte zmenu objemu po ochladení kvapalného bromidu kremičitého.

Hustota bromidu kremičitého pri teplote $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ je $2,77 \text{ g cm}^{-3}$ a pri teplote $-80,0 \text{ }^\circ\text{C}$ je $3,20 \text{ g cm}^{-3}$.

[a) $m = 139 \text{ g}$. b) $V = 43,3 \text{ cm}^3$. c) $\Delta V = -6,7 \text{ cm}^3$]

2.3.13 Akú hmotnosť musí mať vzorka zlata, aby obsahovala rovnaký počet atómov, ako má vzorka železa s hmotnosťou $13,8 \text{ g}$.

[$m = 48,7 \text{ g}$]

2.3.14 Aký objem musí mať vzorka zlata, aby obsahovala rovnaký počet atómov, ako má vzorka ortuti s objemom $2,00 \text{ cm}^3$ pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$, ak hustota zlata pri tejto teplote je $19,32 \text{ g cm}^{-3}$.

[$V = 1,38 \text{ cm}^3$]

3 VYJADRENIE ZLOŽENIA SÚSTAV

Sústava je časť priestoru, oddelená od **okolía** skutočným alebo mysleným rozhraním. Sústava je definovaná tým, že udáme, čo do nej patrí. Chemické látky, ktoré patria do sústavy nazývame **zložky** sústavy. Sústavou je napr. vodný roztok chloridu sodného v kadičke alebo reakčná zmes v reaktore, v ktorom prebieha syntéza amoniaku z dusíka a vodíka. Sústava, ktorá môže s okolím vymieňať látku aj energiu sa nazýva otvorená sústava. Ak rozhranie sústavy nedovoľuje látkovú výmenu (iba výmenu energie) s okolím, hovoríme o uzavretej sústave. Sústava, ktorá má vo všetkých svojich častiach rovnaké vlastnosti, sa nazýva homogénna (voda, vodný roztok chloridu sodného, vzduch). Heterogénna sústava sa skladá z niekoľkých homogénnych častí, tzv. fáz, oddelených od seba rozhraním, na ktorom sa ich vlastnosti menia skokom (kryštály tuhého dichrómanu didraselného v nasýtenom roztoku dichrómanu didraselného, zmes ľadu a vody). **Fáza** je homogénna časť heterogénnej sústavy. Homogénna sústava aj fáza, skladajúca sa z najmenej dvoch chemických látok, sa nazýva **roztok**. Poznáme plynné, kvapalné a tuhé roztoky. V kvapalných roztokoch sú zložkami roztoku **rozpúšťadlo** a **rozpustené látky**. Za rozpúšťadlo sa spravidla považuje prevládajúca kvapalná zložka sústavy. Pri vodných roztokoch sa za rozpúšťadlo považuje voda. Podľa veličiny vyjadrujúcej množstvo zložky a množstvo sústavy rozlišujeme rôzne spôsoby vyjadrenia zloženia sústavy.

3.1 Vyjadrenie zloženia sústav pomocou pomerného zastúpenia zložiek

Zloženie sústavy sa kvantitatívne vyjadruje množstvami jednotlivých látok alebo ich pomerným zastúpením. Pomerné zastúpenie zložky v sústave je vyjadrené vzťahom

$$\text{pomerné zastúpenie zložky} = \frac{\text{množstvo zložky}}{\text{množstvo sústavy}} \quad (3.1)$$

Zloženie všetkých sústav, homogénnych aj heterogénnych, možno vyjadriť tak, že sa množstvo zložky a množstvo sústavy vo vzťahu (3.1) vyjadri v rovnakých veličinách. Podľa druhu použitej veličiny rozlišujeme hmotnostný, objemový a mólový zlomok zložky. Často sa zloženie sústavy vyjadruje v hmotnostných, objemových a mólových percentách (%), v promile (‰), v ppm alebo v ppb. Percento je jeden diel zo sto dielov, promile jeden diel z tisíc dielov, ppm (*parts per million*) jeden diel z milióna dielov, ppb (*parts per billion*) jeden diel z miliardy dielov.

Poznámka: Symboly %, ‰, ppm, ppb reprezentujú číselné hodnoty.

$$\% \equiv 10^{-2}, \text{‰} \equiv 10^{-3}, \text{ppm} \equiv 10^{-6}, \text{ppb} \equiv 10^{-9}$$

$$10^2 \% = 10^3 \text{‰} = 10^6 \text{ppm} = 10^9 \text{ppb} = 1$$

S týmito symbolmi môžeme počítat ako s číslami, napr.

$$60 \% \cdot 40 \text{ppm} = 60 \cdot 10^{-2} \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 2,4 \cdot 10^{-5}$$

$$(75,0 \text{‰})^2 = (75,0 \cdot 10^{-3})^2 = 5,63 \cdot 10^{-3}$$

$$\sqrt{16 \%} = \sqrt{16 \cdot 10^{-2}} = 0,40 = 40 \%$$

Obsah nečistôt alebo prímiesí sa najčastejšie vyjadruje v ppm, napr. v smogu je 40 obj. ppm oxidu uhoľnatého, t.j. 1 dm³ smogu obsahuje 40 mm³ oxidu uhoľnatého.

Poznámka: Veličiny popisujúce vlastnosti celej sústavy budeme označovať čiarokou (').

3.1.2 Hmotnostný zlomok

Hmotnostný zlomok w zložky sústavy je podiel hmotnosti m zložky a hmotnosti m' sústavy.

$$w = \frac{m}{m'} \quad m' = \sum_i m_i \quad (3.2)$$

Súčet hmotnostných zlomkov všetkých zložiek v sústave sa rovná 1.

$$\sum_i w_i = \frac{\sum_i m_i}{m'} = \frac{m'}{m'} = 1 \quad (3.3)$$

Hmotnostný zlomok sa často vyjadruje v percentách a zapisuje sa „hmotn. %“. Ak hmotnostný zlomok vynásobíme 100 %, dostaneme hmotnostné percentá. Ak pri údají zloženia sústavy je za číselným údajom uvedené iba „%“, rozumejú sa tým hmotnostné percentá.

3.1.3 Objemový zlomok

Objemový zlomok φ zložky sústavy je podiel objemu V zložky a objemu V' sústavy.

$$\varphi = \frac{V}{V'} \quad (3.4)$$

Objemový zlomok sa často vyjadruje v percentách a zapisuje sa „obj. %“. Ak objemový zlomok vynásobíme 100 %, dostaneme objemové percentá. Pri ideálnych zmesiach sa objem sústavy rovná súčtu objemov jednotlivých zložiek. Pri miešaní kvapalín treba rátať s kontrakciou (zmenšením) alebo dilatáciou (zväčšením) výsledného objemu. Preto sa objemový zlomok používa najmä pri vyjadrovaní zloženia plyných sústav. Pri niektorých úlohách sa stretne s poznámkou, že platí aditivita objemov, čo znamená, že objem sústavy sa rovná súčtu objemov jednotlivých zložiek. V takom prípade súčet objemových zlomkov všetkých zložiek v sústave sa rovná 1.

3.1.1 Mólový zlomok

Mólový zlomok x zložky sústavy je podiel látkového množstva n zložky a súčtu látkových množstiev n' všetkých zložiek sústavy.

$$x = \frac{n}{n'} \quad n' = \sum_i n_i \quad (3.5)$$

Súčet mólových zlomkov všetkých zložiek v sústave sa rovná 1.

$$\sum_i x_i = \frac{\sum_i n_i}{n'} = \frac{n'}{n'} = 1 \quad (3.6)$$

Mólový zlomok sa často vyjadruje v percentách a zapisuje sa „mol. %“. Ak mólový zlomok vynásobíme 100 %, dostaneme mólové percentá.

3.1.4 Hustota roztokov

Hmotnosť roztoku m' je priamo úmerná objemu roztoku V' . Koeficient úmernosti ρ' sa nazýva hustota roztoku.

$$m' = \rho'V' \quad (3.7)$$

Hustoty kvapalných roztokov závisia od zloženia a teploty (vplyv tlaku možno zanedbať). Pre plynné roztoky závisia ich hustoty aj od tlaku. Hustoty roztokov rôzneho zloženia pri rôznych podmienkach sa zisťujú experimentálne a uvádzajú sa v chemických tabuľkách.

3.1.5 Priemerná mólová hmotnosť

Pri rôznych výpočtoch sa často vyskytujú zmesi látok, ktorých zloženie sa nemení, napr. azeotropické zmesi. Tieto zmesi je výhodné považovať za jednu zložku sústavy a priradiť jej priemernú mólovú hmotnosť \bar{M} . Priemerná mólová hmotnosť \bar{M} sústavy je definovaná ako podiel hmotnosti m' sústavy a súčtu látkových množstiev n' všetkých zložiek sústavy. Ak mólová hmotnosť zložky je M a mólový zlomok zložky je x , môžeme priemernú mólovú hmotnosť sústavy vyjadriť vzťahom

$$\bar{M} = \frac{m'}{n'} = \frac{\sum_i m_i}{n'} = \sum_i \frac{M_i n_i}{n'} = \sum_i M_i x_i \quad (3.8)$$

Pre ideálne plynné sústavy možno zo stavovej rovnice (2.8) pre \bar{M} odvodiť vzťah

$$\bar{M} = \frac{m'}{n'} = \frac{m'}{\frac{pV'}{RT}} = \frac{m'RT}{pV'} = \frac{\rho'RT}{p} \quad (3.9)$$

3.1.6 Riešené príklady

3.1.1 Plynná zmes obsahuje 4,4 g CO, 4,5 g H₂ a 0,50 g CO₂. Vypočítajte mólové zlomky zložiek zmesi.

Riešenie:

Podľa (3.5) sú mólové zlomky definované pomocou látkových množstiev zložiek zmesi. Keďže poznáme hmotnosti jednotlivých zložiek, môžeme podľa (2.4) vypočítať ich látkové množstvá.

$$n(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{M(\text{CO})} = \frac{4,4 \text{ g}}{28,010 \text{ g mol}^{-1}} = 0,157 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{4,5 \text{ g}}{2,0158 \text{ g mol}^{-1}} = 2,23 \text{ mol}$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{0,50 \text{ g}}{44,010 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0114 \text{ mol}$$

$$n' = n(\text{CO}) + n(\text{H}_2) + n(\text{CO}_2) = 0,157 \text{ mol} + 2,23 \text{ mol} + 0,0114 \text{ mol} = 2,40 \text{ mol}$$

Po dosadení číselných hodnôt do (3.5) dostaneme

$$x(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})}{n'} = \frac{0,157 \text{ mol}}{2,40 \text{ mol}} = 0,065$$

$$x(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2)}{n'} = \frac{2,23 \text{ mol}}{2,40 \text{ mol}} = 0,93$$

$$x(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{n'} = \frac{0,0114 \text{ mol}}{2,40 \text{ mol}} = 0,0048$$

Súčet mólových zlomkov všetkých zložiek zmesi musí byť 1.

☑ Mólový zlomok oxidu uhoľnatého je 0,065, mólový zlomok vodíka je 0,93 a mólový zlomok oxidu uhličitého je 0,0048.

3.1.2 Vypočítajte mólové zlomky metanolu a etanolu v zmesi, ktorá vznikla zmiešaním 50,0 cm³ metanolu a 100 cm³ etanolu (teplota oboch látok bola 20 °C).

Riešenie:

Metanol ≡ M, etanol ≡ E. Podľa (3.5) sú mólové zlomky definované pomocou látkových množstiev zložiek zmesi. pomocou (2.4) a (2.5) vyjadríme látkové množstvá zložiek.

$$n(\text{M}) = \frac{m(\text{M})}{M(\text{M})} = \frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})} \qquad n(\text{E}) = \frac{m(\text{E})}{M(\text{E})} = \frac{V(\text{E}) \rho(\text{E})}{M(\text{E})}$$

Po dosadení do (3.5) dostaneme

$$x(\text{M}) = \frac{n(\text{M})}{n(\text{M}) + n(\text{E})} = \frac{\frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})}}{\frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})} + \frac{V(\text{E}) \rho(\text{E})}{M(\text{E})}} =$$

$$= \frac{\frac{50,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,7914 \text{ g cm}^{-3}}{32,04 \text{ g mol}^{-1}}}{\frac{50,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,7914 \text{ g cm}^{-3}}{32,04 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{100 \text{ cm}^3 \cdot 0,7893 \text{ g cm}^{-3}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}}} = \mathbf{0,419}$$

$$x(\text{E}) = \frac{n(\text{E})}{n(\text{M}) + n(\text{E})} = \frac{\frac{V(\text{E}) \rho(\text{E})}{M(\text{E})}}{\frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})} + \frac{V(\text{E}) \rho(\text{E})}{M(\text{E})}} =$$

$$= \frac{\frac{100 \text{ cm}^3 \cdot 0,7893 \text{ g cm}^{-3}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}}}{\frac{50,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,7914 \text{ g cm}^{-3}}{32,04 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{100 \text{ cm}^3 \cdot 0,7893 \text{ g cm}^{-3}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}}} = \mathbf{0,581}$$

Súčet mólových zlomkov všetkých zložiek zmesi musí byť 1.

☑ Mólový zlomok metanolu v zmesi je 0,419 a mólový zlomok etanolu v zmesi je 0,581.

3.1.3 Vypočítajte hmotnosť chloridu sodného a hmotnosť vody nachádzajúcich sa v 450 g 3,70 % roztoku.

Riešenie:

Nie je zrejmé, ktorej látke patria uvedené percentá. V prípade dvojzložkovej zmesi predpokladáme, že ide o látku rozpustenú (NaCl) v rozpúšťadle (H₂O). Takisto nie je uvedené, o aké percentá ide, tak predpokladáme, že o hmotnostné.

Z (3.2) a (3.3) vyplýva

$$m(\text{NaCl}) = m'w(\text{NaCl}) = 450 \text{ g} \cdot 0,0370 = \mathbf{16,7 \text{ g}}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m'w(\text{H}_2\text{O}) = 450 \text{ g} \cdot 0,9630 = \mathbf{433 \text{ g}}$$

alebo

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m' - m(\text{NaCl}) = 450 \text{ g} - 16,7 \text{ g} = \mathbf{433 \text{ g}}$$

☑ V roztoku sa nachádza 16,7 g chloridu sodného a 433 g vody.

3.1.4 Máme pripraviť 1650 g roztoku, v ktorom hmotnostný zlomok dusičnanu sodného $w(\text{NaNO}_3) = 0,1145$ a hmotnostný zlomok dusičnanu draselného $w(\text{KNO}_3) = 0,1785$. Vypočítajte hmotnosť jednotlivých zložiek potrebných na prípravu roztoku.

Riešenie:

Z (3.2) vyplýva

$$m(\text{NaNO}_3) = m'w(\text{NaNO}_3) = 1650 \text{ g} \cdot 0,1145 = \mathbf{188,9 \text{ g}}$$

$$m(\text{KNO}_3) = m'w(\text{KNO}_3) = 1650 \text{ g} \cdot 0,1785 = \mathbf{294,5 \text{ g}}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m' - m(\text{NaNO}_3) - m(\text{KNO}_3) = 1650 \text{ g} - 188,9 \text{ g} - 294,5 \text{ g} = \mathbf{1167 \text{ g}}$$

☑ Na prípravu roztoku treba 188,9 g dusičnanu sodného, 294,5 g dusičnanu draselného a 1167 g vody.

3.1.5 Hnojivo obsahuje 15,8 % dusíka. Vypočítajte hmotnosť hnojiva, ktoré treba zapracovať do pôdy, aby bolo účinných 17,0 kg dusíka. Straty pri zapracovaní sú 6,6 %.

Riešenie:

Z hmotnosti m' zapracovaného hnojiva bude v pôde účinná hmotnosť $(1 - 0,066)m'$. Hmotnosť $m(\text{N})$ účinného dusíka pritom bude

$$m(\text{N}) = [(1 - 0,066)m']w(\text{N}) = 17,0 \text{ kg}$$

Z tejto rovnice pre hmotnosť m' použitého hnojiva dostaneme

$$m' = \frac{m(\text{N})}{(1 - 0,066)w(\text{N})} = \frac{17,0 \text{ kg}}{0,934 \cdot 0,158} = \mathbf{115 \text{ kg}}$$

☑ Do pôdy treba zapracovať 115 kg hnojiva.

3.1.6 V uzavretej nádobe sa nachádza plynná zmes zložená z 1,24 mol oxidu uhoľnatého CO a 2,31 mol oxidu uhličitého CO₂. Vypočítajte zloženie zmesi v objemových zlomkoch, ak zmes pokladáme za ideálnu.

Riešenie:

Podľa (3.4) sú objemové zlomky definované pomocou objemov zložiek zmesi. Zároveň pre plyny platí (2.9). Skombinovaním týchto vzťahov pre ideálne plyny dostaneme

$$\varphi = \frac{V}{\sum_i V_i} = \frac{V_m n}{\sum_i V_m n_i} = \frac{n}{\sum_i n_i} = x$$

Pre ideálne plyny sú teda objemové a mólové zlomky jednotlivých zložiek zmesi rovnaké. Podľa odvodeného vzťahu potom platí:

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})}{n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2)} = \frac{1,24 \text{ mol}}{1,24 \text{ mol} + 2,31 \text{ mol}} = \mathbf{0,349}$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{CO}) + n(\text{CO}_2)} = \frac{2,31 \text{ mol}}{1,24 \text{ mol} + 2,31 \text{ mol}} = \mathbf{0,651}$$

Súčet objemových zlomkov všetkých zložiek ideálnej zmesi musí byť 1.

☑ Objemový zlomok oxidu uhoľnatého je 0,349 a objemový zlomok oxidu uhličitého je 0,651.

3.1.7 Vodný roztok chloridu draselného sa pripravil rozpustením 19,05 g KCl v presne 100 g vody. Vypočítajte objem vzniknutého roztoku.

Riešenie:

Podľa (3.7) platí

$$V' = \frac{m'}{\rho'} = \frac{m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O})}{\rho'}$$

Pretože nepoznáme zloženie roztoku, nemôžeme z tabuliek zistiť jeho hustotu. Z daných údajov však možno vypočítať hmotnostný zlomok.

$$w(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{19,05 \text{ g}}{(19,05 + 100) \text{ g}} = 0,1600$$

Z chemických tabuliek pre roztok KCl s $w(\text{KCl}) = 0,1600$ je hustota $\rho' = 1,1043 \text{ g cm}^{-3}$.
Potom

$$V' = \frac{m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O})}{\rho'} = \frac{19,05 \text{ g} + 100 \text{ g}}{1,1043 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{107,81 \text{ cm}^3}$$

☑ Objem pripraveného roztoku je 107,81 cm³.

3.1.8 Vypočítajte priemernú mólovú hmotnosť vzduchu pri teplote 18,0 °C a tlaku 103 kPa, ak hustota vzduchu je 1,244 kg m⁻³.

Riešenie:

Podľa (3.9)

$$\bar{M} = \frac{\rho'RT}{p} = \frac{1,244 \text{ kg m}^{-3} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 291,15 \text{ K}}{103 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = \mathbf{29,2 \text{ g mol}^{-1}}$$

☑ Priemerná mólová hmotnosť vzduchu pri daných podmienkach je 29,2 g mol⁻¹.

3.1.9 Vypočítajte priemernú mólovú hmotnosť zmesi benzénu a toluénu, v ktorej je mólový zlomok benzénu 0,250.

Riešenie:

Benzén ≡ B, toluén ≡ T. Podľa (3.3) pre túto dvojzložkovú zmes platí

$$x(\text{T}) = 1 - x(\text{B}) = 1 - 0,250 = 0,750$$

Podľa (3.8)

$$\bar{M} = M(\text{B})x(\text{B}) + M(\text{T})x(\text{T}) = 78,11 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,250 + 92,14 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,750 = \mathbf{88,6 \text{ g mol}^{-1}}$$

☑ Priemerná mólová hmotnosť zmesi je 88,6 g mol⁻¹.

Úlohy 3.7.1 až 3.7.20.

3.2 Vyjadrenie zloženia sústav pomocou koncentrácií

V laboratórnej, ale aj technologickej praxi sa často požaduje, aby bolo možné rýchlo vypočítať množstvo zložky, rozpustenej v určitom objeme roztoku. V takýchto prípadoch sa vyjadruje zloženie roztokov pomocou koncentrácií. Ak sa množstvo zložky vyjadří jej látkovým množstvom, vyjadrenie zloženia roztoku sa nazýva koncentrácia látkového množstva alebo iba koncentrácia. Ak sa množstvo zložky vyjadří jej hmotnosťou, vyjadrenie zloženia roztoku sa nazýva hmotnostná koncentrácia alebo parciálna hustota.

3.2.1 Koncentrácia látkového množstva

Koncentrácia látkového množstva c zložky je podiel látkového množstva n zložky a objemu sústavy V' .

$$c = \frac{n}{V'} \quad (3.10)$$

Pri používaní základnej jednotky mol m⁻³ v chemickej praxi by sme pracovali s veľkými číselnými hodnotami, preto sa používa jednotka mol dm⁻³ = 10³ mol m⁻³. Koncentrácia látkového množstva sa bežne označuje ako molarita a jednotka mol dm⁻³ má skratku M. Pri vyjadrovaní koncentrácie elektrolytov podľa (3.10) sa zanedbáva ich ionizácia (elektrolytická disociácia) pri rozpúšťaní. Ide o analytickú koncentráciu. Namiesto termínu analytická koncentrácia budeme používať len skrátenej názov koncentrácia. V literatúre sa často zavádza, najmä z rozmerových dôvodov, relatívna koncentrácia c_r zložky, ktorá sa

získa delením koncentrácie c štandardnou koncentráciou c^θ , teda $c_r = c / c^\theta$. Pre štandardnú koncentráciu c^θ sa volí hodnota $c^\theta = 1 \text{ mol dm}^{-3}$.

V chemickej praxi, kde sa pracuje s veľmi nízkymi koncentraciami, sa používa matematický operátor p , ktorý je definovaný ako záporný dekadický logaritmus

$$pZ = -\log Z \Leftrightarrow Z = 10^{-pZ} \quad (3.11)$$

kde Z je bezrozmerná veličina, napr. relatívna koncentrácia, rovnovážna konštanta alebo číselná hodnota veličiny.

Poznámka: V niektorých chemických odboroch, najmä v analytickej chémii, sa v staršej literatúre koncentrácia vyjadrovala normalitou c_n , ktorá je podielom valového množstva n_v (počtu gramekvivalentov tj. valov) zložky a objemu V' roztoku. Jednotkou normality je val dm^{-3} , so skratkou N. Normalita je v jednoduchom vzťahu s koncentraciou, lebo platí $c_n = \nu c$, kde ν má rozmer val mol^{-1} a závisí od chemického charakteru zložky a typu chemickej reakcie.

3.2.2 Hmotnostná koncentrácia

Hmotnostná koncentrácia ρ zložky je podiel hmotnosti m zložky a objemu sústavy V' .

$$\rho = \frac{m}{V'} \quad (3.12)$$

Jednotkou hmotnostnej koncentrácie je kg m^{-3} alebo kg dm^{-3} , príp. g cm^{-3} . Hmotnostná koncentrácia sa nazýva aj parciálna hustota. Súčet hmotnostných koncentrácií ρ všetkých zložiek sústavy sa rovná hustote ρ' roztoku.

$$\sum_i \rho_i = \frac{\sum_i m_i}{V'} = \frac{m'}{V'} = \rho' \quad (3.13)$$

Podľa vzťahov (3.2), (3.7) a (3.12) možno odvodiť, že pomer hmotnostnej koncentrácie ρ zložky a hustoty ρ' roztoku sa rovná hmotnostnému zlomku w zložky.

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{\frac{m}{V'}}{\frac{m'}{V'}} = \frac{m}{m'} = w \quad (3.14)$$

3.2.3 Riešené príklady

3.2.1 Roztok síranu draselného sa pripravil rozpustením 7,82 g K_2SO_4 vo vode a doplnení roztoku na objem 100 cm^3 . Vypočítajte koncentráciu síranu draselného v pripravenom roztoku.

Riešenie:

Podľa (3.10) a (2.4) platí

$$c(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_4)}{M(\text{K}_2\text{SO}_4)V'} = \frac{7,82 \text{ g}}{174,260 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,100 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,449 \text{ mol dm}^{-3}}$$

☑ Koncentrácia síranu draselného v pripravenom roztoku je $0,449 \text{ mol dm}^{-3}$.

3.2.2 Vypočítajte hmotnosť uhličitanu sodného, ktorá je potrebná na prípravu 500 cm³ roztoku s koncentráciou uhličitanu sodného presne 0,05 mol dm⁻³.

Riešenie:

Na₂CO₃ ≡ A. Podľa (2.4) a (3.10) platí

$$m(A) = c(A)V'M(A) = 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,500 \text{ dm}^3 \cdot 105,989 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{2,65 \text{ g}}$$

☑ Na prípravu roztoku je potrebných 2,65 g uhličitanu sodného.

3.2.3 Vypočítajte, aký objem roztoku kyseliny octovej s koncentráciou kyseliny octovej 0,150 mol dm⁻³ možno pripraviť zriedením 115 g 100 % kyseliny octovej.

Riešenie:

CH₃COOH ≡ A. Podľa (3.10) a (2.4) platí

$$V' = \frac{m(A)}{M(A)c(A)} = \frac{115 \text{ g}}{60,05 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,150 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{12,8 \text{ dm}^3}$$

☑ Zriedením 115 g kyseliny octovej možno pripraviť 12,8 dm³ roztoku.

3.2.4 Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu chloridu sodného v roztoku s hmotnostným zlomkom 0,060.

Riešenie:

Podľa (3.14) platí

$$\rho(\text{NaCl}) = w(\text{NaCl}) \rho' = 0,060 \cdot 1,0413 \text{ g cm}^{-3} = 0,062 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{62 \text{ g dm}^{-3}}$$

Hustota 6,0 % roztoku NaCl je z chemických tabuliek.

☑ Hmotnostná koncentrácia chloridu sodného v roztoku je 62 g dm⁻³.

Úlohy 3.7.21 až 3.7.35.

3.3 Vyjadrenia zloženia sústav iným spôsobom

3.3.1 Molalita

Molalita \underline{m} zložky je podiel látkového množstva n zložky a hmotnosti $m(S)$ rozpúšťadla (angl. *solvent* = rozpúšťadlo).

$$\underline{m} = \frac{n}{m(S)} \tag{3.15}$$

Jednotkou molality je mol kg⁻¹.

Poznámka: Zaujímavosťou je, že pre zložku, ktorú pokladáme za rozpúšťadlo (S), je molalita $\underline{m}(S)$ konštantná, rovná prevrátenej hodnote jej mólovej hmotnosti $M(S)$.

$$\underline{m}(S) = \frac{n(S)}{m(S)} = \frac{1}{M(S)}$$

3.3.2 Riešené príklady

3.3.1 Vypočítajte molalitu dichrómanu didraselného v roztoku, ktorý sa pripravil rozpustením 20,5 g $K_2Cr_2O_7$ v 150 g vody.

Riešenie:

$K_2Cr_2O_7 \equiv A$. Podľa (3.15) platí

$$\underline{m}(A) = \frac{n(A)}{m(H_2O)} = \frac{m(A)}{M(A)m(H_2O)} = \frac{20,5 \text{ g}}{294,1846 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,150 \text{ kg}} = \mathbf{0,465 \text{ mol kg}^{-1}}$$

☑ Molalita dichrómanu didraselného v pripravenom roztoku je $0,465 \text{ mol kg}^{-1}$.

3.3.2 Vypočítajte molalitu chloridu bárnateho v roztoku, ktorý sa pripravil rozpustením 4,50 g $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ v 250 g vody.

Riešenie:

$BaCl_2 \equiv A$. Podľa (3.15) je molalita definovaná pomocou hmotnosti rozpúšťadla. Do celkovej hmotnosti rozpúšťadla musíme v tomto prípade započítať aj hmotnosť $m^*(H_2O)$ vody obsiahnutej v $BaCl_2 \cdot 2H_2O$, ktorej hmotnostný zlomok $w^*(H_2O)$ v $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ podľa (3.21) je

$$w^*(H_2O) = \frac{2M(H_2O)}{M(A \cdot 2H_2O)} = \frac{2 \cdot 18,015 \text{ g mol}^{-1}}{244,264 \text{ g mol}^{-1}} = 0,147504$$

Potom podľa (3.2)

$$m^*(H_2O) = m(A \cdot 2H_2O) w^*(H_2O) = 4,50 \text{ g} \cdot 0,147504 = 0,6638 \text{ g}$$

a podľa (3.15)

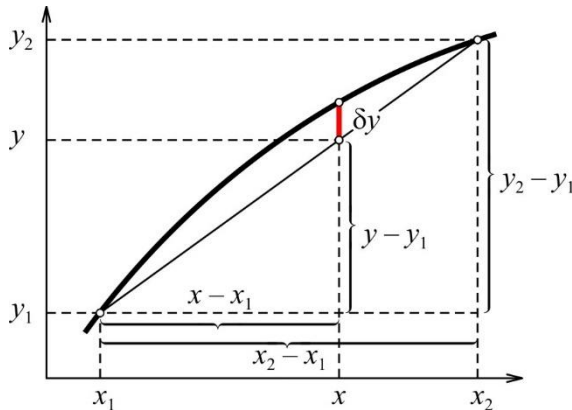
$$\begin{aligned} \underline{m}(A) &= \frac{n(A)}{m(H_2O) + m^*(H_2O)} = \frac{m(A \cdot 2H_2O)}{M(A \cdot 2H_2O) [m(H_2O) + m^*(H_2O)]} = \\ &= \frac{4,50 \text{ g}}{244,264 \text{ g mol}^{-1} \cdot (250,0 \text{ g} + 0,6638 \text{ g})} = 7,35 \cdot 10^{-5} \text{ mol g}^{-1} = \mathbf{0,0735 \text{ mol kg}^{-1}} \end{aligned}$$

☑ Molalita chloridu bárnateho v pripravenom roztoku je $0,0735 \text{ mol kg}^{-1}$.

Úlohy 3.7.36 až 3.7.38.

3.4 Lineárna interpolácia

Hlavnou úlohou interpolácie je pomocou vhodnej funkcie $y = f(x)$ určiť neznámu hodnotu závislej premennej y pre ľubovoľnú hodnotu nezávislej premennej x . Pri lineárnej interpolácii predpokladáme, že krátky úsek závislosti medzi známymi bodmi (x_1, y_1) a (x_2, y_2) predstavuje časť priamky (obrázok). Hodnota δy je chyba, ktorej sa pri tom dopustíme. Je zrejmé, že čím je rozdiel medzi x_1 a x_2 menší, tým menšia bude aj chyba pri interpolácii.



Ak $x_1 < x < x_2$, z podobnosti trojuholníkov na obrázku vyplýva

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{x - x_1} \quad (3.16)$$

Potom hľadaná hodnota y pre zvolené x sa vypočíta zo vzťahu

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (3.17)$$

Ak sa hodnota x nachádza v strede medzi x_1 a x_2 , tj. $x_2 - x_1 = 2(x - x_1)$, potom hľadaná hodnota y je aritmetickým priemerom známych hodnôt y_1 a y_2 .

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{2(x - x_1)} (x - x_1) = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{2} = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

3.4.1 Riešené príklady

3.4.1 Vodný roztok síranu sodného sa pripravil rozpustením 2,625 g Na_2SO_4 v takom množstve vody, že pripravený roztok mal hmotnostný zlomok síranu sodného 0,1105. Vypočítajte objem vzniknutého roztoku.

Riešenie:

Podľa (3.2) vypočítame hmotnosť m' pripraveného roztoku z hmotnosti m a hmotnostného zlomku w síranu sodného.

$$m' = \frac{m}{w} = \frac{2,625 \text{ g}}{0,1105} = 23,76 \text{ g}$$

Pre hodnotu $w = 0,1105$ nie je v tabuľkách uvedená hustota ρ' . Pri predpoklade lineárnej závislosti hustoty ρ' roztoku (závislej premennej) od zloženia roztoku, vyjadreného napr. hmotnostným zlomkom w (nezávislej premennej), možno ľahko určiť hustotu vo vnútri intervalu. Poznáme hustotu pri nižšom hmotnostnom zlomku ($w_1 = 0,1000$, $\rho_1' = 1,0905 \text{ g cm}^{-3}$) a hustotu pri vyššom hmotnostnom zlomku ($w_2 = 0,1200$, $\rho_2' = 1,1101 \text{ g cm}^{-3}$). Hodnotu ρ' pre daný w , ležiaci medzi w_1 a w_2 , vypočítame podľa vzťahu (3.17).

$$\begin{aligned}\rho' &= \rho_1' + \frac{\rho_2' - \rho_1'}{w_2 - w_1} (w - w_1) = \\ &= 1,0905 \text{ g cm}^{-3} + \frac{(1,1101 - 1,0905) \text{ g cm}^{-3}}{0,1200 - 0,1000} \cdot (0,1105 - 0,1000) = 1,1008 \text{ g cm}^{-3}\end{aligned}$$

Podľa (3.7) potom

$$V' = \frac{m'}{\rho'} = \frac{23,76 \text{ g}}{1,1008 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{21,58 \text{ cm}^3}$$

☑ Objem vzniknutého roztoku síranu sodného je $21,58 \text{ cm}^3$.

3.5 Prepočty veličín vyjadrujúcich zloženie zmesi

V bežnej praxi musíme často prepočítať jednu veličinu vyjadrujúcu zloženie zmesi na inú. Pri takýchto prepočtoch vychádzame z definícií príslušných veličín. Odvozené prepočítavacie vzťahy uvádza nasledujúca konverzná tabuľka.

Tabuľka 3.1 Vzťahy medzi veličinami vyjadrujúcimi zloženie zmesí. S je rozpúšťadlo (angl. *solvent*).

	w	φ	x	$\underline{\rho}$	c	\underline{m}
w	=	$w = \frac{\varphi\rho}{\sum_i \varphi_i \rho_i} = \frac{\varphi\rho}{\rho'}$	$w = \frac{xM}{\bar{M}}$	$w = \frac{\rho}{\rho'}$	$w = \frac{cM}{\rho'}$	$w = \frac{mM}{\bar{M} \sum_i m_i}$
φ	$\varphi = \frac{w\rho'}{\rho}$	=	$\varphi = \frac{xM\rho'}{\rho\bar{M}}$	$\varphi = \frac{\rho}{\rho'}$	$\varphi = \frac{cM}{\rho}$	$\varphi = \frac{mM\rho'}{\rho\bar{M} \sum_i m_i}$
x	$x = \frac{w\bar{M}}{M}$	$x = \frac{\varphi\rho\bar{M}}{M\rho'}$	=	$x = \frac{\rho\bar{M}}{\rho'M}$	$x = \frac{c}{\sum_i c_i}$	$x = \frac{m}{\sum_i m_i}$
$\underline{\rho}$	$\underline{\rho} = w\rho'$	$\underline{\rho} = \varphi\rho$	$\underline{\rho} = \frac{xM\rho'}{\bar{M}}$	=	$\underline{\rho} = cM$	$\underline{\rho} = \underline{m}M \rho_S$
c	$c = \frac{w\rho'}{M}$	$c = \frac{\varphi\rho}{M}$	$c = \frac{x\rho'}{\bar{M}}$	$c = \frac{\rho}{M}$	=	$c = \frac{m\rho'}{\bar{M} \sum_i m_i}$
\underline{m}	$\underline{m} = \frac{w}{Mw_S}$	$\underline{m} = \frac{\varphi\rho}{M\varphi_S\rho_S}$	$\underline{m} = \frac{x}{M_Sx_S}$	$\underline{m} = \frac{\rho}{M\rho_S}$	$\underline{m} = \frac{c}{\rho' - \sum_{i \neq S} c_i M_i}$	=
\bar{M}	$\bar{M} = \frac{1}{\sum_i \frac{w_i}{M_i}}$	$\bar{M} = \frac{\sum_i \varphi_i \rho_i}{\sum_i \frac{\varphi_i \rho_i}{M_i}} = \frac{\rho'}{\sum_i \frac{\varphi_i \rho_i}{M_i}}$	$\bar{M} = \sum_i x_i M_i$	$\bar{M} = \frac{\sum_i \rho_i}{\sum_i \frac{\rho_i}{M_i}} = \frac{\rho'}{\sum_i \frac{\rho_i}{M_i}}$	$\bar{M} = \frac{\sum_i c_i M_i}{\sum_i c_i}$	$\bar{M} = \frac{\sum_i m_i M_i}{\sum_i m_i}$

Hustota roztoku $\rho' = \sum_i \varphi_i \rho_i = \sum_i \rho_i$

3.5.1 Riešené príklady

3.5.1 V kyseline chlorovodíkovej je hmotnostný zlomok chlorovodíka 0,1245. Vypočítajte jeho koncentráciu.

Riešenie:

Treba urobiť prepočet $w \rightarrow c$. Podľa (3.10), (2.4), (3.7) a (3.2) platí

$$c = \frac{n}{V'} = \frac{m\rho'}{Mm'} = \frac{w\rho'}{M}$$

Poznámka: Keďže v praxi sú hmotnostný zlomok w a koncentrácia c najbežnejšími spôsobmi vyjadrenia zloženia roztokov, je odvodený ľahko zapamätateľný vzťah ($cM = w\rho'$) na prepočet $w \rightarrow c$ a $c \rightarrow w$ veľmi dôležitý.

Hustota roztoku pre hmotnostný zlomok $w = 0,1245$ nie je v tabuľkách uvedená, musíme ju vypočítať interpoláciou podľa (3.17).

$$\begin{aligned}\rho' &= \rho'_1 + \frac{\rho'_2 - \rho'_1}{w_2 - w_1} (w - w_1) = \\ &= 1,0576 \text{ g cm}^{-3} + \frac{(1,0626 - 1,0576) \text{ g cm}^{-3}}{0,1300 - 0,1200} \cdot (0,1245 - 0,1200) = 1,0599 \text{ g cm}^{-3}\end{aligned}$$

Potom hľadaná koncentrácia chlorovodíka je

$$c = \frac{w\rho'}{M} = \frac{0,1245 \cdot 1,0599 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}}{36,461 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{3,619 \text{ mol dm}^{-3}}$$

V niektorých tabuľkách je pre daný hmotnostný zlomok uvedená aj koncentrácia. V takom prípade môžeme hľadanú koncentráciu vypočítať interpoláciou priamo.

$$\begin{aligned}c &= c_1 + \frac{c_2 - c_1}{w_2 - w_1} (w - w_1) = \\ &= 3,481 \text{ mol dm}^{-3} + \frac{(3,789 - 3,481) \text{ mol dm}^{-3}}{0,1300 - 0,1200} \cdot (0,1245 - 0,1200) = \mathbf{3,619 \text{ mol dm}^{-3}}\end{aligned}$$

☑ Koncentrácia chlorovodíka je rovná $3,619 \text{ mol dm}^{-3}$.

3.5.2 Vypočítajte hmotnostné zlomky oxidu uhoľnatého, vodíka a oxidu uhličitého vo vodnom plyne, ak ich mólové zlomky sú: $x(\text{CO}) = 0,067$, $x(\text{H}_2) = 0,92$ a $x(\text{CO}_2) = 0,0050$. Vodný plyn obsahuje aj vodnú paru.

Riešenie:

Treba urobiť prepočet $x \rightarrow w$. Podľa (3.2) sú hmotnostné zlomky definované pomocou hmotností zložiek zmesi. Použitím (2.4), (3.5) a (3.8) dostaneme

$$w = \frac{m}{\sum_i m_i} = \frac{nM}{\sum_i n_i M_i} = \frac{n'xM}{\sum_i n'x_i M_i} = \frac{xM}{\bar{M}}$$

Keďže vodný plyn obsahuje aj vodnú paru, podľa (3.6) jej mólový zlomok je

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x(\text{CO}) - x(\text{H}_2) - x(\text{CO}_2) = 1 - 0,067 - 0,92 - 0,0050 = 0,008$$

Priemerná mólová hmotnosť \bar{M} zmesi je

$$\begin{aligned}\bar{M} &= x(\text{CO})M(\text{CO}) + x(\text{H}_2)M(\text{H}_2) + x(\text{CO}_2)M(\text{CO}_2) + x(\text{H}_2\text{O})M(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 0,067 \cdot 28,010 \text{ g mol}^{-1} + 0,92 \cdot 2,0158 \text{ g mol}^{-1} + 0,0050 \cdot 44,010 \text{ g mol}^{-1} + 0,008 \cdot \\ &\quad 18,0152 \text{ g mol}^{-1} = 4,10 \text{ g mol}^{-1}\end{aligned}$$

Potom podľa hmotnostné zlomky jednotlivých zložiek zmesi sú

$$w(\text{CO}) = \frac{x(\text{CO})M(\text{CO})}{\bar{M}} = \frac{0,067 \cdot 28,010 \text{ g mol}^{-1}}{4,10 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,46}$$

$$w(\text{H}_2) = \frac{x(\text{H}_2)M(\text{H}_2)}{\bar{M}} = \frac{0,92 \cdot 2,0158 \text{ g mol}^{-1}}{4,10 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,45}$$

$$w(\text{CO}_2) = \frac{x(\text{CO}_2)M(\text{CO}_2)}{\bar{M}} = \frac{0,0050 \cdot 44,010 \text{ g mol}^{-1}}{4,10 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,054}$$

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{x(\text{H}_2\text{O})M(\text{H}_2\text{O})}{\bar{M}} = \frac{0,008 \cdot 18,015 \text{ g mol}^{-1}}{4,10 \text{ g mol}^{-1}} = 0,035$$

Súčet mólových zlomkov všetkých zložiek zmesi musí byť 1.

☑ Vodný plyn má zloženie $w(\text{CO}) = 0,46$, $w(\text{H}_2) = 0,45$ a $w(\text{CO}_2) = 0,054$.

3.5.3 Vo vodnom roztoku má kyselina sírová hmotnostný zlomok 0,35. Vypočítajte koncentráciu a molalitu kyseliny sírovej v tomto roztoku.

Riešenie:

Treba urobiť prepočty $w \rightarrow c$ a $w \rightarrow \underline{m}$. Podľa (3.10), (3.7), (2.4) a (3.2) platí

$$c = \frac{n}{V'} = \frac{m\rho'}{Mm'} = \frac{w\rho'}{M}$$

Hustota roztoku pre hmotnostný zlomok $w = 0,35$ nie je v tabuľkách uvedená, musíme ju vypočítať interpoláciou podľa (3.17). Pretože hodnota $w = 0,35$ leží v strede medzi hodnotami $w_1 = 0,34$ a $w_2 = 0,36$, môžeme neznámu hustotu ρ' vypočítať pomocou aritmetického priemeru

$$\rho' = \frac{\rho'_1 + \rho'_2}{2} = \frac{1,2685 \text{ g cm}^{-3} + 1,2518 \text{ g cm}^{-3}}{2} = 1,2602 \text{ g cm}^{-3}$$

$$c = \frac{w\rho'}{M} = \frac{0,35 \cdot 1,2602 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}}{98,079 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{4,5 \text{ mol dm}^{-3}}$$

a podľa (3.15) pre dvojzložkovú zmes platí

$$\underline{m} = \frac{n}{m(\text{S})} = \frac{m}{Mm(\text{S})} = \frac{w}{Mw(\text{S})} = \frac{0,35}{98,079 \text{ g mol}^{-1} \cdot (1 - 0,35)} = \mathbf{5,5 \text{ mol kg}^{-1}}$$

☑ V roztoku je koncentrácia $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,5 \text{ mol dm}^{-3}$ a molalita $\underline{m}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,5 \text{ mol kg}^{-1}$.

Úlohy 3.7.39 až 3.7.44.

3.6 Stechiometrický vzorec

Stechiometrický (empirický, sumárny) vzorec je usporiadaný súbor symbolov prvkov s číselnými koeficientmi, vyjadrujúcimi najjednoduchší pomer látkových množstiev zlúčených prvkov. Udáva stechiometrické zloženie zlúčeniny, ktoré je určené najmenšími celými číslami. Tento vzorec nevyjadruje skutočný počet atómov jednotlivých prvkov v molekule zlúčeniny, preto sa zvykne zapisovať v zložených zátvorkách. **Molekulový vzorec** udáva nielen pomer, ale skutočný počet atómov v molekule. Na jeho odvodenie je potrebné stanoviť mólovú hmotnosť danej látky. Molekulový vzorec je buď totožný so stechiometrickým vzorcom alebo je jeho celočíselným násobkom. Napr. stechiometrický vzorec oxidu fosforečného je $\{\text{P}_2\text{O}_5\}$, kým jeho molekulový vzorec je P_4O_{10} alebo peroxid vodíka s molekulovým vzorcom H_2O_2 má stechiometrický vzorec $\{\text{HO}\}$.

Ak je stechiometrický vzorec zlúčeniny $\{\text{A}_a\text{B}_b\text{C}_c\dots\}$, pre koeficienty a, b, c, \dots platí

$$a : b : c \dots = n(\text{A}) : n(\text{B}) : n(\text{C}) \dots \quad (3.18)$$

Výpočet stechiometrického vzorca z obsahu jednotlivých zložiek

Stechiometrický vzorec zlúčeniny môžeme odvodiť zo známeho obsahu jednotlivých prvkov stanoveného kvantitatívnym rozborom určitej zlúčeniny. Výsledky analýz sa uvádzajú v jednotkách hmotnosti alebo v hmotnostných percentách. Aby podľa týchto údajov bolo možné vypočítať stechiometrické zloženie zlúčeniny, treba údaje o hmotnosti, príp. hmotnostných zlomkov jednotlivých prvkov prepočítať na látkové množstvá. Pre látkové množstvá prvkov v zlúčenine so stechiometrickým vzorcom $\{\text{A}_a\text{B}_b\text{C}_c\dots\}$ podľa (2.4) platí

$$n(\text{A}) = \frac{m(\text{A})}{M(\text{A})} \quad n(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})} \quad n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} \dots$$

Po dosadení do (3.18)

$$a : b : c \dots = \frac{m(\text{A})}{M(\text{A})} : \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})} : \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} \dots \quad (3.19)$$

Ak poznáme hmotnostné zlomky prvkov, z ktorých sa zlúčenina skladá, podľa (3.2) platí

$$m(\text{A}) = w(\text{A})m(\{\text{A}_a\text{B}_b\text{C}_c\dots\}) \quad m(\text{B}) = w(\text{B})m(\{\text{A}_a\text{B}_b\text{C}_c\dots\}) \quad m(\text{C}) = w(\text{C})m(\{\text{A}_a\text{B}_b\text{C}_c\dots\})$$

...

Po dosadení do vzťahu (3.19) a po úprave dostaneme

$$a : b : c \dots = \frac{w(\text{A})}{M(\text{A})} : \frac{w(\text{B})}{M(\text{B})} : \frac{w(\text{C})}{M(\text{C})} \dots \quad (3.20)$$

Symbole A, B, C, ... môžu byť aj skupiny atómov, napr. voda, oxid prvku, viacatómový anión. Potom vieme podobným spôsobom vypočítať napr. počet mólov vody vo vzorcoch kryštallohydrátoch alebo počet oxidov prvku vo vzorci minerálu.

Poznámka: Keďže zlomky w / M , vystupujúce v odvodenom vzťahu (3.20), nie sú bezrozmerné, je praktickejšie pri výpočtoch používať namiesto mólových hmotností relatívne atómové alebo molekulové hmotnosti, ktoré sú bezrozmerné. Odvodený vzťah (3.20) teda možno zapísať v tvare

$$a : b : c \dots = \frac{w(A)}{M_r(A)} : \frac{w(B)}{M_r(B)} : \frac{w(C)}{M_r(C)} \dots$$

Keďže molekulový vzorec $A_{ka}B_{kb}C_{kc}\dots$ je celočíselným k -násobkom stechiometrického vzorca $\{A_aB_bC_c\dots\}$, môžeme molekulový vzorec odvodiť zo známej mólovej hmotnosti látky, pretože

$$k = \frac{M(A_{ka}B_{kb}C_{kc}\dots)}{M(\{A_aB_bC_c\dots\})}$$

Výpočet obsahu jednotlivých zložiek z chemického vzorca

Ak poznáme molekulový alebo stechiometrický vzorec zlúčeniny, môžeme vypočítať zastúpenie jednotlivých zložiek v tejto zlúčenine. Z chemického vzorca zlúčeniny $A_aB_bC_c\dots$ vyplýva, že 1 mól tejto zlúčeniny obsahuje a mólov zložky A, b mólov zložky B, c mólov zložky C,...

$$n(A) = a n(A_aB_bC_c\dots) \quad n(B) = b n(A_aB_bC_c\dots) \quad n(C) = c n(A_aB_bC_c\dots) \dots$$

Pre hmotnostné zlomky jednotlivých zložiek v tejto zlúčenine teda platí

$$\begin{aligned} w(A) &= \frac{m(A)}{m(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{n(A)M(A)}{n(A_aB_bC_c\dots)M(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{aM(A)}{M(A_aB_bC_c\dots)} \\ w(B) &= \frac{m(B)}{m(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{n(B)M(B)}{n(A_aB_bC_c\dots)M(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{bM(B)}{M(A_aB_bC_c\dots)} \\ w(C) &= \frac{m(C)}{m(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{n(C)M(C)}{n(A_aB_bC_c\dots)M(A_aB_bC_c\dots)} = \frac{cM(C)}{M(A_aB_bC_c\dots)} \\ &\dots \end{aligned} \tag{3.21}$$

3.6.1 Riešené príklady

3.6.1 Chemickou analýzou neznámej zlúčeniny sa zistil hmotnostný zlomok draslíka 0,2658, chrómu 0,3535 a kyslíka 0,3807. Vypočítajte stechiometrický vzorec zlúčeniny.

Riešenie:

Ak má neznáma zlúčenina stechiometrický vzorec $\{K_aCr_bO_c\}$, potom pomer a, b, c zistíme podľa (3.20)

$$\begin{aligned} a : b : c &= \frac{w(K)}{A_r(K)} : \frac{w(Cr)}{A_r(Cr)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{0,2658}{39,0983} : \frac{0,3535}{51,9961} : \frac{0,3807}{15,9994} = \\ &= 6,7982 \cdot 10^{-3} : 6,7986 \cdot 10^{-3} : 2,3795 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Všetky tri získané čísla vydělíme najmenším z nich, čím dostaneme

$$a : b : c = \frac{6,7982 \cdot 10^{-3}}{6,7982 \cdot 10^{-3}} : \frac{6,7986 \cdot 10^{-3}}{6,7982 \cdot 10^{-3}} : \frac{2,3795 \cdot 10^{-2}}{6,7982 \cdot 10^{-3}} \approx 1 : 1 : 3,5$$

Keďže koeficienty a , b , c majú byť celé čísla, vynásobíme získane koeficienty číslom 2.

$$a : b : c \approx 2 : 2 : 7$$

☑ Zlúčenina má stechiometrický vzorec $\{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\}$.

3.6.2 Vypočítajte hmotnostný zlomok vody v pentahydráte síranu meďnatého $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Riešenie:

Podľa (3.21) platí

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{5 \cdot 18,015 \text{ g mol}^{-1}}{249,685 \text{ g mol}^{-1}} = 0,36075$$

☑ Hmotnostný zlomok vody v pentahydráte síranu meďnatého je 0,36075.

3.6.3 Analýzou neznámeho minerálu bolo zistené, že obsahuje 11,82 % oxidu sodného, 19,43 % oxidu hlinitého a 68,75 % oxidu kremičitého. Určte jeho stechiometrický vzorec.

Riešenie:

Ak má neznáma zlúčenina stechiometrický vzorec $\{(\text{Na}_2\text{O})_a(\text{Al}_2\text{O}_3)_b(\text{SiO}_2)_c\}$, potom pomer a , b , c zistíme podľa (3.20).

$$a : b : c = \frac{w(\text{Na}_2\text{O})}{M_r(\text{Na}_2\text{O})} : \frac{w(\text{Al}_2\text{O}_3)}{M_r(\text{Al}_2\text{O}_3)} : \frac{w(\text{SiO}_2)}{M_r(\text{SiO}_2)} = \frac{0,1182}{61,979} : \frac{0,1943}{101,961} : \frac{0,6875}{60,085} =$$

$$= 1,907 \cdot 10^{-3} : 1,906 \cdot 10^{-3} : 1,144 \cdot 10^{-2}$$

Všetky tri získané čísla vydělíme najmenším z nich, čím dostaneme

$$a : b : c = \frac{1,907 \cdot 10^{-3}}{1,906 \cdot 10^{-3}} : \frac{1,906 \cdot 10^{-3}}{1,906 \cdot 10^{-3}} : \frac{1,144 \cdot 10^{-2}}{1,906 \cdot 10^{-3}} \approx 1:1:6$$

☑ Stechiometrický vzorec minerálu je $\{(\text{Na}_2\text{O})(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{SiO}_2)_6\}$ alebo $\{\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\}$, keďže indexy majú byť najmenšie celé čísla.

3.6.4 Analýzou plynnej zlúčeniny sa zistilo, že obsahuje 92,3 % uhlíka a 7,73 % vodíka. V plynnom skupenstve 3,734 g zlúčeniny pri teplote 50 °C a tlaku 103,3 kPa zaberá objem 3,730 dm³. Určte molekulový vzorec zlúčeniny.

Riešenie:

Ak má neznáma zlúčenina molekulový vzorec $\text{C}_{ka}\text{H}_{kb}$, a teda stechiometrický vzorec $\{\text{C}_a\text{H}_b\}$, potom pomer a , b zistíme podľa (3.20).

$$a : b = \frac{w(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{A_r(\text{H})} = \frac{92,3 \%}{12,011} : \frac{7,73 \%}{1,0079} = 7,68 : 7,67$$

Obidve získané čísla vydáme menším z nich, čím dostaneme

$$a : b \approx 1 : 1$$

Stechiometrický vzorec zlúčeniny je teda $\{\text{CH}\}$, ktorému zodpovedá mólová hmotnosť $M(\{\text{CH}\}) = 13,019 \text{ g mol}^{-1}$. Zo stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8) však vyplýva

$$M(\text{C}_{ka}\text{H}_{kb}) = \frac{mRT}{pV} = \frac{3,734 \text{ g} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 323,15 \text{ K}}{103300 \text{ Pa} \cdot 0,003730 \text{ m}^3} = 26,04 \text{ g mol}^{-1}$$

$$k = M(\text{C}_{ka}\text{H}_{kb}) : M(\{\text{CH}\}) = 26,04 \text{ g mol}^{-1} : 13,019 \text{ g mol}^{-1} = 2$$

Molekulový vzorec zlúčeniny je teda dvojnásobkom jej stechiometrického vzorca, tj. C_2H_2 .

■ Molekulový vzorec zlúčeniny je C_2H_2 .

Úlohy 3.7.45 až 3.7.48.

3.7 Úlohy

3.7.1 Rozpuštením 12,5 g CoCl_2 v 375 g etanolu sa pripravil roztok. Vypočítajte mólové zlomky chloridu kobaltnatého a etanolu v pripravenom roztoku.

$$[x(\text{CoCl}_2) = 0,0117, x(\text{etanol}) = 0,988]$$

3.7.2 Zmes plynov obsahuje 4,032 g divodíka, 42,02 g oxidu uhoľnatého a 59,61 g amoniaku. Vypočítajte mólové zlomky zložiek v zmesi.

$$[x(\text{H}_2) = 0,2857, x(\text{CO}) = 0,2143, x(\text{NH}_3) = 0,5000]$$

3.7.3 Vypočítajte objem chloroformu CHCl_3 a objem chloridu uhličitého CCl_4 , ktorý obsahuje 600 cm^3 roztoku s objemovým zlomkom $\varphi(\text{CHCl}_3) = 0,35$.

$$[V(\text{CHCl}_3) = 210 \text{ cm}^3, V(\text{CCl}_4) = 390 \text{ cm}^3]$$

3.7.4 Chceme pripraviť 500 cm^3 roztoku zmesi metanolu a etanolu, v ktorom je objemový zlomok etanolu $\varphi(\text{etanol}) = 0,39$. Vypočítajte objem metanolu a objem etanolu, ktoré potrebujeme na prípravu roztoku.

$$[V(\text{metanol}) = 305 \text{ cm}^3, V(\text{etanol}) = 195 \text{ cm}^3]$$

3.7.5 Vzduch obsahuje 78 obj. % dusíka, 21 obj. % kyslíka a 1,0 obj. % argónu. Vypočítajte látkové množstvá jednotlivých plynov v 1 m^3 pri teplote 25 °C a tlaku 101,325 kPa.

$$[n(\text{N}_2) = 32 \text{ mol}, n(\text{O}_2) = 8,6 \text{ mol}, n(\text{Ar}) = 0,41 \text{ mol}]$$

3.7.6 Roztok síranu sodného sa pripravil rozpustením 19,3 g síranu sodného Na_2SO_4 v 84,5 g vody. Vypočítajte hmotnostný zlomok síranu sodného v pripravenom roztoku.

$$[w = 0,186]$$

3.7.7 Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú obsahuje 1341 g 17,0 % vodný roztok chloridu sodného.

$$[m = 1113 \text{ g}]$$

3.7.8 Treba pripraviť 343 g 21,5 % vodného roztoku chloridu amónneho. Vypočítajte hmotnosť chloridu amónneho potrebnú na prípravu roztoku.

$$[m = 73,7 \text{ g}]$$

3.7.9 Treba pripraviť 0,34 kg vodného roztoku hydroxidu sodného s hmotnostným zlomkom $w(\text{NaOH}) = 0,15$. Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného potrebnú na prípravu roztoku.

$$[m = 51 \text{ g}]$$

3.7.10 Vodný roztok chlorečnanu draselného sa pripravil rozpustením 5,81 g KClO_3 v 100 g vody. Vypočítajte hmotnostný zlomok chlorečnanu draselného a hmotnostný zlomok vody v pripravenom roztoku.

$$[w(\text{KClO}_3) = 0,0549, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,945]$$

3.7.11 Roztok dusičnanu sodného sa pripravil

a) rozpustením 25 g dusičnanu sodného NaNO_3 v 125 g vody,

b) rozpustením 25 g dusičnanu sodného NaNO_3 a 25 g dusičnanu draselného KNO_3 v 100 g vody. Vypočítajte hmotnostný zlomok dusičnanu sodného NaNO_3 v oboch roztokoch.

$$[a) w = 0,17; b) w = 0,17]$$

3.7.12 Roztok dusičnanu draselného sa pripravil rozpustením

a) 15 g dusičnanu draselného KNO_3 v 150 g vody,

b) 15 g dusičnanu draselného KNO_3 v 300 g vody,

c) 30 g dusičnanu draselného KNO_3 v 350 g vody,

d) 15 g dusičnanu draselného KNO_3 a 15 g dusičnanu sodného NaNO_3 v 135 g vody,

e) 30 g dusičnanu draselného KNO_3 a 10 g dusičnanu sodného NaNO_3 v 340 g vody.

Vypočítajte hmotnostné zlomky dusičnanu draselného a vody v jednotlivých roztokoch.

$$[a) w(\text{KNO}_3) = 0,091, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,91; b) w(\text{KNO}_3) = 0,048, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,95; c) w(\text{KNO}_3) = 0,079, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,92; d) w(\text{KNO}_3) = 0,091, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,82; e) w(\text{KNO}_3) = 0,079, w(\text{H}_2\text{O}) = 0,89]$$

3.7.13 Vypočítajte hmotnostný zlomok síranu draselného $w(\text{K}_2\text{SO}_4)$ v roztoku, ktorý sa pripraví rozpustením 3,75 g K_2SO_4 v 150 g roztoku s obsahom 4,50 g K_2SO_4 .

$$[w = 0,0537]$$

3.7.14 K 300 g vodného roztoku, ktorý obsahoval 12,0 % chloridu draselného a 11,0 % chloridu sodného sa pridalo 20,0 g chloridu draselného. Vypočítajte hmotnostné zlomky chloridu draselného a chloridu sodného v roztoku po úprave.

$$[w(\text{KCl}) = 0,175, w(\text{NaCl}) = 0,103]$$

3.7.15 K 450 g vodného roztoku, ktorý obsahoval 10,0 g KBr a 20,0 g NaBr sa pridalo 15,0 g KBr a 10,0 g NaBr . Vypočítajte hmotnostné zlomky bromidu draselného a bromidu sodného v pripravenom roztoku.

$$[w(\text{KBr}) = 0,0526, w(\text{NaBr}) = 0,0632]$$

3.7.16 Zo 400 g vodného roztoku, v ktorom bol hmotnostný zlomok dusičnanu draselného $w(\text{KNO}_3) = 0,105$ sa odparilo 105 g vody. Vypočítajte hmotnostný zlomok dusičnanu draselného v roztoku po odparení vody.

$$[w = 0,142]$$

3.7.17 Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba pridať k 145 g roztoku chloridu sodného s $w(\text{NaCl}) = 0,225$, aby vznikol roztok s hmotnostným zlomkom $w(\text{NaCl}) = 0,125$.

$$[m = 116 \text{ g}]$$

3.7.18 Zlúčeniny gália sú prímiesou minerálu sfaleritu (ZnS), ktorý obsahuje 0,0330 % gália. Vypočítajte hmotnosť sfaleritu, ktorý treba spracovať, aby sa získalo 1,50 kg gália. Straty gália v procese výroby sú 15,0 %.

$$[m = 5,35 \cdot 10^3 \text{ kg}]$$

3.7.19 Zmes dvoch plynov obsahuje 50 mol % CO a má priemernú mólovú hmotnosť $36,01 \text{ g mol}^{-1}$. Vypočítajte mólovú hmotnosť druhého plynu v zmesi a zistite podľa tabuliek, o aký plyn ide.

$$[M = 44,01 \text{ g mol}^{-1}, \text{CO}_2]$$

3.7.20 Vypočítajte priemernú mólovú hmotnosť zmesi metanolu a etanolu, ktorá vznikla zmiešaním $500,0 \text{ cm}^3$ metanolu a $500,0 \text{ cm}^3$ etanolu pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$[\bar{M} = 37,77 \text{ g mol}^{-1}]$$

3.7.21 Máme roztok chloridu bárnatého s koncentráciou $c(\text{BaCl}_2) = 2,15 \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte hmotnosť chloridu bárnatého, ktorú obsahuje $83,0 \text{ cm}^3$ tohto roztoku.

$$[m = 37,2 \text{ g}]$$

3.7.22 Vypočítajte koncentráciu dusičnanu strieborného AgNO_3 v roztoku, ktorého $35,5 \text{ cm}^3$ obsahuje 2,45 g AgNO_3 .

$$[c = 0,406 \text{ mol dm}^{-3}]$$

3.7.23 Roztok, ktorý obsahoval presne 1 mol látky v 500 cm^3 , sa zriedil štvornásobne. Aká je koncentrácia zriedeného roztoku?

$$[c = 0,500 \text{ mol dm}^{-3}]$$

3.7.24 Technický hydroxid draselný obsahuje 94 % KOH . Vypočítajte hmotnosť technického hydroxidu draselného potrebného na prípravu $0,35 \text{ dm}^3$ roztoku KOH s koncentráciou $c(\text{KOH}) = 2,5 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[m = 52 \text{ g}]$$

3.7.25 Roztok tiosíranu sodného obsahuje 12,0 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ v 100 g roztoku. Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ v tomto roztoku.

$$[\rho = 132 \text{ g dm}^{-3}]$$

3.7.26 Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu chloridu nikelnatého v roztoku, ktorý obsahuje 0,0831 mol NiCl_2 v 155 cm^3 roztoku.

$$[\rho = 69,5 \text{ g dm}^{-3}]$$

3.7.27 Hmotnostná koncentrácia uhličitanu sodného je $64,3 \text{ g dm}^{-3}$. Vypočítajte hmotnosť $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ potrebnú na prípravu $0,455 \text{ dm}^3$ tohto roztoku.

$$[m = 79,0 \text{ g}]$$

3.7.28 Máme 96,0 % roztok kyseliny sírovej. Vypočítajte hmotnosť 155 cm³ tohto roztoku.
[$m' = 285$ g]

3.7.29 Vypočítajte objem 315 g 35,0 % kyseliny chlorovodíkovej.
[$V' = 268$ cm³]

3.7.30 Treba pripraviť 450 g roztoku hydroxidu sodného, ktorého hustota má byť 1,1530 g cm⁻³. Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného a hmotnosť vody, potrebných na prípravu roztoku.
[$m(\text{NaOH}) = 63,0$ g, $m(\text{H}_2\text{O}) = 387$ g]

3.7.31 Vypočítajte látkové množstvo kyseliny dusičnej, ktoré obsahuje 1755 cm³ roztoku kyseliny dusičnej, ak hustota tohto roztoku je 1,1150 g cm⁻³.
[$n = 6,209$ mol]

3.7.32 Roztok v objeme 160 cm³ obsahuje 21,0 g hydroxidu vápenatého Ca(OH)₂. Vypočítajte koncentráciu roztoku hydroxidu vápenatého.
[$c = 1,77$ mol dm⁻³]

3.7.33 Vypočítajte koncentráciu kyseliny dusičnej v roztoku s pH = 1.
[$c = 0,1$ mol dm⁻³]

3.7.34 Vypočítajte hmotnosť chloridu cézneho, ktorý je rozpustený v 1 litri roztoku s pCl = 2,50.
[$m = 0,532$ g]

3.7.35 Vypočítajte hmotnosť hydroxidu draselného, ktorú treba rozpustiť tak, aby objem roztoku bol 500 cm³ a pH = 12.
[$m = 0,281$ g]

3.7.36 Vypočítajte molalitu síranu draselného v roztoku, ak sa v 250,0 g vody rozpustilo 14,78 g K₂SO₄.
[$\underline{m} = 0,339$ mol kg⁻¹]

3.7.37 Vodný roztok kyseliny dusičnej má $\underline{m}(\text{HNO}_3) = 0,135$ mol kg⁻¹. Vypočítajte hmotnosť čistej kyseliny dusičnej, ktorá je rozpustená v 500 g rozpúšťadla.
[$m = 4,25$ g]

3.7.38 Treba pripraviť 2,00 kg roztoku hydroxidu sodného s molalitou $\underline{m}(\text{NaOH}) = 3,70$ mol kg⁻¹. Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného a hmotnosť vody potrebných na prípravu roztoku.
[$m(\text{NaOH}) = 300$ g, $m(\text{H}_2\text{O}) = 1700$ g]

3.7.39 Hydroxid sodný má v roztoku koncentráciu $c(\text{NaOH}) = 3,467$ mol dm⁻³. Vypočítajte hmotnostný zlomok NaOH v roztoku.
[$w = 0,1223$]

3.7.40 Vypočítajte koncentráciu chloridu draselného v roztoku s $w(\text{KCl}) = 0,1328$.

$[c = 1,934 \text{ mol dm}^{-3}]$

3.7.41 Roztok kyseliny dusičnej má koncentráciu $c(\text{HNO}_3) = 4,21 \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte hmotnostný zlomok a molalitu daného roztoku.

$[w = 0,233, \underline{m} = 4,83 \text{ mol kg}^{-1}]$

3.7.42 Vypočítajte molalitu a koncentráciu roztoku uhličitanu draselného s hmotnostným zlomkom $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,2800$.

$[\underline{m} = 2,814 \text{ mol kg}^{-1}, c = 2,584 \text{ mol dm}^{-3}]$

3.7.43 Molalita roztoku kyseliny dusičnej je $\underline{m}(\text{HNO}_3) = 6,964 \text{ mol kg}^{-1}$. Vypočítajte koncentráciu a hmotnostný zlomok tohto roztoku.

$[c = 5,727 \text{ mol dm}^{-3}, w = 0,3050]$

3.7.44 Roztok síranu meďnatého sa pripravil rozpustením 34,8 g modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ v 350,0 g vody. Vypočítajte hmotnostný zlomok, koncentráciu a molalitu síranu meďnatého v pripravenom roztoku.

$[w = 0,0578, c = 0,381 \text{ mol dm}^{-3}, \underline{m} = 0,384 \text{ mol kg}^{-1}]$

3.7.45 Chemickou analýzou určitej zlúčeniny sa zistilo, že obsahuje 32,36 % sodíka, 22,58 % síry a 45,06 % kyslíka. Určte stechiometrický vzorec zlúčeniny.

$[\{\text{Na}_2\text{SO}_4\}]$

3.7.46 Vypočítajte hmotnostný zlomok

a) H_2O v $\text{CrK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

b) CoSO_4 v $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

c) Na, Al a F v Na_3AlF_6

d) SiO_2 v anortite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

$[a) w = 0,4329; b) w = 0,5514; c) w(\text{Na}) = 0,3286, w(\text{Al}) = 0,1285, w(\text{F}) = 0,5430; d) w = 0,4319]$

3.7.47 Analýzou minerálu kaolinitu sa zistilo, že obsahuje 39,50 % oxidu hlinitého, 46,52 % oxidu kremičitého a 13,95 % vody. Určte jeho stechiometrický vzorec.

$[\{(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{SiO}_2)_2(\text{H}_2\text{O})\} \text{ alebo } \{\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5\}]$

3.7.48 Analýzou plynnej zlúčeniny sa zistilo, že obsahuje 12,13 % uhlíka, 16,17 % kyslíka a 71,70 % chlóru. Hustota tejto látky pri teplote 0°C a tlaku 101,0 kPa je $4,4133 \text{ g dm}^{-3}$. Vypočítajte molekulový vzorec zlúčeniny.

$[\text{COCl}_2]$

4 LÁTKOVÉ BILANCIE BEZ CHEMICKÉHO DEJA

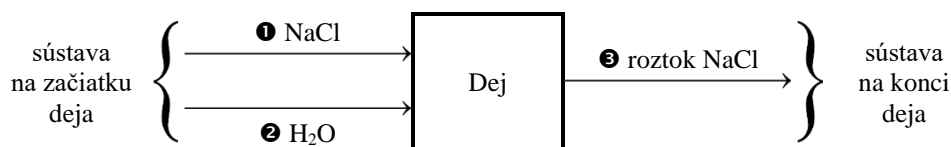
V sústavách, v ktorých neprebiehajú chemické premeny látok, ale len fyzikálne deje (rozpúšťanie látok, zmiešavanie roztokov, odparovanie rozpúšťadla z roztoku, kryštalizácia,...), sa množstvá jednotlivých zložiek nemenia. Matematickým vyjadrením tejto skutočnosti sú **rovnice látkových bilancií**. Tieto rovnice možno pre každú zložku v sústave zapísať v tvare

$$\boxed{\text{množstvo zložky na začiatku deja}} = \boxed{\text{množstvo zložky na konci deja}} \quad (4.1)$$

Ak uvedený vzťah platí pre každú zložku sústavy, platí aj pre celkové množstvo látok v sústave.

$$\boxed{\text{celkové množstvo látok na začiatku deja}} = \boxed{\text{celkové množstvo látok na konci deja}} \quad (4.2)$$

Pre osvojenie si praktických výpočtov je výhodné graficky zobrazit' sústavu, v ktorej prebieha určitý dej (napr. ako obdĺžnik), pričom na ľavej strane sa vyznačia látky alebo ich zmesi vstupujúce do deja a na pravej strane látky alebo ich zmesi, ktoré získame po skončení deja. Napr. ak sa roztok pripraví rozpúšťaním tuhého chloridu sodného vo vode, bude mať **bilančné schéma** vzhľad:



Poznámka: Jednotlivé vstupujúce a vystupujúce látky alebo ich zmesi musia byť očíslované. Dolný index pri symboloch veličín znamená číslo vstupujúcej alebo vystupujúcej látky alebo zmesi, nie číslo zložky. Veličiny charakterizujúce zmesi nebudeme v tejto kapitole označovať čiarkou ('), napr. hmotnosť vzniknutého roztoku bude označená m_3 a hmotnosť zložky NaCl v tomto roztoku bude označená $m_3(\text{NaCl})$.

Poznámka: V ďalších kapitolách, po zvládnutí základného aparátu bilancií, už bude možné schému zjednodušiť a neuvádzať v nej látky, ale použiť ju len ako grafické zobrazenie bilancie deja. Potom sa v schéme zvyknú uvádzať už len množstvá látok a zmesí, príp. ich zloženie. V tejto kapitole sa schéma dôsledne stotožňuje so sústavou, v ktorej prebieha daný dej uvedený v obdĺžniku.

Množstvo látok alebo ich zmesí možno v rovniciach látkovej bilancie (4.1) a (4.2) vyjadriť ľubovoľným spôsobom vyjadrovania množstva čistej látky (kap. 2) a sústavy (kap. 3). Rovnice (4.1) v prípade hmotností zložiek A, B,... sústavy budú mať tvar

$$\sum_{i=1}^k m_i(\text{A}) = \sum_{j=k+1}^l m_j(\text{A})$$

$$\sum_{i=1}^k m_i(\text{B}) = \sum_{j=k+1}^l m_j(\text{B})$$

...

(4.3)

Rovnica (4.2) pre celkové množstvo látok v sústave je potom súčtom jednotlivých rovníc (4.1) pre všetky zložky sústavy,

$$\sum_{i=1}^k [m_i(\text{A}) + m_i(\text{B}) + \dots] = \sum_{j=k+1}^l [m_j(\text{A}) + m_j(\text{B}) + \dots]$$

$$\sum_{i=1}^k m_i = \sum_{j=k+1}^l m_j$$
(4.4)

prícom v súlade so schémou m_i je hmotnosť i -tej zmesi látok vstupujúcej do sústavy, m_j je hmotnosť j -tej zmesi látok vystupujúcej zo sústavy a $m_i(\text{A})$, príp. $m_j(\text{A})$ sú hmotnosti látky A v i -tej, príp. j -tej zmesi látok, k je počet zmesí látok vstupujúcich do sústavy a $l - k$ je počet zmesí získaných zo sústavy po skončení deja.

V prípade vyjadrenia množstva látky látkovým množstvom budú mať rovnice (4.1) a (4.2) tvar

$$\sum_{i=1}^k n_i(\text{A}) = \sum_{j=k+1}^l n_j(\text{A})$$
(4.5)

$$\sum_{i=1}^k n_i = \sum_{j=k+1}^l n_j$$
(4.6)

Vyjadrenie množstva látky počtom častíc sa v praktickej chémii používa zriedkavo (presnejšie povedané nepriamo cez látkové množstvo), a preto príslušný tvar rovníc (4.1) a (4.2) ani neuvádzame. Množstvo látky sa v bežnej praxi často (najmä v prípade plynov a kvapalín) vyjadruje ich objemom. Bilancie pomocou objemu však možno využiť len za predpokladu ideálneho správania kvapalín a plynov. Vtedy totiž platí podmienka aditivity objemov, tj. že pri zmiešavaní zmesí látok nedochádza k zmenám objemu a výsledný objem je súčtom objemov jednotlivých zmesí. Potom platí

$$\sum_{i=1}^k V_i(\text{A}) = \sum_{j=k+1}^l V_j(\text{A})$$
(4.7)

$$\sum_{i=1}^k V_i = \sum_{j=k+1}^l V_j$$
(4.8)

Rovnice (4.3) až (4.8) sú rovnice látkových bilancií a výpočty na ich základe sa často skráteno označujú ako **látkové bilancie**.

Pre príklad prípravy roztoku soli, uvedený v úvode kapitoly, budú mať rovnice látkovej bilancie (4.3) nasledujúci tvar

$$\text{Bilancia NaCl:} \quad m_1(\text{NaCl}) + m_2(\text{NaCl}) = m_3(\text{NaCl})$$

$$\text{Bilancia H}_2\text{O:} \quad m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{H}_2\text{O}) = m_3(\text{H}_2\text{O})$$

Sčítaním týchto rovníc dostaneme celkovú bilanciu (4.4):

$$[m_1(\text{NaCl}) + m_1(\text{H}_2\text{O})] + [m_2(\text{NaCl}) + m_2(\text{H}_2\text{O})] = [m_3(\text{NaCl}) + m_3(\text{H}_2\text{O})]$$

$$\text{Celková bilancia:} \quad m_1 + m_2 = m_3$$

Pri bilancii množstva jednotlivých látok sa využívajú jednotlivé spôsoby vyjadrovania zloženia sústav uvedené v predchádzajúcej časti. Napr. pri bilancii hmotností látok je vhodné vyjadrovať množstvo jednotlivých látok pomocou hmotnostných zlomkov:

$$w_i(\text{A}) = \frac{m_i(\text{A})}{m_i} \quad w_i(\text{B}) = \frac{m_i(\text{B})}{m_i} \quad \dots \quad (4.9)$$

Po dosadení uvedených vzťahov do rovníc (4.3) dostaneme rovnice látkových bilancií, ktoré nazývame aj **hmotnostnú zmiešavacie rovnice** pre zložky A, B,... v tvare

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k m_i w_i(\text{A}) &= \sum_{j=k+1}^l m_j w_j(\text{A}) \\ \sum_{i=1}^k m_i w_i(\text{B}) &= \sum_{j=k+1}^l m_j w_j(\text{B}) \\ &\dots \end{aligned} \quad (4.10)$$

Sčítaním týchto rovníc a využitím vzťahu (3.3) dostaneme opäť celkovú bilanciu.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k m_i [w_i(\text{A}) + w_i(\text{B}) + \dots] &= \sum_{j=k+1}^l m_j [w_j(\text{A}) + w_j(\text{B}) + \dots] \\ \sum_{i=1}^k m_i &= \sum_{j=k+1}^l m_j \end{aligned} \quad (4.11)$$

Pre príklad prípravy roztoku soli, uvedený v úvode kapitoly, budú mať rovnice látkovej bilancie (4.3) nasledujúci tvar

$$\text{Bilancia NaCl:} \quad m_1 w_1(\text{NaCl}) + m_2 w_2(\text{NaCl}) = m_3 w_3(\text{NaCl})$$

$$\text{Bilancia H}_2\text{O:} \quad m_1 w_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2 w_2(\text{H}_2\text{O}) = m_3 w_3(\text{H}_2\text{O})$$

Sčítaním týchto rovníc dostaneme opäť celkovú bilanciu (4.4):

$$m_1[w_1(\text{NaCl}) + w_1(\text{H}_2\text{O})] + m_2[w_2(\text{NaCl}) + w_2(\text{H}_2\text{O})] = m_3[w_3(\text{NaCl}) + w_3(\text{H}_2\text{O})]$$

$$\text{Celková bilancia:} \quad m_1 + m_2 = m_3$$

Z uvedených troch bilančných rovníc vyplýva, že len dve z nich sú nezávislé, takže pre výpočty možno použiť len niektorú dvojicu rovníc (napr. tretia rovnica je súčtom prvých dvoch, druhá rovnica je rozdielom tretej a prvej rovnice a prvá rovnica je rozdielom tretej

a druhej rovnice). Táto skutočnosť spôsobuje, že pre dvojzložkovú sústavu možno vypočítať len dve neznáme veličiny. Obvykle sa pre výpočty využíva celková bilancia a bilancia rozpustenej látky, ale nič nebráni použiť aj bilanciú rozpúšťadla.

Všeobecne, pre sústavu, ktorá obsahuje z zložiek, možno zapísať z lineárne nezávislých rovníc látkovej bilancie. Ich riešením možno vypočítať z neznámych premenných. Ak je týchto z zložiek sústavy rozdelených do l zmesí, na úplný popis sústavy treba lz číselných údajov. V zadaní úlohy teda treba poznať $lz - z = z(l - 1)$ údajov, ktoré musia byť navzájom nezávislé.

Množstvo jednotlivých látok možno vyjadriť aj pomocou koncentrácií:

$$c_i(\text{A}) = \frac{n_i(\text{A})}{V_i} \quad c_i(\text{B}) = \frac{n_i(\text{B})}{V_i} \quad \dots \quad (4.12)$$

Po dosadení uvedených vzťahov do rovníc (4.5) dostaneme rovnice látkových bilancií, ktoré nazývame aj **koncentračné zmiešavacie rovnice** pre zložky A, B,... v tvare

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k V_i c_i(\text{A}) &= \sum_{j=k+1}^l V_j c_j(\text{A}) \\ \sum_{i=1}^k V_i c_i(\text{B}) &= \sum_{j=k+1}^l V_j c_j(\text{B}) \\ &\dots \end{aligned} \quad (4.13)$$

Podobne možno vyjadrovať množstvo jednotlivých látok pomocou mólových zlomkov:

$$x_i(\text{A}) = \frac{n_i(\text{A})}{n_i} \quad x_i(\text{B}) = \frac{n_i(\text{B})}{n_i} \quad \dots \quad (4.14)$$

Po dosadení uvedených vzťahov do rovníc (4.5) dostaneme rovnice látkových bilancií, ktoré nazývame aj **koncentračné zmiešavacie rovnice** pre zložky A, B,... v tvare

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k n_i x_i(\text{A}) &= \sum_{j=k+1}^l n_j x_j(\text{A}) \\ \sum_{i=1}^k n_i x_i(\text{B}) &= \sum_{j=k+1}^l n_j x_j(\text{B}) \\ &\dots \end{aligned} \quad (4.15)$$

4.1 Príprava roztokov

Výpočty potrebné pri príprave roztokov sú najrozšírenejšou aplikáciou rovníc látkových bilancií. Roztoky možno vo všeobecnosti pripravovať

- zmiešaním čistých látok – rozpúšťadla a rozpúšťanej látky,
- zmiešaním roztokov rôzneho zloženia,
- zriedovaním koncentrovanejších roztokov,
- zvyšovaním obsahu rozpustenej látky v roztoku pridaním látky alebo odparením časti rozpúšťadla.

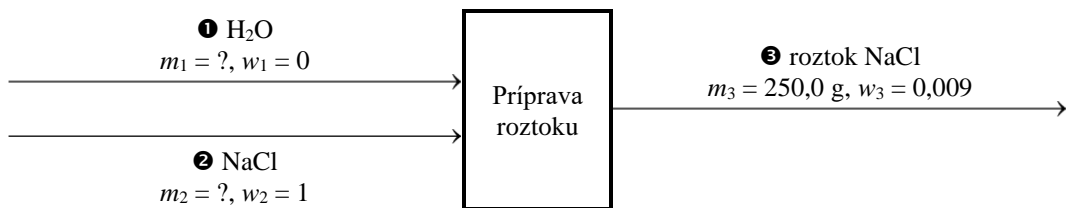
4.1.1 Riešené príklady

4.1.1 Vypočítajte, aké množstvo chloridu sodného a vody je treba na prípravu 250,0 g 0,9 % (presne) roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať rozpustenú látku (NaCl), takže namiesto $w_i(\text{NaCl})$ môžeme písať len w_i .

Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať 2 . (3 - 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme w_1, w_2, m_3, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Rovnica bilancie NaCl má tvar

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 , pričom obidve máme vypočítať. Po vyjadrení jednej z nich, napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NaCl dostaneme

$$(m_3 - m_2)w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_1) = m_3(w_3 - w_1)$$
$$m_2 = \frac{m_3(w_3 - w_1)}{w_2 - w_1} = \frac{250,0 \text{ g} \cdot (0,009 - 0)}{1 - 0} = \mathbf{2,250 \text{ g}}$$

Po dosadení do prvej rovnice a úprave dostaneme hmotnosť m_1 .

$$m_1 = m_3 - m_2 = 250,0 \text{ g} - 2,250 \text{ g} = \mathbf{247,8 \text{ g}}$$

☑ Na prípravu 250,0 g 0,9 % roztoku NaCl treba 2,250 g NaCl a 247,8 g vody.

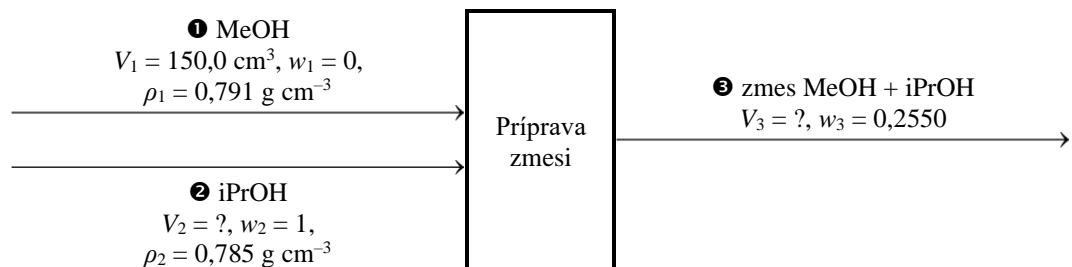
4.1.2 Vypočítajte objem izopropanolu (2-propanolu), ktorý treba zmiešať so 150,0 cm³ metanolu, aby sa získal roztok, v ktorom $w(\text{iPrOH}) = 0,2550$.

Riešenie:

Izopropanol (2-propanol) \equiv iPrOH, metanol \equiv MeOH.

Budeme bilancovať napr. iPrOH, takže namiesto $w_i(\text{iPrOH})$ môžeme písať len w_i .

Túto prípravu zmesi znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebuje poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme V_1 , w_1 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Keďže zloženie výslednej zmesi je určené hmotnostným zlomkom je výhodné bilancovať hmotnosti látok a tie potom prepočítať na objem pomocou hustôt. Podľa chemických tabuliek je hustota metanolu $\rho_1 = 0,791 \text{ g cm}^{-3}$ a hustota izopropanolu je $\rho_2 = 0,785 \text{ g cm}^{-3}$. Pre hmotnosť metanolu platí

$$m_1 = V_1 \rho_1 = 150,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,791 \text{ g cm}^{-3} = 118,65 \text{ g}$$

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Rovnica bilancie iPrOH má tvar

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po dosadení m_3 z celkovej bilancie do bilancie iPrOH dostaneme

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = (m_1 + m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2 (w_2 - w_3) = m_1 (w_3 - w_1)$$

$$m_2 = \frac{m_1 (w_3 - w_1)}{w_2 - w_3} = \frac{118,65 \text{ g} \cdot (0,2550 - 0)}{1 - 0,2550} = 40,61 \text{ g}$$

Po prepočítaní na objem pomocou hustoty dostaneme

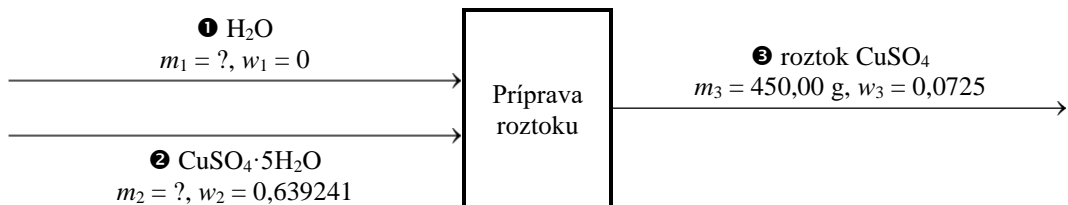
$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{40,61 \text{ g}}{0,785 \text{ g cm}^{-3}} = 51,7 \text{ cm}^3$$

☑ Aby sa získal roztok požadovaného zloženia treba zmiešať $51,7 \text{ cm}^3$ izopropanolu a $150,0 \text{ cm}^3$ metanolu.

4.1.3 Vypočítajte, aké množstvo vody a pentahydrátu síranu meďnatého je treba na prípravu $450,00 \text{ g}$ $7,25 \%$ roztoku síranu meďnatého.

Riešenie:

Budeme bilancovať CuSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{CuSO}_4)$ môžeme písať len w_i . Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok síranu meďnatého v pentahydráte síranu meďnatého vypočítame podľa (3.21).

$$w_2 = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{159,609 \text{ g mol}^{-1}}{249,685 \text{ g mol}^{-1}} = 0,639241$$

Potrebujeme poznať 2. (3 - 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme w_1 , w_2 , m_3 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Rovnica bilancie CuSO_4 má tvar

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 , pričom obidve máme vypočítať. Po vyjadrení jednej z nich, napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_3 - m_2)w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_1) = m_3(w_3 - w_1)$$

$$m_2 = \frac{m_3(w_3 - w_1)}{w_2 - w_1} = \frac{450,00 \text{ g} \cdot (0,0725 - 0)}{0,639241 - 0} = \mathbf{51,0 \text{ g}}$$

Po dosadení do prvej rovnice a úprave dostaneme hmotnosť m_1 .

$$m_1 = m_3 - m_2 = 450,00 \text{ g} - 51,04 \text{ g} = \mathbf{399,0 \text{ g}}$$

❑ Na prípravu roztoku je treba 51,0 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 399,0 g vody.

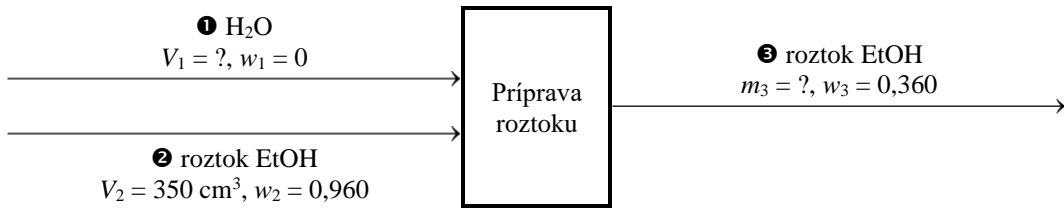
4.1.4 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať k 350 cm³ vodného roztoku etanolu (EtOH), v ktorom $w(\text{EtOH}) = 0,960$, aby sa získal roztok s $w(\text{EtOH}) = 0,360$. Zmiešavanie vody s etanolom nie je ideálne. Pre zaujímavosť vypočítajte zmenu objemu pri tomto zmiešavaní pri teplote 20 °C.

Riešenie:

Etanol \equiv EtOH.

Budeme bilancovať EtOH, takže namiesto $w_i(\text{EtOH})$ môžeme písať len w_i .

Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme V_1 , w_1, w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Hmotnosť 96,0 % etanolu sa vypočíta pomocou hustoty z tabuliek

$$m_1 = V_1 \rho_1 = 350 \text{ cm}^3 \cdot 0,8013 \text{ g cm}^{-3} = 280,4 \text{ g}$$

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Rovnica bilancie EtOH má tvar

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_3 , pričom m_1 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie EtOH dostaneme

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = (m_1 + m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_1 .

$$m_1(w_1 - w_3) = m_2(w_3 - w_2)$$

$$m_1 = \frac{m_2(w_3 - w_2)}{w_1 - w_3} = \frac{280,4 \text{ g} \cdot (0,360 - 0,960)}{0 - 0,360} = \mathbf{467,3 \text{ g}}$$

Pre objem vody V_1 po prepočítaní pomocou hustoty z tabuliek platí

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{467,3 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{468 \text{ cm}^3}$$

Pre celkovú hmotnosť roztoku po zmiešaní potom platí

$$m_3 = m_1 + m_2 = 280,4 \text{ g} + 467,3 \text{ g} = 747,7 \text{ g}$$

Na základe tabuľkovej hustoty pre 36,0 % etanol dostaneme pre objem

$$V_3 = \frac{m_3}{\rho_3} = \frac{747,7 \text{ g}}{0,9431 \text{ g cm}^{-3}} = 792,8 \text{ cm}^3$$

Hypotetický objem V_3^* 36,0 % etanolu pre ideálne zmiešanie je súčtom objemov.

$$V_3^* = V_1 + V_2 = 468,1 \text{ cm}^3 + 350 \text{ cm}^3 = 818,1 \text{ cm}^3$$

Pre objemovú zmenu platí

$$\Delta V_3 = V_3 - V_3^* = 792,8 \text{ cm}^3 - 818,1 \text{ cm}^3 = \mathbf{-25 \text{ cm}^3}$$
 (objemová kontrakcia)

čo voči ideálnemu výslednému objemu V_3^* predstavuje

$$\frac{\Delta V_3}{V_3^*} = \frac{-25,3 \text{ cm}^3}{818,1 \text{ cm}^3} = -0,031 = -3,1 \%$$

Poznámka: Objemová kontrakcia ($\Delta V < 0$) a objemová dilatácia ($\Delta V > 0$) majú v praxi nezanedbateľný význam, predovšetkým vo veľkokapacitných prevádzkach. Pre zmenu objemu vyjadrenú v percentách voči ideálnemu zmiešavaniu možno odvodiť vzťah

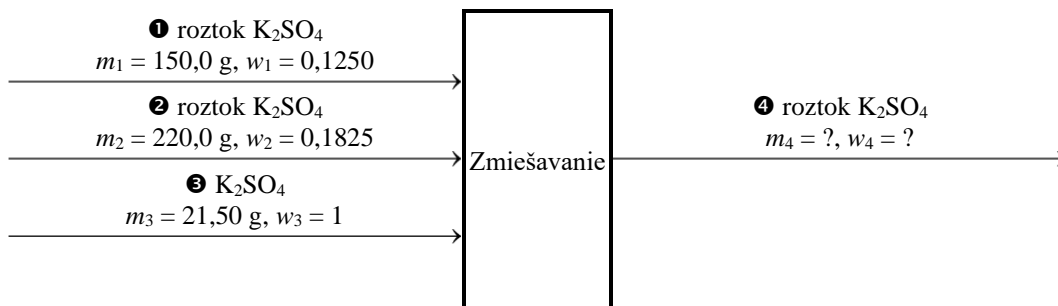
$$\text{percentuálna zmena objemu} = \frac{\Delta V_3}{V_3^*} = \frac{V_3 - V_3^*}{V_3^*} = \frac{V_3}{V_3^*} - 1 = \left[\frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{\rho_3 (V_1 + V_2)} - 1 \right] \cdot 100 \%$$

☑ Na zriedenie etanolu potrebujeme 468 cm³ vody. Objemová kontrakcia je 25 cm³.

4.1.5 Vypočítajte množstvo a zloženie roztoku síranu draselného, ktorý sa získa zmiešaním 150,0 g 12,50 % roztoku K₂SO₄ so 220,0 g 18,25 % roztoku a pridaním 21,50 g K₂SO₄.

Riešenie:

Budeme bilancovať K₂SO₄, takže namiesto $w_i(\text{K}_2\text{SO}_4)$ môžeme písať len w_i . Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať 2 · (4 – 1) = 6 údajov. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , m_2 , w_2 , m_3 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4$$

Rovnica bilancie K₂SO₄ má tvar

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 + m_3 w_3 = m_4 w_4$$

Z celkovej bilancie vieme priamo vypočítať m_4 .

$$m_4 = m_1 + m_2 + m_3 = 150,0 \text{ g} + 220,0 \text{ g} + 21,50 \text{ g} = \mathbf{391,5 \text{ g}}$$

Dosadením m_4 do bilancie EtOH po úprave dostaneme

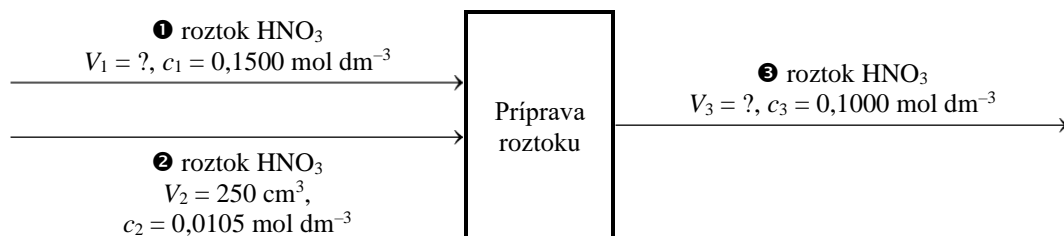
$$w_4 = \frac{m_1 w_1 + m_2 w_2 + m_3 w_3}{m_4} = \frac{150,0 \text{ g} \cdot 0,1250 + 220,0 \text{ g} \cdot 0,1825 + 21,50 \text{ g} \cdot 1}{391,5 \text{ g}} = \mathbf{0,2054}$$

☑ Po zmiešaní sa získa 391,5 g 20,54 % roztoku K₂SO₄.

4.1.6 Vypočítajte, aké množstvo kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,1500 \text{ mol dm}^{-3}$ je treba pridať k presne 250 cm^3 roztoku kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,0105 \text{ mol dm}^{-3}$, aby sa získal roztok s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$. Zmiešavanie týchto roztokov možno považovať za ideálne.

Riešenie:

Budeme bilancovať HNO_3 , takže namiesto $c_i(\text{HNO}_3)$ môžeme písať len c_i . Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať $2 \cdot (3 - 1) = 4$ údaje. Zo zadania poznáme c_1, V_2, c_2, c_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Zo zadania, v ktorom je zloženie roztokov vyjadrené koncentráciou, vyplýva, že najvýhodnejšie bude pri bilancovaní použiť koncentračnú zmiešavaciu rovnicu.

Rovnica celkovej bilancie má tvar

$$V_1 + V_2 = V_3$$

Rovnica bilancie HNO_3 má podľa (4.13) tvar

$$V_1c_1 + V_2c_2 = V_3c_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych V_1 a V_3 , pričom V_1 máme vypočítať. Po dosadení V_3 z celkovej bilancie do bilancie HNO_3 dostaneme

$$V_1c_1 + V_2c_2 = (V_1 + V_2)c_3$$

a úpravou dostaneme hľadaný objem V_1 .

$$V_1(c_1 - c_3) = V_2(c_3 - c_2)$$

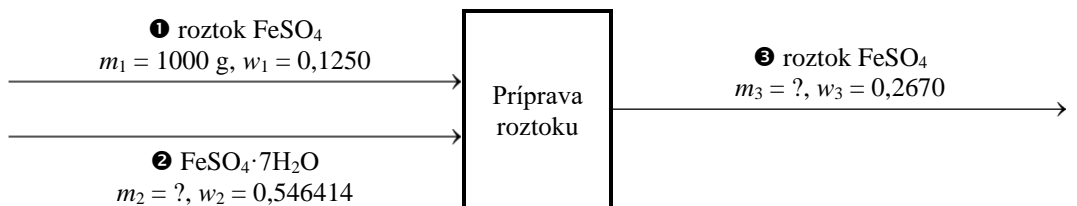
$$V_1 = \frac{V_2(c_3 - c_2)}{c_1 - c_3} = \frac{0,250 \text{ dm}^3 \cdot (0,1000 - 0,0105) \text{ mol dm}^{-3}}{(0,1500 - 0,1000) \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{0,448 \text{ dm}^3}$$

☑ Na prípravu roztoku je treba $0,448 \text{ dm}^3$ roztoku HNO_3 s $c(\text{HNO}_3) = 0,1500 \text{ mol dm}^{-3}$.

4.1.7 Vypočítajte, aké množstvo zelenej skalice $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ je potrebné pridať ku 1000 g $12,50 \%$ roztoku síranu železnatého, aby sa získal roztok nasýtený pri $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosť je $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 26,7 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať FeSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{FeSO}_4)$ môžeme písať len w_i . Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky FeSO_4 vypočítame zo zadaných rozpustností podľa definície hmotnostného zlomku (3.2)

$$w_3 = \frac{26,7 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0,2670$$

$$w_2 = \frac{M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,913 \text{ g mol}^{-1}}{278,018 \text{ g mol}^{-1}} = 0,546414$$

Potrebujeme poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie FeSO_4 majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po dosadení m_3 z celkovej bilancie do bilancie FeSO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = (m_1 + m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_3 - w_1)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_3 - w_1)}{w_2 - w_3} = \frac{1000 \text{ g} \cdot (0,267 - 0,1250)}{(0,5464 - 0,267)} = \mathbf{508 \text{ g}}$$

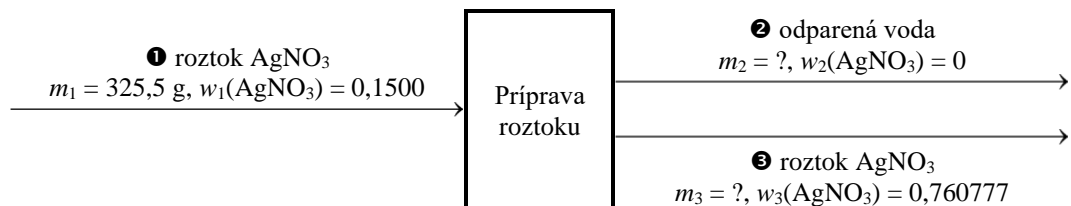
☑ K roztoku FeSO_4 je treba pridať 508 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

4.1.8 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 325,5 g roztoku dusičnanu strieborného, v ktorom $w(\text{AgNO}_3) = 0,1500$, aby sa získal roztok nasýtený pri 40 °C. Rozpustnosť AgNO_3 je $s(40 \text{ °C}) = 318,02 \text{ g AgNO}_3$ na 100,0 g H_2O .

Riešenie:

Budeme bilancovať AgNO_3 , takže namiesto $w_i(\text{AgNO}_3)$ môžeme písať len w_i .

Na rozdiel od všetkých doteraz uvedených príkladov sa pri odparovaní rozpúšťadla z roztoku určitého zloženia získa nový roztok. Tento dej znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Pre zloženie nasýteného roztoku AgNO_3 zo zadanej rozpustnosti dostaneme

$$w_3 = \frac{318,02 \text{ g}}{318,02 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,760777$$

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie AgNO_3 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po dosadení m_3 z celkovej bilancie do bilancie AgNO_3 dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{325,5 \text{ g} \cdot (0,1500 - 0,7608)}{(0 - 0,7608)} = \mathbf{261,3 \text{ g}}$$

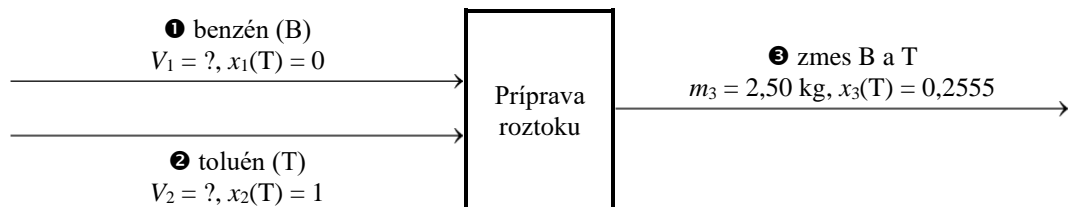
☑ Z roztoku AgNO_3 je treba odpariť 261,3 g vody.

4.1.9 Vypočítajte, aké objemy benzénu a toluénu je potrebné zmiešať, aby sa získalo 2,50 kg zmesi rozpúšťadiel, v ktorej mólový zlomok toluénu má byť 0,2555.

Riešenie:

Benzén \equiv B, toluén \equiv T.

Túto prípravu zmesi znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme x_1 , x_2 , m_3 , x_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

V zadaní je zloženie sústavy vyjadrené mólovým zlomkom $x(\text{T})$ a množstvo látky je vyjadrené hmotnosťou sústavy. Existujú tri spôsoby riešenia.

1. riešenie pomocou látkových množstiev látok

Keďže do sústavy vstupujú čisté látky (nie zmesi), pre známu hmotnosť m_3 výslednej zmesi platí

$$m_3 = m_1 + m_2 = n_1 M_1 + n_2 M_2$$

Zároveň, pre známe zloženie $x_3(T)$ výslednej zmesi platí

$$x_3(T) = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

Túto sústavu dvoch rovníc o dvoch neznámych (n_1 a n_2) môžeme riešiť napr. vyjadrením n_2 z druhej rovnice

$$n_2 = n_1 \frac{x_3(T)}{1 - x_3(T)}$$

a jeho dosadením do prvej rovnice,

$$m_3 = n_1 M_1 + n_2 M_2 = n_1 M_1 + n_1 \frac{x_3(T)}{1 - x_3(T)} M_2 = n_1 \left[M_1 + \frac{x_3(T)}{1 - x_3(T)} M_2 \right]$$

z ktorej vyjadríme hľadané n_1

$$n_1 = \frac{m_3}{M_1 + \frac{x_3(T)}{1 - x_3(T)} M_2} = \frac{2,50 \cdot 10^3 \text{ g}}{\left(78,11 + \frac{0,2555}{0,7445} \cdot 92,14 \right) \text{ g mol}^{-1}} = 22,78 \text{ mol}$$

a následne aj n_2 .

$$n_2 = n_1 \frac{x_3(T)}{1 - x_3(T)} = 22,78 \text{ mol} \cdot \frac{0,2555}{0,7445} = 7,818 \text{ mol}$$

S použitím mólových hmotností a hustôt benzénu a toluénu dostaneme

$$V_1 = \frac{n_1 M_1}{\rho_1} = \frac{22,78 \text{ mol} \cdot 78,11 \text{ g mol}^{-1}}{0,874 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{2,04 \cdot 10^3 \text{ cm}^3}$$

$$V_2 = \frac{n_2 M_2}{\rho_2} = \frac{7,818 \text{ mol} \cdot 92,14 \text{ g mol}^{-1}}{0,867 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{831 \text{ cm}^3}$$

2. riešenie pomocou látkových množstiev látok a priemernej mólovej hmotnosti zmesi

Použitie priemernej mólovej hmotnosti \bar{M}_3 výslednej zmesi, definovanej vzťahom (3.8), značne zjednoduší výpočet.

$$\begin{aligned} \bar{M}_3 &= x_3(B)M(B) + x_3(T)M(T) = \\ &= 0,7445 \cdot 78,11 \text{ g mol}^{-1} + 0,2555 \cdot 92,14 \text{ g mol}^{-1} = 81,69 \text{ g mol}^{-1} \end{aligned}$$

Pre látkové množstvo n_3 zmesi platí

$$n_3 = \frac{m_3}{M_3} = \frac{2,50 \cdot 10^3 \text{ g}}{81,69 \text{ g mol}^{-1}} = 30,60 \text{ mol}$$

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie napr. toluénu (T) majú podľa (4.15) tvar

$$n_1 + n_2 = n_3$$

$$n_1 x_1(\text{T}) + n_2 x_2(\text{T}) = n_3 x_3(\text{T})$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych n_1 a n_2 .

$$n_1 + n_2 = 30,60 \text{ mol}$$

$$n_1 \cdot 0 + n_2 \cdot 1 = 30,60 \text{ mol} \cdot 0,2555$$

Riešením tejto sústavy rovníc dostaneme $n_1 = 22,78 \text{ mol}$ a $n_2 = 7,818 \text{ mol}$.

S použitím mólových hmotností a hustôt benzénu a toluénu dostaneme

$$V_1 = \frac{n_1 M_1}{\rho_1} = \frac{22,78 \text{ mol} \cdot 78,11 \text{ g mol}^{-1}}{0,874 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{2,04 \cdot 10^3 \text{ cm}^3}$$

$$V_2 = \frac{n_2 M_2}{\rho_2} = \frac{7,818 \text{ mol} \cdot 92,14 \text{ g mol}^{-1}}{0,867 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{831 \text{ cm}^3}$$

3. riešenie pomocou vyjadrenia zloženia sústavy hmotnostným zlomkom.

Zadané zloženie $x_3(\text{T})$ výslednej zmesi vyjadríme pomocou hmotnostného zlomu $w_3(\text{T})$.

$$w_3(\text{T}) = \frac{m_3(\text{T})}{m_3} = \frac{n_3 x_3(\text{T}) M(\text{T})}{m_3} = \frac{x_3(\text{T}) M(\text{T})}{M_3} = \frac{0,2555 \cdot 92,14 \text{ g mol}^{-1}}{81,69 \text{ g mol}^{-1}} = 0,2882$$

Priemernú mólovú hmotnosť výslednej zmesi sme vypočítali v 2. riešení.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie napr. toluénu (T) majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1(\text{T}) + m_2 w_2(\text{T}) = m_3 w_3(\text{T})$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 .

$$m_1 + m_2 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ g}$$

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 1 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot 0,2882$$

Riešením tejto sústavy rovníc dostaneme $m_1 = 1780 \text{ g}$ a $m_2 = 720,5 \text{ g}$.

S použitím mólových hmotností a hustôt benzénu a toluénu dostaneme

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{1780 \text{ g}}{0,874 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{2,04 \cdot 10^3 \text{ cm}^3}$$

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{720,5 \text{ g}}{0,867 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{831 \text{ cm}^3}$$

☑ Na prípravu zmesi rozpúšťadiel treba $2,04 \text{ dm}^3$ benzénu a 831 cm^3 toluénu.

4.1.10 Vypočítajte objem vody a 96,0 % roztoku kyseliny sírovej potrebné na prípravu 150,0 cm³ náplne do exsikátora, v ktorom má byť pri teplote 20 °C parciálny tlak vodných pár $p(\text{H}_2\text{O}) = 1,00$ kPa.

Riešenie:

Budeme bilancovať H_2SO_4 , takže namiesto $w_i(\text{H}_2\text{SO}_4)$ a $\rho_i'(\text{H}_2\text{SO}_4)$ môžeme písať len w_i a ρ_i' .

Z tabuliek závislosti tlaku vodných pár nad roztokmi rôzneho zloženia pri rôznych teplotách nájdeme, že pre $w_1 = 0,50$ je $p_1(\text{H}_2\text{O}) = 0,793$ kPa a pre $w_2 = 0,40$ je $p_2(\text{H}_2\text{O}) = 1,27$ kPa. Pre požadovaný tlak $p(\text{H}_2\text{O})$ vodnej pary určíme zloženie roztoku kyseliny sírovej w lineárnou interpoláciou (3.17).

$$w = w_1 + \frac{w_2 - w_1}{p_2(\text{H}_2\text{O}) - p_1(\text{H}_2\text{O})} [p(\text{H}_2\text{O}) - p_1(\text{H}_2\text{O})] =$$

$$= 0,50 + \frac{0,40 - 0,50}{(1,27 - 0,793) \text{ kPa}} \cdot (1,00 - 0,793) \text{ kPa} = 0,457$$

Keďže riedenie roztoku kyseliny sírovej vodou nie je ideálne, bilancie sa musia vykonať cez hmotnosť látok. Máme pripraviť 150,0 cm³ 45,7 % roztoku kyseliny. Pre výpočet hmotnosti roztoku potrebujeme poznať jeho hustotu. Hustotu ρ' roztoku možno určiť z tabuľkových údajov lineárnou interpoláciou. V tabuľkách nájdeme hustoty roztokov kyseliny: $\rho_1' = 1,3386$ g cm⁻³ pre $w_1 = 0,4400$, $\rho_2' = 1,3570$ g cm⁻³ pre $w_2 = 0,4600$. Potom podľa (3.17) platí

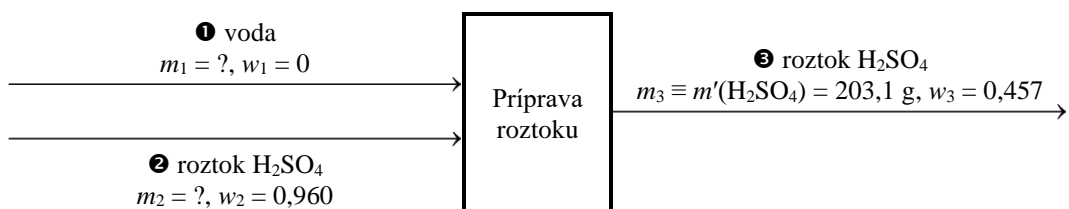
$$\rho' = \rho_1' + \frac{\rho_2' - \rho_1'}{w_2 - w_1} (w - w_1) =$$

$$= 1,3386 \text{ g cm}^{-3} + \frac{(1,3570 - 1,3386) \text{ g cm}^{-3}}{0,4600 - 0,4400} \cdot (0,457 - 0,4400) = 1,3542 \text{ g cm}^{-3}$$

Pre hmotnosť výsledného roztoku, ktorý sa má pripraviť, platí

$$m'(\text{H}_2\text{SO}_4) = V'(\text{H}_2\text{SO}_4)\rho'(\text{H}_2\text{SO}_4) = 150,0 \text{ cm}^3 \cdot 1,3542 \text{ g cm}^{-3} = 203,1 \text{ g}$$

Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Potrebujeme poznať $2 \cdot (3 - 1) = 4$ údaje. Zo zadania poznáme w_1 , w_2 , V_3, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie H_2SO_4 majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámých m_1 a m_2 , pričom obidve máme vypočítať. Po vyjadrení jednej z nich, napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie H_2SO_4 dostaneme

$$(m_3 - m_2)w_1 + m_2w_2 = m_3w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_1) = m_3(w_3 - w_1)$$
$$m_2 = \frac{m_3(w_3 - w_1)}{w_2 - w_1} = \frac{203,1 \text{ g} \cdot (0,457 - 0)}{0,960 - 0} = 96,68 \text{ g}$$

Po dosadení do prvej rovnice a úprave dostaneme hmotnosť m_1 .

$$m_1 = m_3 - m_2 = 203,1 \text{ g} - 96,68 \text{ g} = 106,42 \text{ g}$$

Použitím príslušných hustôt z chemických tabuliek potom dostaneme

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{96,68 \text{ g}}{1,8355 \text{ g cm}^{-3}} = 52,7 \text{ cm}^3$$
$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{106,42 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3}} = 106,6 \text{ cm}^3$$

☑ Na prípravu požadovaného roztoku treba $106,6 \text{ cm}^3$ vody a $52,7 \text{ cm}^3$ 96,0 % H_2SO_4 .

Úlohy 4.4.1 až 4.4.19.

4.2 Kryštalizácia látok z roztokov

Kryštalizácia látok z roztokov je ďalšou oblasťou, v ktorej sa látkové bilancie veľmi často využívajú. Zvlášť výhodné je ich využitie pri výpočtoch kryštalizácie kryštalohydrátov.

Kryštalizácia je proces, pri ktorom z nasýteného roztoku v dôsledku zmien rozpustnosti vyvolanými zmenou vonkajších podmienok nastáva vylučovanie rozpustenej látky v tuhom skupenstve, a tým sa v sústave udržiava rovnovážny stav. Z hľadiska podstaty sa vynútenie kryštalizácie látok z roztokov dá dosiahnuť tromi odlišnými spôsobmi:

- Zmenšením rozpustnosti látky zmenou teploty roztoku – **neizotermická kryštalizácia**.
- Odparením rozpúšťadla pri konštantnej teplote – **izotermická kryštalizácia**.
- Zmenšením rozpustnosti látky zmenou zloženia použitého rozpúšťadla pridaním iného rozpúšťadla, v ktorom je daná látka menej rozpustná.

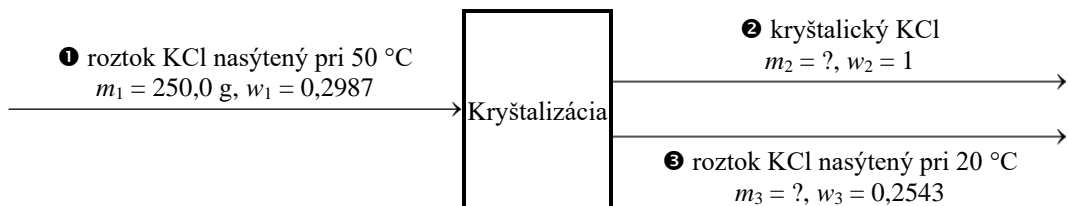
4.2.1 Riešené príklady

4.2.1 Vypočítajte, aké množstvo chloridu draselného sa získa, keď sa ochladí 250,0 g roztoku KCl nasýteného pri teplote 50 °C na teplotu 20 °C, ak rozpustnosti chloridu draselného sú: $s(50 \text{ °C}) = 42,6 \text{ g KCl na } 100 \text{ g H}_2\text{O}$, $s(20 \text{ °C}) = 34,1 \text{ g KCl na } 100 \text{ g H}_2\text{O}$.

Riešenie:

Budeme bilancovať KCl, takže namiesto $w_i(\text{KCl})$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky KCl vypočítame zo zadaných rozpustností podľa definície hmotnostného zlomku (3.2)

$$w_1 = \frac{42,6 \text{ g}}{42,6 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,2987$$

$$w_3 = \frac{34,1 \text{ g}}{34,1 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,2543$$

Potrebujeme poznať 2 . (3 - 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1, w_1, w_2, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie KCl majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie KCl dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2 (w_2 - w_3) = m_1 (w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1 (w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{250,0 \text{ g} \cdot (0,2987 - 0,2543)}{1 - 0,2543} = \mathbf{14,9 \text{ g}}$$

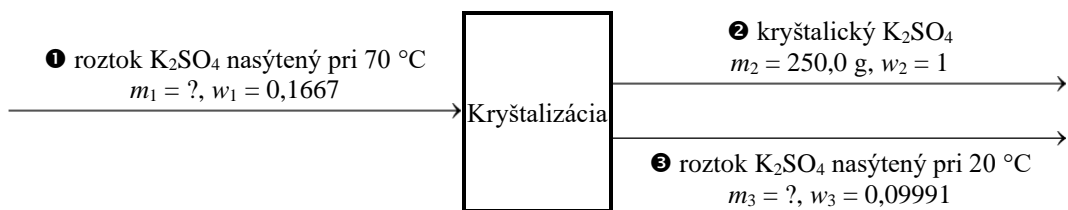
❑ Ochladením daného nasýteného roztoku získame 14,9 g KCl.

4.2.2 Vypočítajte, aké množstvo roztoku síranu draselného nasýteného pri teplote 70 °C treba ochladiť na teplotu 20 °C, aby získalo 250,0 g kryštalického K_2SO_4 . Rozpustnosti síranu draselného: $s(70 \text{ °C}) = 20,0 \text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H_2O , $s(20 \text{ °C}) = 11,1 \text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H_2O .

Riešenie:

Budeme bilancovať K_2SO_4 , takže namiesto $w_i(\text{K}_2\text{SO}_4)$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky KCl vypočítame zo zadaných rozpustností podľa definície hmotnostného zlomku (3.2)

$$w_1 = \frac{20,0 \text{ g}}{20,0 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,1667$$

$$w_3 = \frac{11,1 \text{ g}}{11,1 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,09991$$

Potrebuje poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme w_1 , m_2 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie K_2SO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_3 , pričom m_1 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie K_2SO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_1 .

$$m_1(w_1 - w_3) = m_2(w_2 - w_3)$$

$$m_1 = \frac{m_2(w_2 - w_3)}{w_1 - w_3} = \frac{250,0 \text{ g} \cdot (1 - 0,09991)}{0,1667 - 0,09991} = \mathbf{3369 \text{ g}}$$

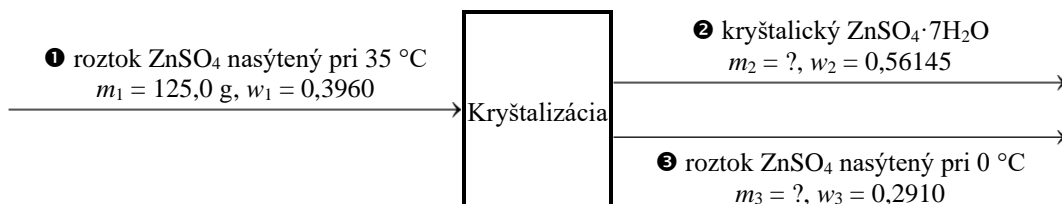
❑ Ochladením 3369 g roztoku nasýteného pri 70 °C na 20 °C získame 250 g K_2SO_4 .

4.2.3 Vypočítajte, aké množstvo heptahydrátu síranu zinočnatého $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ sa získa, keď sa ochladí 125,0 g roztoku $ZnSO_4$ nasýteného pri teplote 35 °C na teplotu 0 °C, ak rozpustnosti síranu zinočnatého sú: $s(35 \text{ °C}) = 39,6 \text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0 \text{ °C}) = 29,1 \text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať $ZnSO_4$, takže namiesto $w_i(ZnSO_4)$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti a zo zloženia kryštalohydrátu.

$$w_1 = \frac{39,6 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,3960$$

$$w_2 = \frac{M(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{161,45 \text{ g mol}^{-1}}{287,56 \text{ g mol}^{-1}} = 0,56145$$

$$w_3 = \frac{29,1 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,2910$$

Potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie ZnSO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie ZnSO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{125,0 \text{ g} \cdot (0,3960 - 0,2910)}{0,56145 - 0,2910} = \mathbf{48,5 \text{ g}}$$

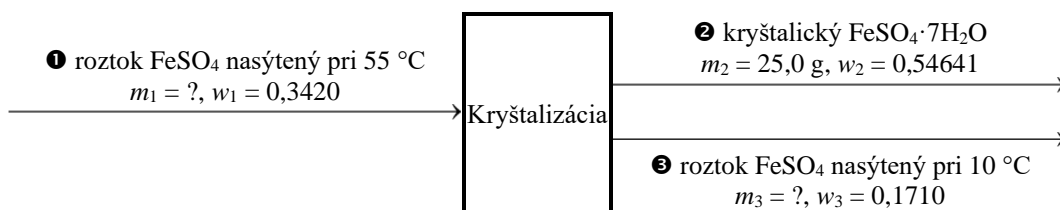
☑ Ochladením nasýteného roztoku získame 48,5 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

4.2.4 Vypočítajte, aké množstvo roztoku síranu železnatého FeSO_4 nasýteného pri teplote 55 °C treba ochladiť na teplotu 10 °C, aby získalo 25,0 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Rozpustnosti síranu železnatého sú: $s(55 \text{ °C}) = 34,2 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(10 \text{ °C}) = 17,1 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať FeSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{FeSO}_4)$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti a zo zloženia kryštalohydrátu.

$$w_1 = \frac{34,2 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,3420$$

$$w_2 = \frac{M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,913 \text{ g mol}^{-1}}{278,018 \text{ g mol}^{-1}} = 0,54641$$

$$w_3 = \frac{17,1 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,1710$$

Potrebuje poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme w_1, m_2, w_2, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie FeSO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_3 , pričom m_1 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie FeSO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_1 .

$$m_1(w_1 - w_3) = m_2(w_2 - w_3)$$

$$m_1 = \frac{m_2(w_2 - w_3)}{w_1 - w_3} = \frac{25,0 \text{ g} \cdot (0,54641 - 0,1710)}{0,3420 - 0,1710} = \mathbf{54,9 \text{ g}}$$

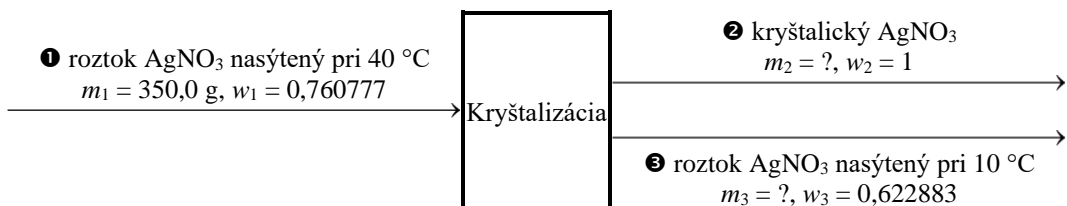
☑ Ochladením 54,9 g nasýteného roztoku síranu železnateho získame 25,0 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

4.2.5 Vypočítajte, aké množstvo dusičnanu strieborného by sa stratilo, keby sa vylial roztok po kryštalizácii (označovaný ako kryštalizačný, resp. matečný lúh), pri ktorej sa 350,0 g roztoku dusičnanu strieborného nasýteného pri 40 °C ochladilo na 10 °C. Rozpustnosti dusičnanu strieborného sú: $s(40 \text{ °C}) = 318,02 \text{ g AgNO}_3$ na 100,0 g H_2O , $s(10 \text{ °C}) = 165,17 \text{ g AgNO}_3$ na 100,0 g H_2O .

Riešenie:

Budeme bilancovať AgNO_3 , takže namiesto $w_i(\text{AgNO}_3)$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_1 = \frac{318,02 \text{ g}}{318,02 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,760777$$

$$w_3 = \frac{165,17 \text{ g}}{165,17 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,622883$$

Potrebuje poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1, w_1, w_2, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie AgNO_3 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámých m_2 a m_3 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_2 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie AgNO_3 dostaneme

$$m_1 w_1 = (m_1 - m_3) w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 matečného lúhu.

$$m_3 (w_3 - w_2) = m_1 (w_1 - w_2)$$

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{350,0 \text{ g} \cdot (0,760777 - 1)}{0,622883 - 1} = \mathbf{222,02 \text{ g}}$$

Potom hmotnosť rozpusteného AgNO_3 by bola

$$m_3 (\text{AgNO}_3) = m_3 w_3 = 222,02 \text{ g} \cdot 0,622883 = \mathbf{138,3 \text{ g}}$$

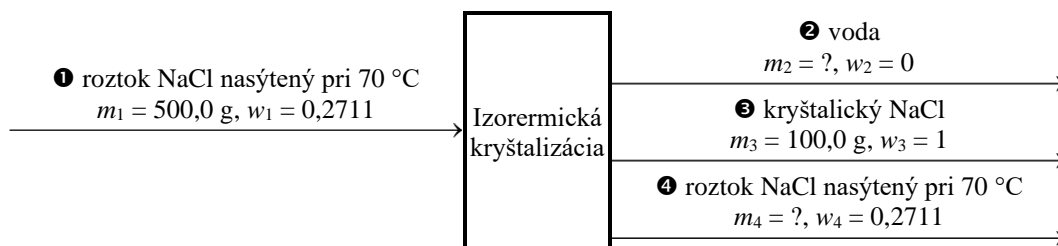
☑ Vyliatím 222,0 g roztoku po kryštalizácii by sa stratilo 138,3 g AgNO_3 .

4.2.6 Vypočítajte, aké množstvo vody sa odparilo z 500,0 g roztoku chloridu sodného nasýteného pri teplote 70 °C, keď so po izotermickej kryštalizácii pri tejto teplote získalo 100,0 g NaCl. Rozpustnosť chloridu sodného je $s(70 \text{ °C}) = 37,2 \text{ g NaCl na } 100 \text{ g vody}$.

Riešenie:

Budeme bilancovať NaCl, takže namiesto $w_i(\text{NaCl})$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_1 = w_4 = \frac{37,2 \text{ g}}{37,2 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,2711$$

Potrebuje poznať 2 · (4 - 1) = 6 údajov. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , w_2 , m_3 , w_3 , w_4 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie NaCl majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3 + m_4 w_4$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámých m_2 a m_4 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_4 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NaCl dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3 + (m_1 - m_2 - m_3) w_4$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_4) = m_1(w_1 - w_4) + m_3(w_4 - w_3)$$

$$w_1 = w_4 \Rightarrow m_2(w_2 - w_4) = m_3(w_4 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_3(w_4 - w_3)}{w_2 - w_4} = \frac{100,0 \text{ g} \cdot (0,2711 - 1)}{0 - 0,2711} = \mathbf{269 \text{ g}}$$

☑ Pri izotermickej kryštalizácii sa z daného nasýteného roztoku odparilo 269 g vody.

Poznámka: Všimnime si, že výsledok nezávisí od hmotnosti m_1 použitého roztoku. Ak by tento údaj nebol zadaný, mali by sme k dispozícii len 5 zo 6 potrebných údajov, čo by znamenalo, že jedna z neznámych (m_1, m_4) by mohla byť ľubovoľne zvolená. Sústava by tak mala nekonečne veľa riešení.

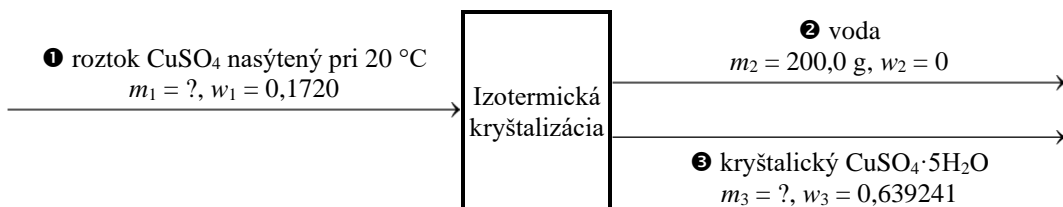
4.2.7 Vypočítajte, aké množstvo modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje pri izotermickej kryštalizácii z roztoku síranu meďnatého nasýteného pri teplote 20°C , ak sa počas izotermickej kryštalizácie odparí 200,0 g vody. Rozpustnosť síranu meďnatého je $s(20^\circ\text{C}) = 17,2 \text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať CuSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{CuSO}_4)$ môžeme písať len w_i .

1. riešenie

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti a zo zloženia kryštalohydrátu.

$$w_1 = \frac{17,2 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,1720$$

$$w_3 = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{159,609 \text{ g mol}^{-1}}{249,685 \text{ g mol}^{-1}} = 0,639241$$

Potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme w_1, m_2, w_2, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_3 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_2 + m_3)w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 .

$$m_3(w_3 - w_1) = m_2(w_1 - w_2)$$

$$m_3 = \frac{m_2(w_1 - w_2)}{w_3 - w_1} = \frac{200,0 \text{ g} \cdot (0,1720 - 0)}{0,639241 - 0,1720} = 73,6 \text{ g}$$

☑ Izotermickou kryštalizáciou získame 73,6 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

2. riešenie

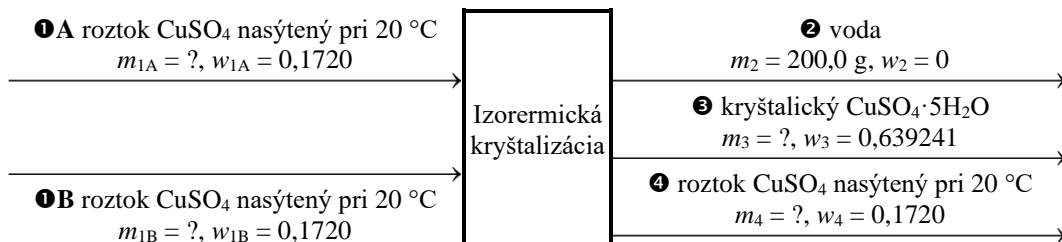
Z uvedeného výpočtu je zrejmé, že hmotnosť m_1 nasýteného roztoku, z ktorého odparením vody vykryštalizoval $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, musela byť minimálne

$$m_1 = m_2 + m_3 = 200,0 \text{ g} + 73,6 \text{ g} = 273,6 \text{ g}$$

V zadaní však nie je uvedené, že z roztoku sa vyparila všetka voda, takže môžeme predpokladať, že roztoku bolo viac ako 273,6 g, pričom po odparení 200,0 g vody a vykryštalizovaní 73,6 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ešte nejaká časť roztoku zostala v sústave. Hmotnosť tohto roztoku závisí od hmotnosti pôvodného roztoku pred oparením vody – čím viac bolo na začiatku nasýteného roztoku, tým viac ho zostalo po odparení 200,0 g vody. Hmotnosť pôvodného roztoku mohla byť ľubovoľná, ale aspoň 273,6 g. Sústava teda má nekonečne veľa riešení.

Pri izotermickej kryštalizácii sa teda len časť 1A vstupujúceho roztoku 1 „premení“ na odparenú vodu a vykryštalizovaný $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Časť 1B roztoku 1 zostane nezmenená, preto môžeme vstupujúci roztok 1 zobrazit' dvoma vstupmi (1A a 1B). Nezmenená časť „B“ roztoku 1 je potom vlastne vystupujúci roztok 4, ktorý zostal v sústave.

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



V tomto prípade musíme poznať 2 · (5 – 1) = 8 údajov. Zo zadania poznáme w_{1A} , m_2 , w_2 , w_3 a tri podmienky $m_{1B} = m_4$, $w_{1A} = w_{1B} = w_4$. Jeden chýbajúci údaj si teda možno ľubovoľne zvolit', čo je v súlade so záverom, že sústava má nekonečne veľa riešení.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 majú tvar

$$m_{1A} + m_{1B} = m_2 + m_3 + m_4$$

$$m_{1B} = m_4 \Rightarrow m_{1A}w_{1A} = m_2w_2 + m_3w_3 + m_4(w_4 - w_{1B})$$

Dostali sme dve rovnice o troch neznámych $m_{1A} = m_4$, m_{1B} a m_3 , pričom m_3 máme vypočítat'. Po vyjadrení m_{1A} z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_2 + m_3 + m_4 - m_{1B})w_{1A} = m_2w_2 + m_3w_3 + m_4(w_4 - w_{1B})$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 .

$$m_3(w_{1A} - w_3) = m_2(w_2 - w_{1A}) + m_4(w_4 - w_{1B})$$

$$w_{1B} = w_4 \Rightarrow m_3(w_{1A} - w_3) = m_2(w_2 - w_{1A})$$

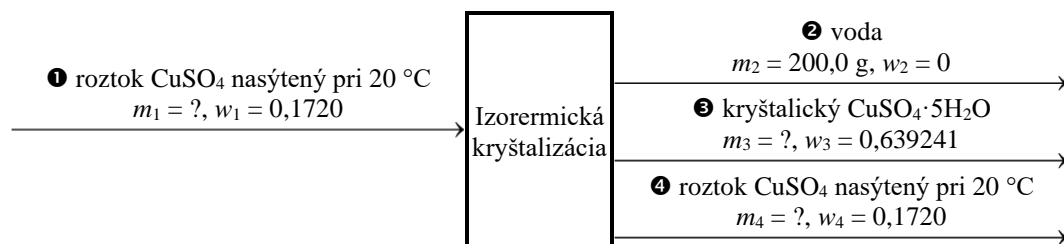
$$m_3 = \frac{m_2(w_2 - w_{1A}) + m_4(w_4 - w_{1B})}{w_{1A} - w_3} = \frac{200,0 \text{ g} \cdot (0 - 0,1720)}{0,1720 - 0,639241} = \mathbf{73,6 \text{ g}}$$

☑ Izotermickou kryštalizáciou získame 73,6 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

3. riešenie

Roztoky 1B a 4 majú rovnaké hmotnosti aj zloženie, môžeme ich teda zo schémy „vykrátiť“, čím dostaneme pôvodnú schému.

Ak by sme vstupujúci roztok 1 nerozdelili na časti 1A a 1B, dej by popisovala nasledujúca schéma.



V tomto prípade by sme museli poznať 2 · (4 – 1) = 6 údajov. Zo zadania poznáme w_1 , m_2 , w_2 , w_3 a podmienku $w_1 = w_4$. Jeden chýbajúci údaj si teda možno ľubovoľne zvoliť, čo je v súlade so záverom, že sústava má nekonečne veľa riešení.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3 + m_4 w_4$$

Dostali sme dve rovnice o troch neznámych m_1 , m_3 a m_4 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_2 + m_3 + m_4)w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3 + m_4 w_4$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 .

$$w_1 = w_4 \Rightarrow m_2(w_1 - w_2) = m_3(w_3 - w_1)$$

$$m_3 = \frac{m_2(w_1 - w_2)}{w_3 - w_1} = \frac{200,0 \text{ g} \cdot (0,1720 - 0)}{0,639241 - 0,1720} = \mathbf{73,6 \text{ g}}$$

☑ Izotermickou kryštalizáciou získame 73,6 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Pre zaujímavosť vyjadríme hmotnosť m_1 pôvodného roztoku,

$$m_1 = m_2 + m_3 + m_4 = 200,0 \text{ g} + 73,6 \text{ g} + m_4$$

Zohľadnením limitného prípadu, že po odparení vody nemusel v sústave zostať žiadny roztok, tj. $m_4 \geq 0$, dostaneme $m_1 \geq 273,6 \text{ g}$, čo je práve súčet hmotností odparenej vody a vykryštalizovaného $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Hmotnosť m_1 použitého nasýteného roztoku môže byť teda ľubovoľná, najmenej však 273,6 g.

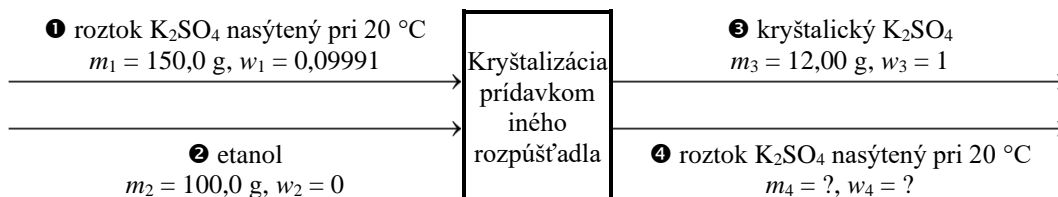
Poznámka: V praxi sa bežne stretávame s podobnými situáciami, že zo zmesi vstupujúcej do deja sa deja zúčastní len jej časť. V schéme zakreslená takáto zmes je potom vlastne skrytým súčtom zúčastnenej a nezúčastnenej časti. Ako sme ukázali v tomto príklade, výpočet môžeme uľahčiť, ak tieto časti zmesi zakreslíme do schémy ako samostatné vstupujúce zmesi.

4.2.8 Vypočítajte, aká je rozpustnosť síranu draselného v zmesi etanol–voda, keď po pridání 100,0 g etanolu k 150,0 g roztoku K_2SO_4 nasýteného pri teplote 20 °C, sa získalo 12,00 g kryštalického K_2SO_4 . Rozpustnosť síranu draselného vo vode je $s(20\text{ °C}) = 11,1\text{ g } K_2SO_4$ na 100 g H_2O .

Riešenie:

Budeme bilancovať K_2SO_4 , takže namiesto $w_i(K_2SO_4)$ môžeme písať len w_i .

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok w_1 vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_1 = \frac{11,1\text{ g}}{11,1\text{ g} + 100,0\text{ g}} = 0,09991$$

Potrebujeme poznať 2 · (4 – 1) = 6 údajov. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , m_2 , w_2 , m_3 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie K_2SO_4 majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4$$

$$m_1w_1 + m_2w_2 = m_3w_3 + m_4w_4$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_4 a w_4 , pričom w_4 máme vypočítať. Po vyjadrení m_4 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie K_2SO_4 dostaneme

$$m_1w_1 + m_2w_2 = m_3w_3 + (m_1 + m_2 - m_3)w_4$$

a úpravou dostaneme hľadaný hmotnostný zlomok w_4 .

$$w_4 = \frac{m_1w_1 + m_2w_2 - m_3w_3}{m_1 + m_2 - m_3} = \frac{150,0\text{ g} \cdot 0,09991 + 100,0\text{ g} \cdot 0 - 12,00\text{ g} \cdot 1}{150,0\text{ g} + 100,0\text{ g} - 12,00\text{ g}} = 0,0125$$

Z uvedeného výsledku vyplýva, že v matečnom lúhu zostal K_2SO_4 s hmotnosťou

$$m_4(K_2SO_4) = m_4w_4 = 238,0\text{ g} \cdot 0,0125 = 2,98\text{ g}$$

a rozpúšťadlo s hmotnosťou

$$m_4(\text{rozpúšťadlo}) = m_4 - m_4(K_2SO_4) = 238,0\text{ g} - 2,98\text{ g} = 235,02\text{ g}$$

Pre rozpustnosť K_2SO_4 vyjadrenú v g látky na 100 g zmesného rozpúšťadla potom platí

$$s(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{2,98 \text{ g}}{235,02 \text{ g}} \cdot \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ g}} = \frac{1,27 \text{ g}}{100 \text{ g}}$$

■ Rozpustnosť K_2SO_4 vo výslednej zmesi rozpúšťadiel je 1,27 g K_2SO_4 na 100 g zmesného rozpúšťadla.

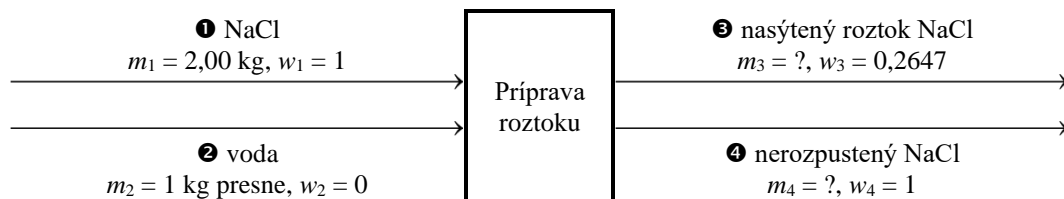
4.2.9 Akú hmotnosť a zloženie bude mať roztok kuchynskej soli, ak do presne 1 kg vody primiešame 2,00 kg soli? Rozpustnosť soli je 36,0 g na 100 g vody.

Riešenie:

Budeme bilancovať NaCl, takže namiesto $w_i(\text{NaCl})$ môžeme písať len w_i .

Ak použijeme schému s dvoma vstupujúcimi látkami (sól a voda) a jedným vystupujúcim roztokom soli, potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , m_2 , w_2 . Sústava teda má jedno riešenie. Ľahko vypočítame, že hmotnosť výslednej zmesi $m_3 = 3,00 \text{ kg}$ a jej zloženie $w_3 = 0,667$. Vypočítaná hodnota $w_3(\text{NaCl})$ však asi 2,5-krát prevyšuje zadanú rozpustnosť soli ($w = 0,265$). Je teda zrejmé, že 66,7 % roztok soli sa za daných podmienok nedá pripraviť, tj. v sústave zostane aj časť nerozpustenej soli. Situáciu preto lepšie popisuje schéma, v ktorej vzniknutú heterogénnu zmes nasýteného roztoku a tuhej soli „rozdelíme“ na dve samostatné podsústavy.

Túto kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_3 = \frac{36,0 \text{ g}}{36,0 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,2647$$

V tomto prípade musíme poznať 2 · (4 – 1) = 6 údajov. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , m_2 , w_2 , w_3 , w_4 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie NaCl majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3 + m_4 w_4$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_3 a m_4 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_4 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NaCl dostaneme

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3 + (m_1 + m_2 - m_3) w_4$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 .

$$m_3 (w_3 - w_4) = m_1 (w_1 - w_4) + m_2 (w_2 - w_4)$$

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_4) + m_2 (w_2 - w_4)}{w_3 - w_4} = \frac{2,00 \text{ kg} \cdot (1 - 1) + 1 \text{ kg} \cdot (0 - 1)}{0,2647 - 1} = \mathbf{1,36 \text{ kg}}$$

☑ Primiešaním 2,00 kg soli k 1 kg vody získame 1,36 kg 26,5 % roztoku soli, pričom 1,64 kg soli sa nerozpustí.

Úlohy 4.4.20 až 4.4.28.

4.3 Kombinované látkové bilancie

Kombinované látkové bilancie bez chemických dejov sú vlastne kombinácie výpočtov uvedených v predchádzajúcich dvoch podkapitolách 4.1 a 4.2 (kombinácia látkových bilancií so stechiometriou je súčasťou kap. 6). Z uvedeného vyplýva, že ide o kombinácie prípravy roztokov požadovaného zloženia a následnej kryštalizácie, príp. viacnásobné opakovanie týchto operácií. K najčastejšie sa vyskytujúcim príkladom tohto druhu patria:

- zahusťovanie zriedených roztokov a následná kryštalizácia,
- rekryštalizácia látok – príprava roztoku rozpúšťaním látky v rozpúšťadle a následná kryštalizácia.

4.3.1 Riešené príklady

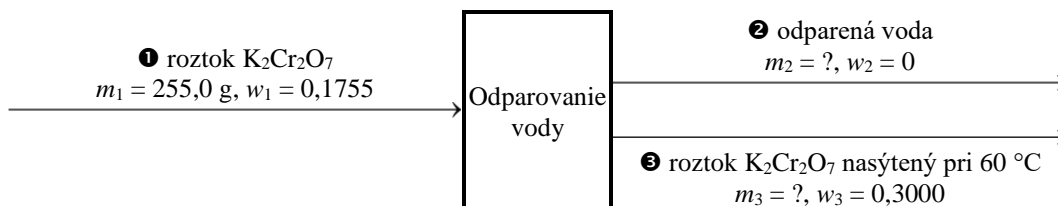
4.3.1 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 255,0 g roztoku dichrómanu didraselného, v ktorom $w(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,1755$, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote 60 °C. Vypočítajte, aký bude výťažok kryštalizácie, keď takto získaný roztok ochladíme na teplotu 20 °C.

Rozpustnosti $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sú: $s(20\text{ °C}) = 12,1\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 100 g roztoku, $s(60\text{ °C}) = 30,0\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, takže namiesto $w_i(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ môžeme písať len w_i .

Prvý dej (odparovanie vody) znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_3 = \frac{30,0\text{ g}}{100,0\text{ g}} = 0,3000$$

Potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_1 , w_1 , w_2 , w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámých m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie $K_2Cr_2O_7$ dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

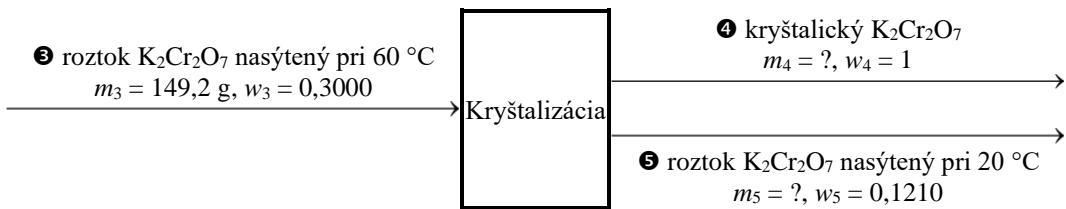
$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{255,0 \text{ g} \cdot (0,1755 - 0,3000)}{0 - 0,3000} = \mathbf{106 \text{ g}}$$

Do ďalšieho výpočtu budeme potrebovať aj hmotnosť m_3 .

$$m_3 = m_1 - m_2 = 255,0 \text{ g} - 105,8 \text{ g} = 149,2 \text{ g}$$

Druhý dej (neizotermickú kryštalizáciu) znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok w_5 vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_5 = \frac{12,1 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,1210$$

Potrebujeme poznať 2 · (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_3 , w_3 , w_4 , w_5 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie $K_2Cr_2O_7$ majú tvar

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámých m_4 a m_5 , pričom m_4 máme vypočítať. Po vyjadrení m_5 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie $K_2Cr_2O_7$ dostaneme

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + (m_3 - m_4) w_5$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_4 .

$$m_4(w_4 - w_5) = m_3(w_3 - w_5)$$

$$m_4 = \frac{m_3(w_3 - w_5)}{w_4 - w_5} = \frac{149,2 \text{ g} \cdot (0,3000 - 0,1210)}{1 - 0,1210} = \mathbf{30,4 \text{ g}}$$

☑ Z roztoku treba odpariť 106 g vody a následnou kryštalizáciou sa získa 30,4 g $K_2Cr_2O_7$.

4.3.2 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 300,0 g roztoku síranu horečnatého MgSO_4 , v ktorom $w(\text{MgSO}_4) = 0,255$, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote 40°C .

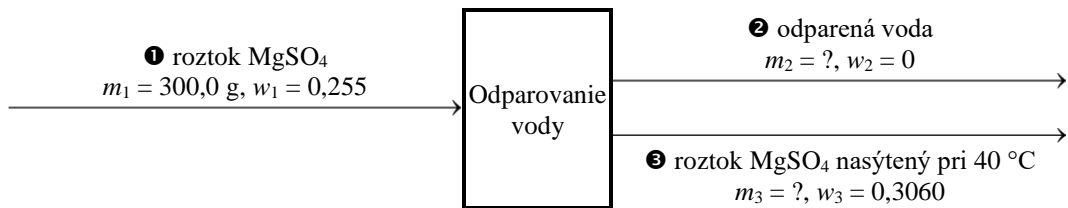
Vypočítajte, aký bude výťažok kryštalizácie heptahydrátu síranu horečnatého $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, keď takto získaný roztok ochladíme na teplotu 10°C .

Rozpustnosti MgSO_4 sú: $s(10^\circ\text{C}) = 21,8 \text{ g MgSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(40^\circ\text{C}) = 30,6 \text{ g MgSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:

Budeme bilancovať MgSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{MgSO}_4)$ môžeme písať len w_i .

Prvý dej (odparovanie vody) znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame z údajov o rozpustnosti.

$$w_3 = \frac{30,6 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,3060$$

Potrebuje poznať 2 $\cdot (3 - 1) = 4$ údaje. Zo zadania poznáme m_1, w_1, w_2, w_3 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie MgSO_4 majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie MgSO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + (m_1 - m_2) w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

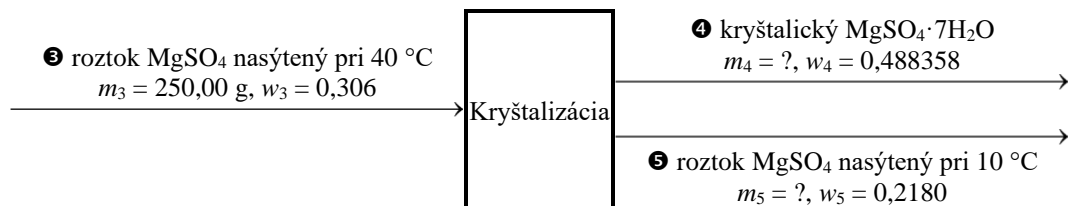
$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{300,0 \text{ g} \cdot (0,255 - 0,3060)}{0 - 0,3060} = \mathbf{50,0 \text{ g}}$$

Do ďalšieho výpočtu budeme potrebovať aj hmotnosť m_3 .

$$m_3 = m_1 - m_2 = 300,0 \text{ g} - 50,00 \text{ g} = 250,00 \text{ g}$$

Druhý dej (neizotermickú kryštalizáciu) znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame zo zloženia kryštalohydrátu a z údajov o rozpustnosti.

$$w_4 = \frac{M(\text{MgSO}_4)}{M(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{120,368 \text{ g mol}^{-1}}{246,475 \text{ g mol}^{-1}} = 0,488358$$

$$w_5 = \frac{21,8 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,2180$$

Potrebuje poznať 2 . (3 – 1) = 4 údaje. Zo zadania poznáme m_3 , w_3 , w_4 , w_5 . Sústava teda má jedno riešenie.

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie MgSO_4 majú tvar

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_4 a m_5 , pričom m_4 máme vypočítať. Po vyjadrení m_5 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie MgSO_4 dostaneme

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + (m_3 - m_4) w_5$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_4 .

$$m_4(w_4 - w_5) = m_3(w_3 - w_5)$$

$$m_4 = \frac{m_3(w_3 - w_5)}{w_4 - w_5} = \frac{250,00 \text{ g} \cdot (0,3060 - 0,2180)}{0,488358 - 0,2180} = \mathbf{81,4 \text{ g}}$$

■ Z roztoku MgSO_4 treba odpariť 50 g vody a následnou kryštalizáciou sa získa 81,4 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

4.3.3 Vypočítajte, aké množstvo modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a vody potrebujeme použiť na rekryštalizáciu (ochladením roztoku nasýteného pri teplote 40 °C na teplotu 20 °C), ktorej výsledkom má byť 25,0 g rekryštalizovaného $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Rozpustnosti síranu meďnatého sú: $s(20 \text{ °C}) = 18,1 \text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(40 \text{ °C}) = 22,2 \text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku.

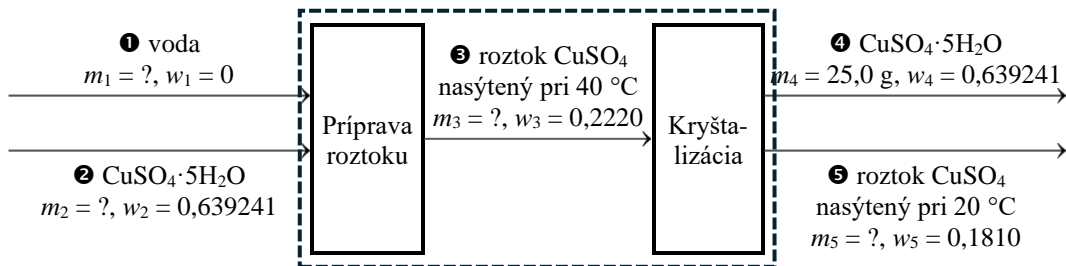
Riešenie:

Dej rekryštalizácie sa skladá z dvoch častí:

- najprv sa z čistej látky a vody pripraví roztok nasýtený pri vyššej teplote,
- pripravený roztok sa následne ochladí na nižšiu teplotu, čím vykryštalizuje časť látky.

Budeme bilancovať CuSO_4 , takže namiesto $w_i(\text{CuSO}_4)$ môžeme písať len w_i .

Celkový dej rekryštalizácie znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Hmotnostné zlomky vypočítame z údajov o rozpustnosti a zo zloženia kryštalohydrátu.

$$w_2 = w_4 = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{159,609 \text{ g mol}^{-1}}{249,685 \text{ g mol}^{-1}} = 0,639241$$

$$w_3 = \frac{22,2 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,2220$$

$$w_5 = \frac{18,1 \text{ g}}{100,0 \text{ g}} = 0,1810$$

Bilanciu tejto sústavy pre sumárny dej (označený čiarkovane) popisuje 4 . 2 = 8 veličín ($m_1, w_1, m_2, w_2, m_4, w_4, m_5, w_5$), z ktorých musíme poznať aspoň 8 - 2 = 6, aby sme ju mohli vyriešiť. Údaj o zložení roztoku 3 je v tomto prípade irelevantný. Zo zadania však poznáme len 5 hodnôt (w_1, w_2, m_4, w_4, w_5), preto jeden z chýbajúcich údajov (m_1, m_2, m_5) môže byť ľubovoľne zvolený, tj. sústava má nekonečne veľa riešení. Pri každom z týchto riešení však bude iná hmotnosť aj zloženie roztoku 3. Lenže roztok 3 má byť nasýtený pri 40 °C, preto existuje len jediné riešenie. Obidve časti schémy teda musíme riešiť samostatne. Keďže v prvej časti schémy (príprave roztoku) opäť nemáme dostatok potrebných údajov (4), musíme najprv vykonať bilanciu pre druhú časť schémy (kryštalizáciu).

Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_3 a m_5 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_5 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$m_3 w_3 = m_4 w_4 + (m_3 - m_4) w_5$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_3 .

$$m_3 (w_3 - w_5) = m_4 (w_4 - w_5)$$

$$m_3 = \frac{m_4 (w_4 - w_5)}{w_3 - w_5} = \frac{25,0 \text{ g} \cdot (0,639241 - 0,1810)}{0,2220 - 0,1810} = 279,4 \text{ g}$$

a hmotnosť m_5 .

$$m_5 = m_3 - m_4 = 279,4 \text{ g} - 25,0 \text{ g} = 254,4 \text{ g}$$

Ďalej môžeme postupovať dvoma spôsobmi:

– z hmotnosti m_3 podľa prvej časti schémy vypočítame hmotnosť m_1 potrebnej vody a hmotnosť m_2 rekrystalizovanej látky.

– z hmotnosti m_3 podľa celkovej (čiarkovanej) schémy vypočítame hmotnosť m_1 potrebnej vody a hmotnosť m_2 rekryštalizovanej látky.

1. riešenie – pomocou m_3

Využijeme prvú časť schémy (prípravu roztoku). Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 , pričom obidve máme vypočítať. Po vyjadrení napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_3 - m_2)w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_1) = m_3(w_3 - w_1)$$

$$w_1 = 0 \Rightarrow m_2 w_2 = m_3 w_3$$

$$m_2 = \frac{m_3 w_3}{w_2} = \frac{279,4 \text{ g} \cdot 0,2220}{0,639241} = \mathbf{97,0 \text{ g}}$$

a z nej hľadanú hmotnosť m_1 .

$$m_1 = m_3 - m_2 = 279,4 \text{ g} - 97,0 \text{ g} = \mathbf{182 \text{ g}}$$

2. riešenie – pomocou m_5

Využijeme celkovú (čiarkovanú) schému. Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie CuSO_4 majú tvar

$$m_1 + m_2 = m_4 + m_5$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 , pričom obidve máme vypočítať. Po vyjadrení napr. m_1 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie CuSO_4 dostaneme

$$(m_4 + m_5 - m_2)w_1 + m_2 w_2 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_1) = m_4(w_4 - w_1) + m_5(w_5 - w_1)$$

$$w_1 = 0 \Rightarrow m_2 w_2 = m_4 w_4 + m_5 w_5$$

$$m_2 = \frac{m_4 w_4 + m_5 w_5}{w_2} = \frac{25,0 \text{ g} \cdot 0,639241 + 254,4 \text{ g} \cdot 0,1810}{0,639241} = \mathbf{97,0 \text{ g}}$$

a z nej hľadanú hmotnosť m_1 .

$$m_1 = m_3 - m_2 = 279,4 \text{ g} - 97,0 \text{ g} = \mathbf{182 \text{ g}}$$

☑ Na rekryštalizáciu treba 97,0 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 182 g vody.

Úlohy 4.4.29 až 3.7.31.

4.4 Úlohy

4.4.1 Vypočítajte, aké množstvá látok treba

- a) na prípravu 750,0 g 7,90 % vodného roztoku chloridu lítneho LiCl
- b) na prípravu 1550 g 25,5 % vodného roztoku uhličitanu draselného K_2CO_3
- c) na prípravu 550,0 g roztoku kyseliny trihydrogenboritej s $w(\text{H}_3\text{BO}_3) = 0,0300$
- d) na prípravu 225,0 g roztoku hydrogensíranu draselného s $w(\text{KHSO}_4) = 0,0150$.

[a) 59,2 g LiCl a 691 g vody; b) 395 g K_2CO_3 a 1155 g vody; c) 16,5 g H_3BO_3 a 534 g rozpúšťadla; d) 3,38 g KHSO_4 a 222 g rozpúšťadla]

4.4.2 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať

- a) k 25,00 g Na_2SO_4 , aby vznikol roztok s $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1200$
- b) k 42,5 g K_2CO_3 , aby vznikol roztok s $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,1000$
- c) k 65,0 g KBr , aby vznikol roztok s $w(\text{KBr}) = 0,2550$.

[a) 183,3 g vody; b) 383 g vody; c) 190 g vody]

4.4.3 Vypočítajte, aké množstvo látky treba rozpustiť v 250,0 g vody,

- a) aby vznikol roztok s $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1200$
- b) aby vznikol roztok s $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,1000$
- c) aby vznikol roztok s $w(\text{KBr}) = 0,2550$.

[a) 34,09 g Na_2SO_4 ; b) 27,78 g K_2CO_3 ; c) 85,57 g KBr]

4.4.4 Vypočítajte, aké objemy metanolu (MeOH) a izopropanolu (iPrOH) je treba zmiešať pri príprave 1,500 kg zmesi alkoholov, v ktorej $w(\text{iPrOH}) = 0,3500$.

[$V(\text{MeOH}) = 1,23 \text{ dm}^3$, $V(\text{iPrOH}) = 669 \text{ cm}^3$.]

4.4.5 Vypočítajte, aké objemy etanolu (EtOH) a izopropanolu (iPrOH) je treba zmiešať pri príprave 0,750 kg zmesi alkoholov, v ktorej $w(\text{iPrOH}) = 0,1500$.

[$V(\text{EtOH}) = 808 \text{ cm}^3$, $V(\text{iPrOH}) = 143 \text{ cm}^3$.]

4.4.6 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať

- a) k 25,00 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, aby vznikol roztok s $w(\text{CuSO}_4) = 0,2155$
- b) k 42,5 g $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, aby vznikol roztok s $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,1515$
- c) k 65,0 g $\text{LiClO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, aby vznikol roztok s $w(\text{LiClO}_4) = 0,1255$.

[a) 49,16 g vody; b) 192 g vody; c) 278 g vody]

4.4.7 Vypočítajte, aké množstvo látky L treba rozpustiť v 150,0 g vody,

- a) aby vznikol roztok s $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1200$, ak $L = \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- b) aby vznikol roztok s $w(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = 0,1000$, ak $L = \text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
- c) aby vznikol roztok s $w(\text{CaCl}_2) = 0,2550$, ak $L = \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

[a) 71,88 g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; b) 32,06 g $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; c) 152,0 g $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]

4.4.8 Vypočítajte, aké množstvo látky L a vody je treba na prípravu

- a) 550,0 g roztoku s $w(\text{AuCl}_3) = 0,1200$, ak $L = \text{AuCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- b) 750,0 g roztoku s $w(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,1000$, ak $L = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- c) 1250 g roztoku s $w(\text{BaBr}_2) = 0,2550$, ak $L = \text{BaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

[a) 73,84 g $\text{AuCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a 476,2 g vody; b) 146,1 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ a 603,9 g vody; c) 357,4 g $\text{BaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a 892,6 g vody]

4.4.9 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať k $1,500 \text{ dm}^3$ vodného roztoku etanolu (EtOH), v ktorom $w(\text{EtOH}) = 0,960$, aby sa získal roztok s $w(\text{EtOH}) = 0,250$. Zmiešavanie vody s etanolom nie je ideálne. Pre zaujímavosť vypočítajte aj objemovú zmenu pri tomto zmiešavaní.

[3,41 kg vody, $\Delta V = -115 \text{ cm}^3$, objemová kontrakcia]

4.4.10 Vypočítajte, aké množstvo vody a 96,0 % vodného roztoku etanolu (EtOH) je potrebné odmerať odmerným valcom pri príprave $500,0 \text{ cm}^3$ vodného roztoku, v ktorom $w(\text{EtOH}) = 0,2000$. Vypočítajte, aká bude objemová zmena pri príprave uvedeného roztoku.

[$V(\text{EtOH}) = 126 \text{ cm}^3$, $V(\text{H}_2\text{O}) = 384 \text{ cm}^3$, $\Delta V = -9,3 \text{ cm}^3$, objemová kontrakcia.]

4.4.11 Vypočítajte množstvo a zloženie roztoku síranu sodného, ktorý sa získal zmiešaním dvoch roztokov a pridaním tuhého síranu sodného. Zmiešalo sa

a) 250,0 g 10,50 % roztoku Na_2SO_4 , 620,0 g 18,25 % roztoku Na_2SO_4 a 125,0 g Na_2SO_4 ,

b) 250,0 g 10,50 % roztoku Na_2SO_4 , 620,0 g 18,25 % roztoku Na_2SO_4 a 125,0 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

[a) 995,0 g roztoku s $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2657$; b) 995,0 g roztoku s $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1955$]

4.4.12 Vypočítajte, aké množstvo kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,2055 \text{ mol dm}^{-3}$ je treba pridať k presne 250 cm^3 roztoku kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,0115 \text{ mol dm}^{-3}$, aby sa získal roztok s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$. Zmiešavanie týchto roztokov možno považovať za ideálne.

[210 cm^3]

4.4.13 Vypočítajte, aké množstvo kyseliny sírovej s koncentráciou $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1505 \text{ mol dm}^{-3}$ je treba pridať k presne 500 cm^3 roztoku kyseliny sírovej s koncentráciou $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, aby sa získal roztok s koncentráciou $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0100 \text{ mol dm}^{-3}$. Zmiešavanie týchto roztokov možno považovať za ideálne.

[$35,1 \text{ cm}^3$]

4.4.14 Vypočítajte, aké množstvo bielej skalice $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ je potrebné pridať ku $250,0 \text{ g}$ 22,50 % roztoku síranu zinočnatého, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosť síranu zinočnatého je $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 37,7 \text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[$206 \text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]

4.4.15 Vypočítajte, aké množstvo zelenej skalice $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ je potrebné pridať ku $125,0 \text{ g}$ 18,50 % roztoku síranu železnatého, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosť síranu železnatého je $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 26,7 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[$36,7 \text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]

4.4.16 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z $250,0 \text{ g}$ 22,50 % roztoku síranu zinočnatého, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote $35 \text{ }^\circ\text{C}$, ak rozpustnosť síranu zinočnatého je $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 37,7 \text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[101 g vody odpariť]

4.4.17 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 125,0 g 18,50 % roztoku síranu železnatého, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote 35 °C, ak rozpustnosť síranu železnatého je $s(35\text{ °C}) = 26,7\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[38,4 g vody odpariť]

4.4.18 Vypočítajte, aké objemy benzénu (B) a toluénu (T) je potrebné zmiešať,

a) aby sa získalo 500,0 g zmesi rozpúšťadiel, v ktorej obsah toluénu má byť $x(T) = 0,3333$

b) aby sa získalo 250,0 g zmesi rozpúšťadiel, v ktorej obsah toluénu má byť $x(T) = 0,1000$

[a) $V(T) = 214\text{ cm}^3$, $V(B) = 360\text{ cm}^3$; b) $V(T) = 28,90\text{ cm}^3$, $V(B) = 257,4\text{ cm}^3$]

4.4.19 Vypočítajte množstvo vody a 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebné na prípravu

a) 150,0 cm³ 17,50 % roztoku H₂SO₄,

b) 250,0 cm³ 21,25 % roztoku H₂SO₄,

c) 350,0 cm³ 14,55 % roztoku H₂SO₄,

[a) 16,70 cm³ 96,00 % H₂SO₄ a 137,5 cm³ H₂O; b) 34,66 cm³ 96,00 % H₂SO₄ a 223,8 cm³ H₂O;

c) 31,75 cm³ 96,00 % H₂SO₄ a 326,3 cm³ H₂O]

4.4.20 Vypočítajte, aké množstvo chloridu draselného sa získa, keď sa ochladí

a) 125,0 g roztoku KCl nasýteného pri teplote 50 °C na teplotu 20 °C,

b) 180,0 g roztoku KCl nasýteného pri teplote 60 °C na teplotu 10 °C,

c) 720,0 g roztoku KCl nasýteného pri teplote 70 °C na teplotu 0 °C,

ak rozpustnosti chloridu draselného sú

$s(70\text{ °C}) = 48,2\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O, $s(60\text{ °C}) = 45,8\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O,

$s(50\text{ °C}) = 42,6\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O, $s(20\text{ °C}) = 34,1\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O,

$s(10\text{ °C}) = 31,6\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O, $s(0\text{ °C}) = 28,0\text{ g KCl}$ na 100 g H₂O.

[a) 7,45 g KCl; b) 17,5 g KCl; c) 98,1 g KCl]

4.4.21 Vypočítajte, aké množstvo roztoku síranu draselného

a) nasýteného pri teplote 60 °C treba ochladiť na teplotu 20 °C, aby získalo 25,00 g kryštalického K₂SO₄.

b) nasýteného pri teplote 40 °C treba ochladiť na teplotu 10 °C, aby získalo 25,00 g kryštalického K₂SO₄.

c) nasýteného pri teplote 80 °C treba ochladiť na teplotu 0 °C, aby získalo 25,00 g kryštalického K₂SO₄.

Rozpustnosti síranu draselného sú: $s(80\text{ °C}) = 21,5\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O, $s(60\text{ °C}) = 18,5\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O,

$s(40\text{ °C}) = 14,8\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O, $s(20\text{ °C}) = 11,1\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O,

$s(10\text{ °C}) = 9,2\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O, $s(0\text{ °C}) = 7,2\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H₂O.

[a) 400 g K₂SO₄; b) 510 g K₂SO₄; c) 2,1 · 10² g K₂SO₄]

4.4.22 Vypočítajte, aké množstvo heptahydrátu síranu zinočnatého sa získa, keď sa ochladí 125,0 g roztoku ZnSO₄

a) nasýteného pri 35 °C na teplotu 10 °C,

b) nasýteného pri 30 °C na teplotu 10 °C,

c) nasýteného pri 30 °C na teplotu 0 °C.

Rozpustnosti síranu zinočnatého sú: $s(35\text{ °C}) = 39,6\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ °C}) = 38,1\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(10\text{ °C}) = 31,9\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ °C}) = 29,1\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 39,7 g ZnSO₄·7H₂O; b) 32,0 g ZnSO₄·7H₂O; c) 41,6 g ZnSO₄·7H₂O]

4.4.23 Vypočítajte, aké množstvo roztoku síranu železnatého

- a) nasýteného pri 55 °C treba ochladiť na teplotu 20 °C,
- b) nasýteného pri 50 °C treba ochladiť na teplotu 10 °C,
- c) nasýteného pri 45 °C treba ochladiť na teplotu 0 °C,

aby získalo 25,0 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Rozpustnosti síranu železnatého sú: $s(55\text{ °C}) = 34,2\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(50\text{ °C}) = 32,8\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(45\text{ °C}) = 30,2\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ °C}) = 20,8\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(10\text{ °C}) = 17,1\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ °C}) = 13,5\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 63,1 g roztoku FeSO_4 ; b) 59,8 g roztoku FeSO_4 ; c) 61,6 g roztoku FeSO_4]

4.4.24 Vypočítajte, aké množstvo dusičnanu strieborného by sa stratilo, keby sa vylial roztok po kryštalizácii, pri ktorej sa ochladilo 125,0 g roztoku dusičnanu strieborného nasýteného pri teplote 40 °C na teplotu 0 °C. Rozpustnosti dusičnanu strieborného sú: $s(40\text{ °C}) = 318,02\text{ g AgNO}_3$ na 100 g H_2O , $s(0\text{ °C}) = 126,67\text{ g AgNO}_3$ na 100 g H_2O .

[37,88 g AgNO_3]

4.4.25 Vypočítajte, aké množstvo vody sa odparilo z roztoku chloridu sodného NaCl počas izotermickej kryštalizácie

- a) pri teplote 70 °C,
- b) pri teplote 80 °C,
- c) pri teplote 90 °C,

keď sa po izotermickej kryštalizácii vykonanej pri tejto teplote získalo 100,0 g NaCl. Rozpustnosť chloridu sodného je: $s(70\text{ °C}) = 37,2\text{ g NaCl}$ na 100 g vody, $s(80\text{ °C}) = 37,9\text{ g NaCl}$ na 100 g vody, $s(90\text{ °C}) = 38,6\text{ g NaCl}$ na 100 g vody.

[a) 269 g vody; b) 264 g vody; c) 259 g vody]

4.4.26 Vypočítajte, aké množstvo

- a) modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,
- b) zelenej skalice $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,
- c) bielej skalice $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

vykryštalizuje pri izotermickej kryštalizácii roztoku síranu MSO_4 ($M = \text{Cu, Fe, Zn}$) nasýteného pri teplote 20 °C, keď sa počas izotermickej kryštalizácie odparilo 100,0 g vody. Rozpustnosti jednotlivých síranov sú: $s(20\text{ °C}) = 17,2\text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ °C}) = 20,8\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ °C}) = 34,9\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 36,8 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; b) 61,5 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; c) 164 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]

4.4.27 Vypočítajte, aká je rozpustnosť chloridu draselného KCl v zmesi etanol–voda, keď po pridaní 100,0 g etanolu k 150,0 g roztoku KCl nasýteného pri teplote 20 °C sa získalo 35,00 g kryštalického KCl. Rozpustnosť chloridu draselného vo vode je $s(20\text{ °C}) = 33,3\text{ g KCl}$ na 100 g H_2O .

[$s = 1,16\text{ g KCl}$ na 100 g roztoku]

4.4.28 Vypočítajte, aká je rozpustnosť chloridu sodného NaCl v zmesi etanol–voda keď po pridaní 100,0 g etanolu k 150,0 g roztoku NaCl nasýteného pri teplote 20 °C sa získalo 36,50 g kryštalického NaCl. Rozpustnosť chloridu sodného vo vode je $s(20\text{ °C}) = 35,8\text{ g NaCl}$ na 100 g H_2O .

[$s = 1,43\text{ g NaCl}$ na 100 g roztoku]

4.4.29 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 325,0 g roztoku

- a) dichrómanu didraselného $K_2Cr_2O_7$,
- b) dichrómanu disodného $Na_2Cr_2O_7$,
- c) dichrómanu diamónneho $(NH_4)_2Cr_2O_7$,

v ktorom $w(M_2Cr_2O_7) = 0,1500$, aby sa z neho získal roztok príslušného dichrómanu nasýtený pri teplote $60\text{ }^\circ\text{C}$. Vypočítajte, aké budú výťažky kryštalizácie $K_2Cr_2O_7$, $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ a $(NH_4)_2Cr_2O_7$, keď takto získané roztoky ochladíme na teplotu $20\text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosti príslušných dichrómanov sú: $s(20\text{ }^\circ\text{C}) = 12,1\text{ g } K_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku, $s(60\text{ }^\circ\text{C}) = 30,0\text{ g } K_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ }^\circ\text{C}) = 65,0\text{ g } Na_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku, $s(60\text{ }^\circ\text{C}) = 72,5\text{ g } Na_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ }^\circ\text{C}) = 26,5\text{ g } (NH_4)_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku, $s(60\text{ }^\circ\text{C}) = 56,6\text{ g } (NH_4)_2Cr_2O_7$ na 100 g roztoku.

[a] 163 g vody odpariť, 33,1 g $K_2Cr_2O_7$ vykryštalizuje; b) 258 g vody odpariť, 22,0 g $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ vykryštalizuje; c) 239 g vody odpariť, 35,3 g $(NH_4)_2Cr_2O_7$ vykryštalizuje]

4.4.30 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 600,0 g roztoku

- a) síranu horečnatého $MgSO_4$,
- b) síranu meďnatého $CuSO_4$,
- c) síranu zinočnatého $ZnSO_4$,
- d) síranu železnatého $FeSO_4$,

v ktorom $w(MSO_4) = 0,1250$ aby sa z neho získal roztok nasýtený pri $30\text{ }^\circ\text{C}$ a vypočítajte, aký bude výťažok kryštalizácie $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ a $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, keď takto získaný roztok ochladíme na teplotu $0\text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosti príslušných síranov sú: $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 18,3\text{ g } MgSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 28,0\text{ g } MgSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 12,1\text{ g } CuSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 19,9\text{ g } CuSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 29,8\text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 38,2\text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 13,3\text{ g } FeSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 24,8\text{ g } FeSO_4$ na 100 g roztoku.

[a] 332 g vody odpariť, 85,1 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ vykryštalizuje; b) 223 g vody odpariť, 56,7 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ vykryštalizuje; c) 404 g vody odpariť, 62,6 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ vykryštalizuje; d) 298 g vody odpariť, 84,1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ vykryštalizuje]

4.4.31 Vypočítajte, aké množstvo

- a) modrej skalice $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
- b) bielej skalice $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
- c) zelenej skalice $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

potrebujeme použiť na rekryštalizáciu (ochladením roztoku nasýteného pri teplote $30\text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $0\text{ }^\circ\text{C}$), ktorej výsledkom má byť 50,0 g rekryštalizovaného $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ a $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Rozpustnosti jednotlivých síranov sú: $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 12,1\text{ g } CuSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 19,9\text{ g } CuSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 29,8\text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 38,2\text{ g } ZnSO_4$ na 100 g roztoku, $s(0\text{ }^\circ\text{C}) = 13,3\text{ g } FeSO_4$ na 100 g roztoku, $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 24,8\text{ g } FeSO_4$ na 100 g roztoku.

[a] 103 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; b) 107 g $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$; c) 81,6 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$]

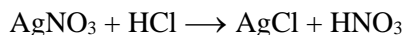
5 CHEMICKÉ ROVNICE

Chemická rovnica je zápis chemickej reakcie pomocou značiek chemických prvkov a vzorcov chemických zlúčenín. V chemickej rovnici je obsiahnutá kvalitatívna i kvantitatívna stránka chemického deja. Vzájomný pomer látkových množstiev látok zúčastňujúcich sa chemickej reakcie udávajú **stochiometrické koeficienty** ν . V chemických rovniciach sa píše východiskové látky (reaktanty) na ľavú stranu a vznikajúce látky (produkty) na pravú stranu. Všeobecná chemická rovnica má tvar

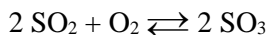


kde a, b, \dots, p, q, \dots sú absolútne hodnoty stochiometrických koeficientov reaktantov A, B, ... a produktov P, Q, ... Pre reaktanty majú stochiometrické koeficienty záporné hodnoty, $\nu(A) = -a$, $\nu(B) = -b, \dots$, pre produkty kladné hodnoty $\nu(P) = p$, $\nu(Q) = q, \dots$ Pri bežnom zápise chemickej reakcie sa uvádzajú len absolútne hodnoty stochiometrických koeficientov.

Reaktanty a produkty v chemickej rovnici sú vo všeobecnosti oddelené symbolom rovnosti (=). Ak východiskové látky pri daných podmienkach takmer úplne zreagujú na produkty, píšeme v chemickej rovnici šípku (\longrightarrow), ktorá označuje smer priebehu deja, napr.

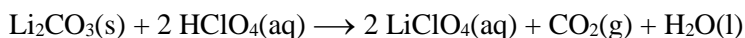


Ak sú v sústave v rovnováhe prítomné v porovnateľnom množstve ako produkty, tak aj reaktanty, píšeme v chemickej rovnici vratnú šípku (\rightleftharpoons), napr.

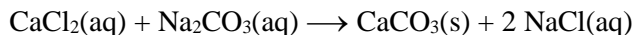


Stav chemickej rovnováhy sa niekedy zapisuje polstrieškovou vratnou šípkou (\rightleftharpoons).

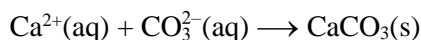
Často sa používa **stavový zápis** chemickej reakcie, v ktorom sa symbolmi v zátvorkách za značkami prvkov alebo vzorcami zlúčenín vyjadruje skupenský stav, napr.



Časticový (iónový) zápis – vyjadruje, ktoré častice (ióny, príp. atómy alebo molekuly) sa zúčastňujú chemického deja, napr. pre chemickú reakciu



je stavový časticový zápis v tvare



Údaje, ktoré popisujú podmienky chemickej reakcie, napr. použitý katalyzátor, teplotu, pri ktorej daná chemická reakcia prebieha a pod., sa píše nad šípkou.

Základné symboly používané pri zápise chemických reakcií sú uvedené v tabuľke 5.1.

Tabuľka 5.1 Symboly používané pri zápise chemických reakcií.

Symbol	Význam
=	Všeobecný symbol rovnosti, vyjadruje, že počas chemickej reakcie sa množstvo a druh atómov nemení.

\rightarrow	V rovnovážnom zložení prevládajú produkty chemickej reakcie
\rightleftharpoons	V rovnovážnom zložení sú porovnateľné množstvá reaktantov aj produktov
\rightleftharpoons	Stav rovnováhy
(s)	Tuhé skupenstvo
(l)	Kvapalné skupenstvo
(g)	Plynné skupenstvo
(aq)	Vodný roztok
(solv)	Nevodný roztok
$\xrightarrow{\Delta T}$	Zahrievanie

Zápis rovnice neredoxnej chemickej reakcie robíme v nasledujúcich základných krokoch:

1. Zapišeme schému so správnymi chemickými vzorcami.
2. Nájdem atómy prvkov, ktoré sa vyskytujú na oboch stranách chemickej rovnice iba v jednej látke. Upravíme stechiometrické koeficienty látok, aby bol počet týchto atómov prvkov na každej strane rovnaký.
3. Upravíme stechiometrické koeficienty ostatných látok.
4. Skontrolujeme, či sú počty atómov jednotlivých prvkov na oboch stranách rovnice rovnaké. Stechiometrické koeficienty látok musia byť najmenšie celé čísla.
5. V prípade časticového zápisu si musíme pomôcť bilanciou náboja.

Pri určovaní stechiometrických koeficientov látok v chemických rovniciach, v ktorých sú uvedené aj ióny, používame popri zákone zachovania počtu jednotlivých druhov atómov, resp. skupín atómov aj zákon zachovania náboja. **Zákon zachovania elektrického náboja** platí pre sústavy obsahujúce elektricky nabitú časticu, podľa ktorého súčet kladných a záporných nábojov v izolovanej sústave zostáva konštantný. Ak je sústava zložená z častíc A, B, ..., ktorých počet je $N(A)$, $N(B)$, ... a jednotlivé častice majú náboj $Q(A)$, $Q(B)$, ..., môžeme zákon zachovania náboja pre takúto sústavu vyjadriť

$$N(A) Q(A) + N(B) Q(B) + \dots = \text{const} \quad (5.2)$$

alebo všeobecne

$$\sum_i N_i Q_i = \text{const} \quad (5.3)$$

Elektrický náboj Q je kvantovaný, takže náboj Q môže predstavovať len celistvé násobky elementárneho náboja e

$$Q = z e \quad (5.4)$$

kde $z = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ je **nábojové číslo**, ktoré vyjadruje číselnú hodnotu a znamienko náboja Q v jednotkách elementárneho náboja $e = 1,60217733(49) \cdot 10^{-19}$ C. Nositeľom kladného elementárneho náboja $+e$ je protón, záporného elementárneho náboja $-e$ elektrón. Rovnicu vyjadrujúcu zákon zachovania náboja môžeme potom vyjadriť v tvare

$$\sum_i N_i z_i = \text{const} \quad (5.5)$$

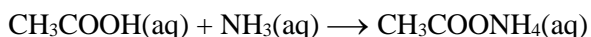
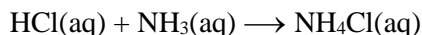
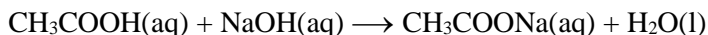
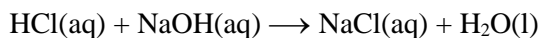
Pri chemických dejoch sa súčet nábojov reaktantov rovná súčtu nábojov produktov.

V chémii sa na vyjadrenie náboja častíc používa symbolika X^z , pričom znamienko „+“ alebo „-“ sa píše za číselnú hodnotu nábojového čísla z , napr. K^+Br^- (číslo 1 sa nepíše), SO_4^{2-} , $[CuCl_4]^{2-}$ a pod.

Každý zápis chemickej reakcie musí byť v súlade so zákonom zachovania počtu atómov každého prvku a so zákonom zachovania elektrického náboja častíc v chemickej reakcii.

5.1 Acidobázické reakcie

Acidobázické reakcie sú chemické reakcie medzi kyselinami a zásadami, napr.



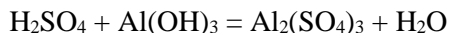
5.1.1 Riešené príklady

5.1.1 Vo vodnom roztoku prebieha acidobázická reakcia kyseliny sírovej a práškoveho hydroxidu hlinitého.

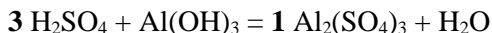
- Určite stechiometrické koeficienty jednotlivých látok.
- V stavovom tvare napíšte rovnicu danej chemickej reakcie.

Riešenie:

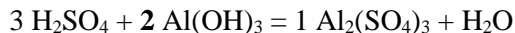
Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie.



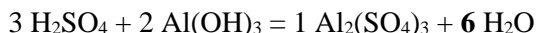
Krok 2: Nájdeme atómy, ktoré sa vpravo a vľavo vyskytujú len v jednom chemickom vzorci. V tomto prípade sú to atómy S a Al. Začneme bilancovať napr. atómy S. Keďže viac atómov S je vo vzorci $Al_2(SO_4)_3$ vpravo, napíšeme pred túto látku (zatiaľ) stechiometrický koeficient 1. Tým sme určili počet atómov S vpravo, teda pre H_2SO_4 vľavo napíšeme stechiometrický koeficient 3.



Podobne bilancujeme aj atómy Al. Keďže stechiometrický koeficient $Al_2(SO_4)_3$ vpravo je už určený, pre $Al(OH)_3$ vľavo napíšeme stechiometrický koeficient 2.



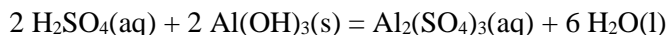
Krok 3: Ostáva určiť stechiometrický koeficient H_2O vpravo. Bilancujeme atómy H: vľavo ich je 12, takže pre H_2O vpravo napíšeme stechiometrický koeficient 6.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 18.

Krok 4: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení nájdených stechiometrických koeficientov a symbolov skupenských stavov látok zapišeme chemickú rovnicu v tvare

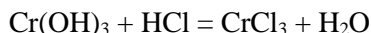


5.1.2 Zapište v stavovom tvare rovnicu acidobázickej reakcie, ktorej produktmi sú chlorid chromitý a voda.

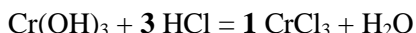
Riešenie:

Keďže produktmi chemickej reakcie sú soľ a voda, ide o acidobázickú reakciu kyseliny chlorovodíkovej a hydroxidu chromitého.

Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie.



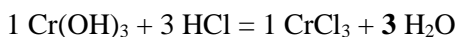
Krok 2: Atómy Cr a Cl sa vyskytujú len v jednom chemickom vzorci na oboch stranách rovnice. Viac atómov Cl je vo vzorci CrCl_3 vpravo, preto napíšeme pred túto látku (zatiaľ) stechiometrický koeficient 1. Tým sme určili počet atómov Cl vpravo, teda pre HCl vľavo napíšeme stechiometrický koeficient 3.



Podobne bilancujeme aj atómy Cr. Keďže stechiometrický koeficient CrCl_3 vpravo je už určený, pre Cr(OH)_3 vľavo napíšeme stechiometrický koeficient 1.



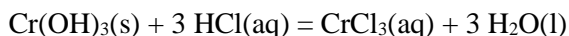
Krok 3: Ostáva určiť stechiometrický koeficient H_2O vpravo. Bilancujeme atómy H: vľavo ich je 6, takže pre H_2O vpravo napíšeme stechiometrický koeficient 3.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 3.

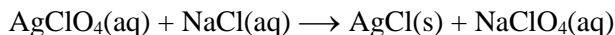
Krok 4: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení nájdených stechiometrických koeficientov a symbolov skupenských stavov látok zapišeme chemickú rovnicu v tvare

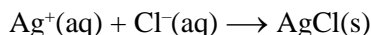


5.2 Vylučovacie reakcie

Vylučovacie reakcie sú chemické reakcie, pri ktorých sa aspoň jeden z produktov vylučuje z reakčnej sústavy, čím sa znižuje jeho koncentrácia v reakčnej sústave. Vylučovacie reakcie sú heterogénne reakcie, pri ktorých vzniká buď málo rozpustná látka (zrážacia reakcia) alebo málo rozpustná kvapalná látka alebo plynná látka. Napr. chemickou reakciou chloristanu strieborného s chloridom sodným vo vodnom roztoku sa vyzráža chlorid strieborný.

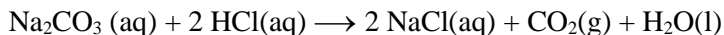


Časticový zápis tohto chemického deja je

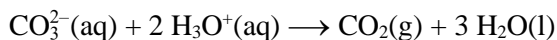


čo znamená, že vo vodnom roztoku chemickou reakciou rozpustnej striebornej soli s roztokom rozpustného chloridu vznikne málo rozpustný chlorid strieborný.

Ako príklad vylučovacej reakcie, kde vzniká plynný produkt možno uviesť chemickú reakciu kyseliny chlorovodíkovej s uhličitanom sodným vo vodnom roztoku, pri ktorej sa uvoľňuje plynný oxid uhličitý.

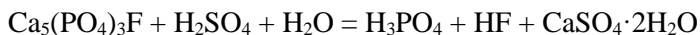


Časticový zápis tohto chemického deja je



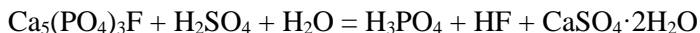
5.2.1 Riešené príklady

5.2.1 Určite stechiometrické koeficienty látok vo vylučovacej reakcii, kde vzniká málo rozpustný síran vápenatý.

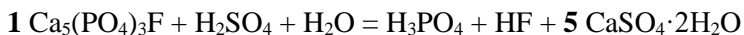


Riešenie:

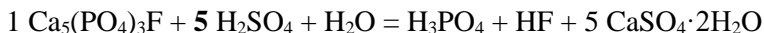
Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie.



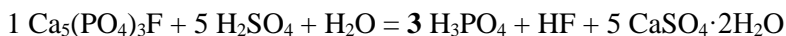
Krok 2: Okrem atómov H a O sa atómy prvkov vyskytujú len v jednej látke na oboch stranách rovnice. Bilanciu uvedeného deja začneme napr. s Ca.



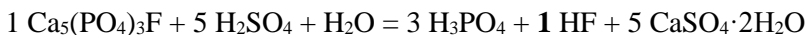
Bilancia S:



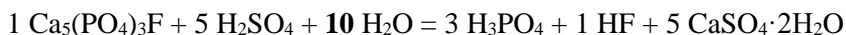
Bilancia P:



Bilancia F:



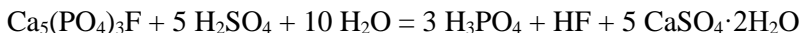
Krok 3: Bilancia H: vpravo $3 \cdot 3 + 1 \cdot 1 + 5 \cdot 2 \cdot 2 = 30$, vľavo $5 \cdot 2 + |\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 2 = 30$. Z toho $|\nu(\text{H}_2\text{O})| = 10$.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 42.

Krok 4: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení nájdených stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



5.2.2 Pôsobením kyseliny chlorovodíkovej na tuhý sulfid sodný sa uvoľňuje plynný produkt a vzniká roztok chloridu sodného. Napíšte odpovedajúcu rovnicu vylučovacej reakcie a) v stavovom zápise, b) v časticovom zápise.

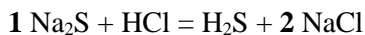
Riešenie:

Krok 1: Jeden z reaktantov je sulfid sodný, preto ako plynný produkt musíme doplniť zlúčeninu, v ktorej je sulfidový anión. Pre danú reakciu je to sulfán.

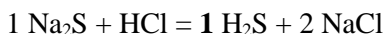


Krok 2:

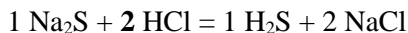
Bilancia Na:



Bilancia S:



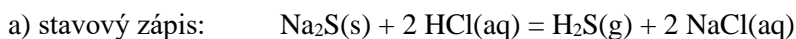
Bilancia Cl:



Krok 3: Nakoniec bilancujeme atómy H: vľavo aj vpravo je ich počet 2.

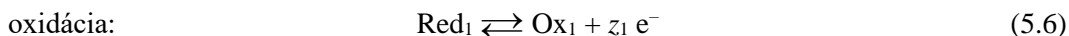
Krok 4: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení nájdených stechiometrických koeficientov a symbolov skupenských stavov látok zapíšeme chemickú rovnicu v tvare

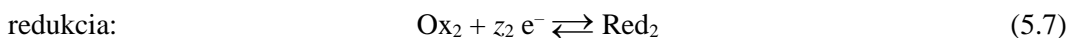


5.3 Redoxné reakcie

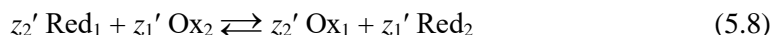
Redoxné (oxidačno-redukčné) reakcie sú chemické reakcie, pri ktorých niektoré atómy menia svoje oxidačné čísla. Ak sa oxidačné číslo atómu zväčšuje, ide o oxidáciu, ak sa oxidačné číslo atómu znižuje, ide o redukciu. Látka, ktorá sa oxiduje, je redukovadlo, látka, ktorá sa redukuje, je oxidovadlo. Redukovadlo (látka v redukovanej forme Red_1) sa oxidáciou mení na oxidovanú formu Ox_1 .



Oxidovadlo (látka v oxidovanej forme Ox_2) sa redukciou mení na redukovanú formu Red_2 .



Redoxná reakcia je potom kombináciou týchto oboch (alebo viacerých) polreakcií.



Pri zostavovaní redoxnej rovnice z rovníc polreakcií treba dodržiavať zásadu, že obe rovnice polreakcií musia obsahovať rovnaký počet elektrónov $N(\text{e}^-)$, tj.



Nevyhnutnou podmienkou pre určenie stechiometrických koeficientov reaktantov a produktov v rovnici redoxnej reakcie je správne určenie oxidačných čísel atómov prítomných prvkov. Oxidačné čísla atómov viazaných prvkov môžu mať buď kladné alebo záporné hodnoty a zapisujú sa rímskymi číslami, pričom znamienko + sa neuvádza (napr. Al^{III} , $\text{S}^{-\text{II}}$).

5.3.1 Pravidlá pre určovanie oxidačných čísel

1. Atóm prvku v nezlúčenom stave, ako aj v jednoduchých látkach má oxidačné číslo 0 (Fe^0 , Cl_2^0 , S_8^0).
2. Atóm vodíka má oxidačné číslo I v zlúčeninách s nekovmi alebo polokovmi (napr. PH_3 , H_2Se) a $-I$ v binárnych zlúčeninách s alkalickými kovmi a kovmi alkalických zemín (napr. NaH , CaH_2).
3. Atóm kyslíka má skoro vždy oxidačné číslo $-II$, okrem väzby v peroxidoch (O_2) $^{-II}$; superoxidoch (O_2) $^{-I}$; ozonidoch (O_3) $^{-I}$ a okrem tých prípadov, keď je viazaný s atómom fluóru napr. O^{II}F_2 , (O_2) $^{II}\text{F}_2$.
4. V zlúčeninách, v ktorých nie je vodík a kyslík, treba pri určovaní oxidačného čísla atómov vychádzať z elektronegativity jednotlivých prvkov a z väzbovosti, ktorú môžu jednotlivé atómy nadobudnúť v zlúčenine (napr. $\text{P}^{III}\text{Cl}_3^{-I}$, $\text{C}^{IV}\text{F}_4^{-I}$).
5. Maximálne oxidačné čísla atómov prvkov sú väčšinou totožné s počtom ich valenčných elektrónov.
6. Viazanie ligandu na centrálny atóm v komplexnej zlúčenine nevyvoláva zmenu oxidačného čísla ani centrálnemu atómu, ani donorového atómu ligandu.
7. V zlúčeninách, kde sú navzájom viazané rovnaké atómy, oxidačné číslo pripadajúce na jeden takýto atóm môže nadobúdať necelistvú hodnotu, v takýchto prípadoch určujeme zvyčajne oxidačné číslo homoatómovej skupiny (napr. (N_3) $^{-I}$ v HN_3 , (O_3) $^{-I}$ v KO_3 , (S_4) X v $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$).
8. Oxidačné číslo v jednoatómovom ióne sa rovná náboju iónu, napr. Na^I v Na^+ , Al^{III} v Al^{3+} , Cl^{-I} v Cl^- , S^{-II} v S^{2-} .
9. V neutrálnych zlúčeninách je súčet oxidačných čísel všetkých atómov 0.
10. Vo viacatómových iónoch je súčet oxidačných čísel všetkých atómov rovný celkovému náboju iónu. Napr. PO_4^{3-} má náboj -3 a súčet oxidačných čísel všetkých atómov v PO_4^{3-} je $V + 4 \cdot (-II) = -III$.

5.3.2 Riešené príklady

5.3.1 Určite oxidačné čísla atómov: a) fosforu v $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, b) jódu v $\text{H}_3\text{IO}_6^{2-}$.

Riešenie:

Príklad riešime pomocou vzťahu (5.5) s využitím pravidiel pre oxidačné čísla atómov a atómových skupín.

a) $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ obsahuje dva atómy vápnika, dva atómy fosforu a sedem atómov kyslíka. Oxidačné číslo vápnika $z(\text{Ca}) = II$ (pravidlo 5, druhá skupina periodickej sústavy prvkov), kyslíka $z(\text{O}) = -II$ (pravidlo 3). Molekula $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ je elektroneutrálna (pravidlo 9). Vzťah (5.5) zapíšeme v tvare

$$N(\text{Ca})z(\text{Ca}) + N(\text{P})z(\text{P}) + N(\text{O})z(\text{O}) = 0$$

po dosadení číselných hodnôt dostaneme

$$2 \cdot II + 2 \cdot z(\text{P}) + 7 \cdot (-II) = 0 \Rightarrow z(\text{P}) = V$$

☑ Oxidačné číslo atómu fosforu v $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ je V.

b) Pre anión $\text{H}_3\text{IO}_6^{2-}$ na základe vzťahu (5.5) a pravidla 10 možno zapísať

$$N(\text{H})z(\text{H}) + N(\text{I})z(\text{I}) + N(\text{O})z(\text{O}) = -II$$

po dosadení číselných hodnôt dostaneme

$$3 \cdot \text{I} + 1 \cdot z(\text{I}) + 6 \cdot (-\text{II}) = -\text{II} \Rightarrow z(\text{I}) = \text{VII}$$

☑ Oxidačné číslo atómu jódu v anióne $\text{H}_3\text{IO}_6^{2-}$ je VII.

5.3.2 Určite oxidačné čísla: a) skupiny atómov I_3 v KI_3 , b) skupiny atómov S_5 v $\text{S}_5\text{O}_6^{2-}$, c) atómu Cu v $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, d) atómu Cr v $[\text{CrCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+$.

Riešenie:

a) V zlúčenine KI_3 je $N(\text{K}) = 1$, $z(\text{K}) = \text{I}$, $N(\text{I}_3) = 1$. Po dosadení do (5.5) dostaneme

$$N(\text{K})z(\text{K}) + N(\text{I}_3)z(\text{I}_3) = 0$$

$$1 \cdot \text{I} + 1 \cdot z(\text{I}_3) = 0 \Rightarrow z(\text{I}_3) = -\text{I}$$

☑ Oxidačné číslo skupiny atómov I_3 je $-\text{I}$.

b) V anióne $\text{S}_5\text{O}_6^{2-}$ je $N(\text{S}_5) = 1$, $N(\text{O}) = 6$, $z(\text{O}) = -\text{II}$. Po dosadení do (5.5) dostaneme

$$N(\text{S}_5)z(\text{S}_5) + N(\text{O})z(\text{O}) = -\text{II}$$

$$1 \cdot z(\text{S}_5) + 6 \cdot (-\text{II}) = -\text{II} \Rightarrow z(\text{S}_5) = \text{X}$$

☑ Oxidačné číslo skupiny atómov S_5 je X.

c) V zlúčenine $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ je $N(\text{Cu}) = 2$, $N(\text{C}) = 1$, $z(\text{C}) = \text{IV}$, $N(\text{O}) = 5$, $z(\text{O}) = -\text{II}$, $N(\text{H}) = 2$, $z(\text{H}) = \text{I}$. Po dosadení do (5.5) dostaneme

$$N(\text{Cu})z(\text{Cu}) + N(\text{C})z(\text{C}) + N(\text{N})z(\text{N}) + N(\text{H})z(\text{H}) = 0$$

$$2 \cdot z(\text{Cu}) + 1 \cdot \text{IV} + 5 \cdot (-\text{II}) + 2 \cdot \text{I} = 0 \Rightarrow z(\text{Cu}) = \text{II}$$

☑ Oxidačné číslo atómu meďi je II.

d) V katióne $[\text{CrCl}_2(\text{NH}_3)_4]^+$ je $N(\text{Cr}) = 1$, $N(\text{Cl}) = 2$, $z(\text{Cl}) = -\text{I}$, $N(\text{N}) = 4$, $z(\text{N}) = -\text{III}$, $N(\text{H}) = 12$, $z(\text{H}) = \text{I}$. Po dosadení do (5.5) dostaneme

$$N(\text{Cr})z(\text{Cr}) + N(\text{Cl})z(\text{Cl}) + N(\text{N})z(\text{N}) + N(\text{H})z(\text{H}) = 1$$

$$1 \cdot z(\text{Cr}) + 2 \cdot (-\text{I}) + 4 \cdot (-\text{III}) + 12 \cdot \text{I} = 1 \Rightarrow z(\text{Cr}) = \text{III}$$

☑ Oxidačné číslo atómu chrómu je III.

5.3.3 Bilancovanie redoxných rovníc

- Zapišeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov. Keďže stechiometrické koeficienty jednotlivých látok nepoznáme, namiesto znaku rovnosti „=" budeme písať znak „~“ oddeľujúci reaktanty a produkty.
- Zistíme, ktoré atómy menia oxidačné číslo a napíšeme príslušné polreakcie oxidácie a redukcie. Pri zápise polreakcií musíme rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.
- Upravíme polreakcie tak, aby platilo pravidlo (5.9).
- Sčítame polreakcie a zapišeme celkovú redoxnú zmenu.
- V prípade, že ide o časticový zápis, musíme urobiť nábojovú bilanciu podľa (5.5).
- Bilancujeme počet atómov prvkov, ktoré nemedia svoje oxidačné čísla, tj. nezúčastňujú sa na redoxnom procese.

7. Skontrolujeme, či sú počty atómov jednotlivých prvkov na obidvoch stranách rovnice rovnaké. Stechiometrické koeficienty látok musia byť najmenšie celé čísla. Až po tomto kroku je zapísaná schéma chemickou rovnicou, tj. môžeme použiť znak rovnosti „=“.

5.3.4 Riešené príklady

5.3.4 Reakciou oxidu železitého s uhlíkom pri vysokej teplote vzniká železo a oxid uhličitý. Zapište rovnicu tejto chemickej reakcie.

Riešenie:

Úlohu možno riešiť tromi spôsobmi.

1. riešenie postupom pre neredoxné reakcie

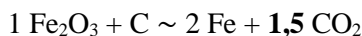
Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie.



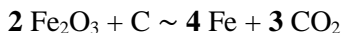
Krok 2: Atómy všetkých troch prvkov sa vyskytujú len v jednom chemickom vzorci na obidvoch stranách rovnice. Bilancovať začneme napr. atómy Fe. Viac atómov Fe je vo vzorci Fe_2O_3 vľavo, preto napíšeme pred túto látku (zatiaľ) stechiometrický koeficient 1. Tým sme určili počet atómov C vľavo, teda pre Fe vpravo napíšeme stechiometrický koeficient 2.



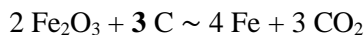
Bilancia C zatiaľ nie je možná, lebo nepoznáme stechiometrické koeficienty ani C, ani CO_2 .
Bilancia O:



Keďže stechiometrické koeficienty musia byť najmenšie celé čísla, vynásobíme celú rovnicu číslom 2:

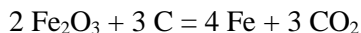


Bilancia C:



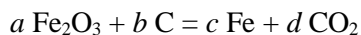
Krok 3: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapišeme chemickú rovnicu v tvare



2. riešenie sústavou rovníc

Zapišeme chemickú reakciu so všeobecnými stechiometrickými koeficientmi a, b, \dots



Bilanciu počtu atómov jednotlivých prvkov môžeme vyjadriť sústavou lineárnych rovníc

Bilancia Fe: $2a + 0b = 1c + 0d$

Bilancia O: $3a + 0b = 0c + 2d$

Bilancia C: $0a + 1b = 0c + 1d$

Sústava troch rovníc o štyroch neznámych má nekonečne veľa riešení, lebo jeden z neznámych koeficientov musíme ľubovoľne určiť. Ak napr. $a = 1$, potom jednotlivé bilancie nadobudnú tvar

$$\text{Bilancia Fe:} \quad 2 = c$$

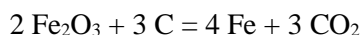
$$\text{Bilancia O:} \quad 3 = 2d$$

$$\text{Bilancia C:} \quad b = d$$

Z čoho vyplýva riešenie $a = 1$, $b = 1,5$, $c = 2$, $d = 1,5$.

Keďže stechiometrické koeficienty musia byť najmenšie celé čísla, vynásobíme ich všetky číslom 2, čím dostaneme riešenie $a = 2$, $b = 3$, $c = 4$, $d = 3$.

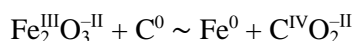
☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



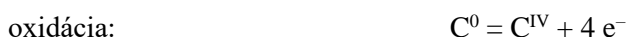
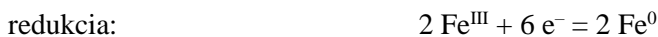
3. riešenie pomocou polreakcií oxidácie a redukcie

Pri redoxných reakciách možno stechiometrické koeficienty jednoduchšie určiť zo zmeny oxidačných čísel atómov prvkov, ktoré menia svoje oxidačné čísla.

Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.

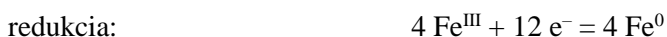


Krok 2: Zapíšeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

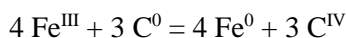


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 2 a rovnicu oxidácie číslom 3.



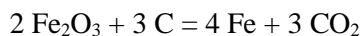
Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.



Tým získame všetky stechiometrické koeficienty.

Krok 5: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



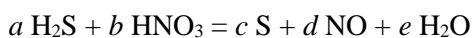
5.3.5 Reakciou sulfánu s kyselinou dusičnou vzniká síra, oxid dusnatý a voda. Zapíšte túto redoxnú reakciu.

Riešenie:

Úlohu vyriešime dvoma spôsobmi.

1. riešenie sústavou rovníc

Zapíšeme chemickú reakciu so všeobecnými stechiometrickými koeficientmi a , b ,...



Bilanciu počtu atómov jednotlivých prvkov môžeme vyjadriť sústavou lineárnych rovníc

$$\text{Bilancia H:} \quad 2a + 1b = 0c + 0d + 2e$$

$$\text{Bilancia S:} \quad 1a + 0b = 1c + 0d + 0e$$

$$\text{Bilancia N:} \quad 0a + 1b = 0c + 1d + 0e$$

$$\text{Bilancia O:} \quad 0a + 3b = 0c + 1d + 1e$$

Sústava štyroch rovníc o piatich neznámych má nekonečne veľa riešení, lebo jeden z neznámych koeficientov musíme ľubovoľne určiť. Ak napr. $a = 1$, potom jednotlivé bilancie nadobudnú tvar

$$\text{Bilancia H:} \quad 2a + b = 2e$$

$$\text{Bilancia S:} \quad a = c$$

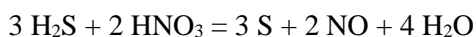
$$\text{Bilancia N:} \quad b = d$$

$$\text{Bilancia O:} \quad 3b = d + e$$

Z čoho vyplýva riešenie $a = 1$, $b = 2/3$, $c = 1$, $d = 2/3$, $e = 4/3$.

Keďže stechiometrické koeficienty musia byť najmenšie celé čísla, vynásobíme ich všetky číslom 3, čím dostaneme riešenie $a = 3$, $b = 2$, $c = 3$, $d = 2$, $e = 4$.

■ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



2. riešenie pomocou polreakcií oxidácie a redukcie

Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapíšeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

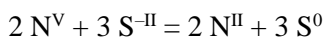


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

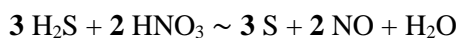
Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 2 a rovnicu oxidácie číslom 3.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.

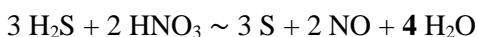


Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.



Krok 5: Bilancujeme počet atómov vodíka, ktoré nemenia svoje oxidačné číslo.

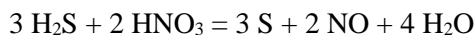
Bilancia H: vľavo $3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 8$, vpravo $|\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 2 = 8$. Z toho $|\nu(\text{H}_2\text{O})| = 4$.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 6.

Krok 6: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare

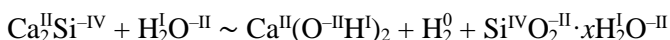


Poznámka: Ďalšie úlohy budeme riešiť len pomocou polreakcií oxidácie a redukcie.

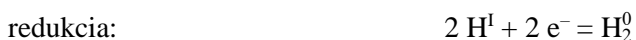
5.3.6 Napíšte chemickú rovnicu reakcie silicidu vápenatého s vodou (hydrolyza).

Riešenie:

Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapíšeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

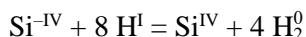


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 4.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.



Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.

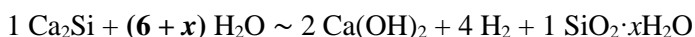


Krok 5: Bilancujeme počet atómov vápnika a vodíka, ktoré nemenia svoje oxidačné čísla.

Bilancia Ca: vľavo $1 \cdot 2 = 2$, vpravo $|\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2)| \cdot 1 = 2$. Z toho $|\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2)| = 2$.



Bilancia H: časť atómov vodíka nepodlieha redukcii, hodnota stechiometrického koeficientu H_2O vľavo preto nebude 4, ale viac. Vpravo $2 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 1 \cdot 2x = 12 + 2x$, vľavo $4 \cdot 2 = 8$, tj. vľavo musíme pridať $4 + 2x$ atómov vodíka vo forme $2 + x$ molekúl H_2O .



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet $6 + x$.

Krok 6: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

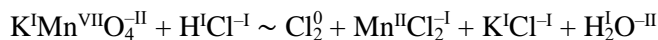
☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.7 Reakciou manganistanu draselného s kyselinou chlorovodíkovou sa uvoľňuje plynný chlór a vzniká chlorid mangánatý, chlorid draselný, voda. Zapíšte túto reakciu.

Riešenie:

Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapišeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

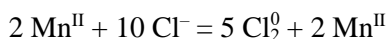


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

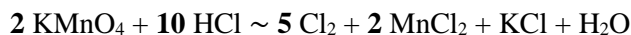
Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 2 a rovnicu oxidácie číslom 5.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapišeme celkovú redoxnú zmenu.

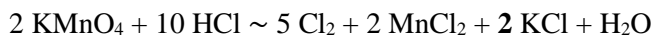


Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.

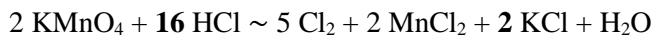


Krok 5: Bilancujeme počet atómov draslíka, ktoré nemenia svoje oxidačné číslo.

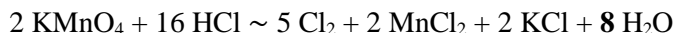
Bilancia K: vľavo 2 . 1 = 2, vpravo $|\nu(\text{KCl})| \cdot 1 = 2$. Z toho $|\nu(\text{KCl})| = 2$.



Bilancia Cl: časť atómov chlóru nepodlieha redukcii, hodnota stechiometrického koeficientu HCl vľavo preto nebude 10, ale viac. Vpravo $5 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 16$, vľavo $10 \cdot 1 = 10$, tj. vľavo musíme pridať 6 atómov chlóru vo forme 6 molekúl HCl.



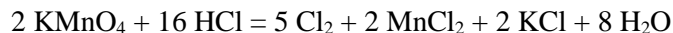
Bilancia H: vľavo $16 \cdot 1 = 16$, vpravo $|\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 2 = 16$. Z toho $|\nu(\text{H}_2\text{O})| = 8$.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 8.

Krok 6: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapišeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.8 Pražením disulfidu kobaltnatého je možné pripraviť oxid kobaltitý a oxid siričitý. Zapište uvedenú chemickú reakciu.

Riešenie:

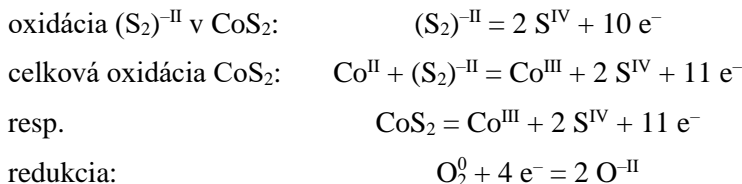
Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



V disulfide kobaltnatom CoS_2 sú dva atómy síry navzájom viazané, vytvárajú teda skupinu atómov, preto vhodnejší je zápis $(\text{S}_2)^{-\text{II}}$ namiesto $\text{S}_2^{-\text{I}}$.

Krok 2: Zapišeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.





V tomto prípade musíme rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v CoS_2 , pretože sa v ňom súčasne redoxne menia atómy dvoch prvkov. V takom prípade rovnice jednotlivých polreakcií v tej istej zlúčenine vynásobíme vhodnými číslami, spočítame ich a zapíšeme rovnicu výslednej redoxnej zmeny.

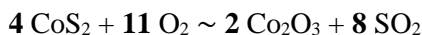
Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 11 a rovnicu celkovej oxidácie číslom 4.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.



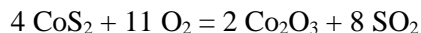
Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.



Krok 5: Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 22.

Krok 6: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.9 Vo vodnom roztoku sa hydrazín pomaly disproportionuje na amoniak a dusík. Zapíšte uvedenú chemickú reakciu.

Riešenie:

Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



V molekule hydrazínu N_2H_4 sú dva atómy dusíka navzájom viazané, vytvárajú teda skupinu atómov, preto vhodnejší je zápis $(N_2)^{-IV}$ namiesto N_2^{-II} .

Krok 2: Zapíšeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

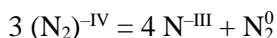


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 2.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.



Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.

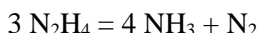


Krok 5: Bilancujeme počet atómov vodíka, ktoré nemenia svoje oxidačné číslo.

Bilancia H: vľavo $3 \cdot 2 = 6$, vpravo $4 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 6$.

Krok 6: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.10 Pražením (reakciou so vzdušným kyslíkom pri vysokej teplote) arzenovej rudy arzenopyritu FeAsS sa získava oxid arzenitý As_4O_6 . Produktmi reakcie sú aj oxid železitý a oxid siričitý. Zapište uvedenú chemickú reakciu.

Riešenie:

Krok 1: Zapíšeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapíšeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

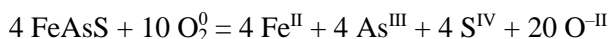


V tomto prípade musíme rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v FeAsS , pretože sa v ňom súčasne redoxne menia atómy troch prvkov. V takom prípade rovnice jednotlivých polreakcií v tej istej zlúčenine vynásobíme vhodnými číslami, spočítame ich a zapíšeme rovnicu výslednej redoxnej zmeny.

Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 10 a rovnicu oxidácie číslom 4.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapíšeme celkovú redoxnú zmenu.



Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 20.

Krok 5: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

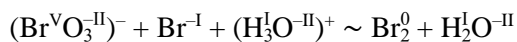
☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov zapíšeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.11 Reakcia bromičnanov s bromidmi v kyslom prostredí je synproporcionačná reakcia, pri ktorej vzniká bróm a voda. Zapište uvedený dej v časticovom zápise.

Riešenie:

Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapišeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.



pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

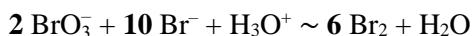
Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu oxidácie vynásobíme číslom 5.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapišeme celkovú redoxnú zmenu.

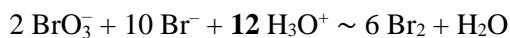


Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.



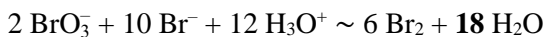
Krok 5: Bilancovať počet atómov vodíka a kyslíka, ktoré nemedia svoje oxidačné čísla, nie je možné, lebo zatiaľ nepoznáme stechiometrické koeficienty ani H_3O^+ , ani H_2O . Preto musíme využiť nábojovú bilanciáciu podľa (5.5).

Bilancia náboja: vpravo $6 \cdot 0 + |\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 0 = 0$, vľavo $2 \cdot (-1) + 10 \cdot (-1) + |\nu(\text{H}_3\text{O}^+)| \cdot 1 = 0$. Z toho $|\nu(\text{H}_3\text{O}^+)| = 12$.



Krok 6: Bilancujeme počet atómov vodíka, ktoré nemedia svoje oxidačné číslo.

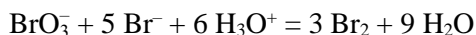
Bilancia H: vľavo $12 \cdot 3 = 36$, vpravo $|\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 2 = 36$ Z toho $|\nu(\text{H}_2\text{O})| = 18$.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 18.

Krok 7: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

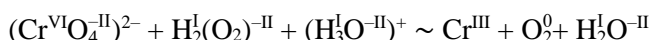
■ Po doplnení stechiometrických koeficientov a vydelení celej rovnice číslom 2 zapišeme chemickú rovnicu v tvare



5.3.12 Peroxid vodíka redukuje v kyslom prostredí chrómany na chromité soli, pričom sa uvoľňuje kyslík. Zapište chemickú rovnicu pre túto reakciu v časticovom zápise.

Riešenie:

Krok 1: Zapišeme schému chemickej reakcie a vyznačíme oxidačné čísla všetkých atómov.



Krok 2: Zapišeme rovnice polreakcií redukcie a oxidácie.

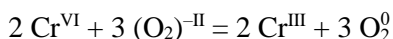


pri týchto zápisoch rešpektujeme stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.

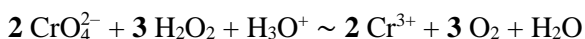
Krok 3: Rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.9), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme číslom 2 a rovnicu oxidácie číslom 3.



Krok 4: Sčítame čiastkové deje a zapišeme celkovú redoxnú zmenu.

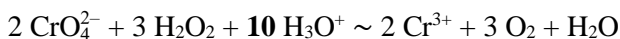


Získané stechiometrické koeficienty doplníme do schémy chemickej reakcie.



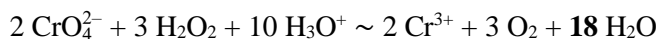
Krok 5: Bilancovať počet atómov vodíka a kyslíka, ktoré nemenia svoje oxidačné čísla, nie je možné, lebo zatiaľ nepoznáme stechiometrické koeficienty ani H_3O^+ , ani H_2O . Preto musíme využiť nábojovú bilanciáciu podľa (5.5).

Bilancia náboja: vpravo $2 \cdot 3 + 3 \cdot 0 + |\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 0 = 6$, vľavo $2 \cdot (-2) + 3 \cdot 0 + |\nu(\text{H}_3\text{O}^+)| \cdot 1 = 6$. Z toho $|\nu(\text{H}_3\text{O}^+)| = 10$.



Krok 6: Bilancujeme počet atómov vodíka, ktoré nemenia svoje oxidačné číslo.

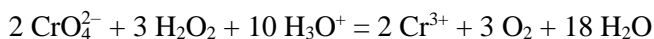
Bilancia H: vľavo $3 \cdot 2 + 10 \cdot 3 = 36$, vpravo $|\nu(\text{H}_2\text{O})| \cdot 2 = 36$ Z toho $|\nu(\text{H}_2\text{O})| = 18$.



Nakoniec bilancujeme atómy O: vľavo aj vpravo je ich počet 24.

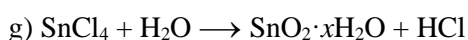
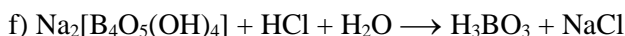
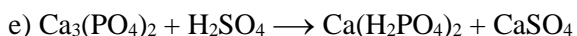
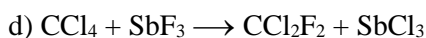
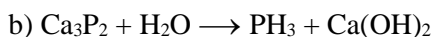
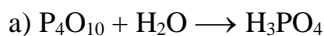
Krok 7: Počty všetkých atómov na ľavej aj pravej strane rovnice sú rovnaké.

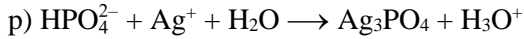
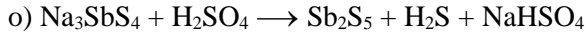
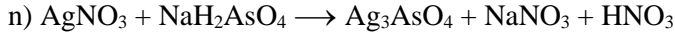
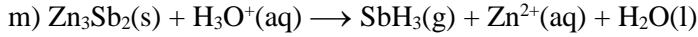
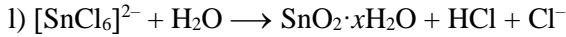
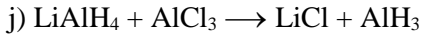
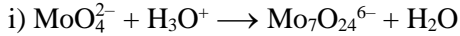
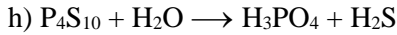
☑ Po doplnení stechiometrických koeficientov a vydelení celej rovnice číslom 2 zapišeme chemickú rovnicu v tvare



5.4 Úlohy

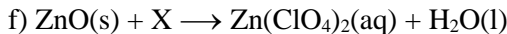
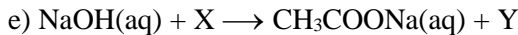
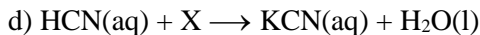
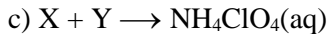
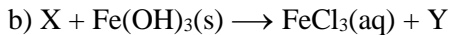
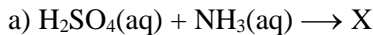
5.4.1 Doplníte stechiometrické koeficienty do nasledujúcich chemických rovníc.





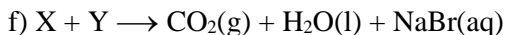
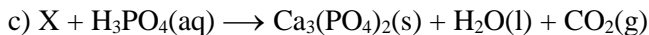
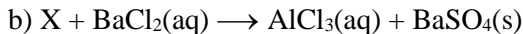
[a] 1, 6 \longrightarrow 4; b) 1, 6 \longrightarrow 2, 3; c) 6, 3 \longrightarrow 2, 1, 3; d) 3, 2 \longrightarrow 3, 2; e) 1, 2 \longrightarrow 1, 2; f) 1, 2, 3 \longrightarrow 4, 2; g) 1, (x + 2) \longrightarrow 1, 4; h) 1, 16 \longrightarrow 4, 10; i) 7, 8 \longrightarrow 1, 12; j) 3, 1 \longrightarrow 3, 4; k) 1, 6 \longrightarrow 10; l) 1, (2 + x) \longrightarrow 1, 4, 2; m) 1, 6 \longrightarrow 2, 3, 6; n) 3, 1 \longrightarrow 1, 1, 2; o) 2, 6 \longrightarrow 1, 3, 6; p) 1, 3, 1 \longrightarrow 1, 1]

5.4.2 Doplňte chýbajúce reaktanty a produkty reakcií a upravte zápisy chemických reakcií.



[a] 1, 2 \longrightarrow 1, X = $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(\text{aq})$; b) 3, 1 \longrightarrow 1, 3, X = $\text{HCl}(\text{aq})$, Y = $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$; c) 1, 1 \longrightarrow 1; X = $\text{HClO}_4(\text{aq})$, Y = $\text{NH}_3(\text{aq})$; d) 1, 1 \longrightarrow 1, 1, X = $\text{KOH}(\text{aq})$; e) 1, 1 \longrightarrow 1, 1, X = $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$, Y = $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$; f) 1, 2 \longrightarrow 1, 1, X = 2HClO_4

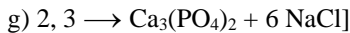
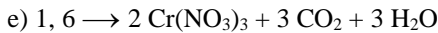
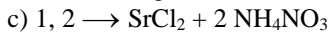
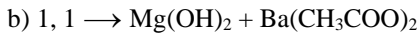
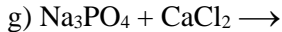
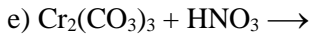
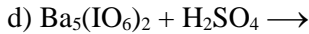
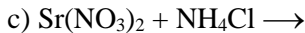
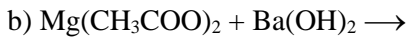
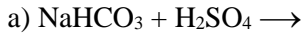
5.4.3 Doplňte chýbajúce reaktanty a produkty vylučovacích reakcií a upravte tieto zápisy.



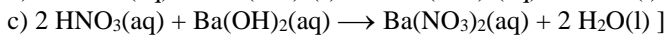
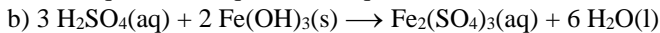
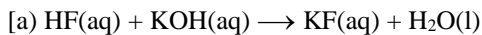
[a] 3, X = $2 \text{K}_3\text{PO}_4(\text{aq}) \longrightarrow 1, 6$; b) X = $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq})$, 3 \longrightarrow 2, 3; c) $3\text{CaCO}_3(\text{s})$, 2 \longrightarrow 1, 3, 3;

d) 1, 1 \longrightarrow X = ZnS , Y = 2NaCl ; e) 1, X = $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) \longrightarrow 1, 1$, Y = $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$; f) X = $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s})$, Y = $2 \text{HBr} \longrightarrow 1, 1, 2$.]

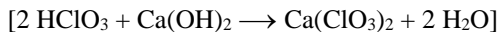
5.4.4 Doplňte produkty uvedených chemických reakcií a upravte nasledujúce zápisy.



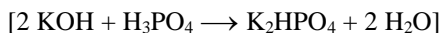
5.4.5 Zapište chemické rovnice acidobázických reakcií v stavovom zápise, ktorých produktom sú soli: a) KF, b) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, c) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.



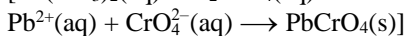
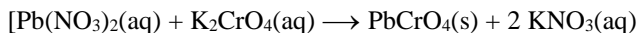
5.4.6 Doplňte produkty chemickej reakcie kyseliny chlorečnej s hydroxidom vápenatým a zapište uvedený dej chemickou rovnicou.



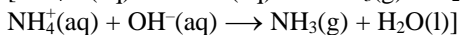
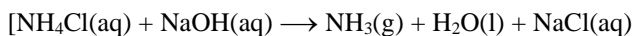
5.4.7 Produktom reakcie kyseliny trihydrogenfosforečnej s látkou X je hydrogenfosforečnan didraselný a voda. Zapište odpovedajúcu chemickú rovnicu.



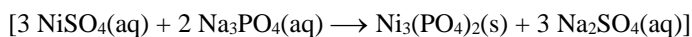
5.4.8 Zmiešaním roztokov dusičnanu olovnateho a chrómanu draselneho sa vytvorila zrazenina chrómanu olovnateho. Napište chemickú rovnicu pre danú vylučovaciu reakciu v stavovom tvare a stavovom časticovom tvare.



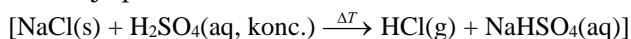
5.4.9 Napište rovnicu prípravy plynného amoniaku, ktorý vznikol reakciou vodných roztokov chloridu amónneho a hydroxidu sodného. Napište podstatu tohto chemického deja formou časticového zápisu.



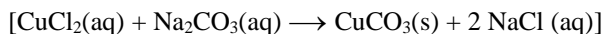
5.4.10 Síran nikelnatý reaguje s fosforečnanom trisodným za vzniku zelených kryštálov fosforečnanu trinikelnatého a vodného roztoku síranu sodného. Napíšte odpovedajúcu chemickú rovnicu.



5.4.11 Napíšte chemickú rovnicu laboratórnej prípravy plynného chlorovodíka, ktorý sa uvoľňuje pri zahrievaní tuhého chloridu sodného s koncentrovanou kyselinou sírovou.



5.4.12 Napíšte chemickú rovnicu, pri ktorej sa z roztoku chloridu meďnatého vyzráža málo rozpustný uhličitan meďnatý a vznikne roztok chloridu sodného.



5.4.13 Napíšte a upravte dané slovné zápisy chemických reakcií.

- bromid meďnatý + sulfid sodný \longrightarrow sulfid meďnatý + bromid sodný,
 - hydroxid-tris(fosforečnan) pentavápenatý + kyselina sírová \longrightarrow hydrogenfosforečnan vápenatý + síran vápenatý + voda,
 - olovnatý kation + sulfidový anión \longrightarrow sulfid olovnatý,
 - nitrid horečnatý + voda \longrightarrow hydroxid horečnatý + amoniak,
 - kyselina trihydrogenboritá + hydroxid draselný \longrightarrow tetraboritan didraselný + voda,
 - oxid sodný + voda \longrightarrow hydroxid sodný,
 - kyselina trihydrogenarzenitá + sulfán \longrightarrow sulfid arzenitý + voda.
- [a) $\text{CuBr}_2 + \text{Na}_2\text{S} \longrightarrow \text{CuS} + 2 \text{NaBr}$
b) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}) + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 3 \text{CaHPO}_4 + 2 \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
c) $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \longrightarrow \text{PbS}$
d) $\text{Mg}_3\text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3 \text{Mg}(\text{OH})_2 + 2 \text{NH}_3$
e) $4 \text{H}_3\text{BO}_3 + 2 \text{KOH} \longrightarrow \text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 7 \text{H}_2\text{O}$
f) $\text{Na}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NaOH}$
g) $\text{H}_3\text{AsO}_3 + 3 \text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{As}_2\text{S}_3 + 6 \text{H}_2\text{O}$]

5.4.14 Určite oxidačné čísla atómov.

- | | |
|--------------------------|---|
| a) N v NO_2^- | h) P v P_4 |
| b) N v NH_3 | i) Cr v K_2CrO_4 |
| c) Cl v HClO | j) As v H_3AsO_4 |
| d) Cl v ClO_4^- | k) N v Mg_3N_2 |
| e) Mn v KMnO_4 | l) Co v $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ |
| f) C v CH_4 | m) Cr v $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$ |
| g) H v SnH_4 | n) S v S_8 |

[a) III; b) - III; c) I; d) VII; e) VII; f) - IV; g) - I; h) 0; i) VI; j) V; k) - III; l) III; m) III; n) 0]

5.4.15 Určite oxidačné čísla všetkých atómov.

- a) GaN
b) K_2MnO_4
c) H_3AsO_3
d) SiH_4
e) $Na_2B_4O_7$
- f) CaH_2
g) $K_2Cr_2O_7$
h) Ca_2Si
i) NaN_3

[a) III, - III; b) I, VI, - II; c) I, III, - II; d) - IV, I; e) I, III, - II; f) II, - I; g) I, VI, - II; h) II, - IV; i) I, - 1/3]

5.4.16 Určite oxidačné čísla skupín atómov.

- a) O_2 v BaO_2
b) N_3 v $Zn(N_3)_2$
c) S_4 v $S_4O_6^{2-}$
d) S_5 v Na_2S_5
e) O_3 v KO_3

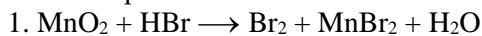
[a) $(O_2)^{-II}$; b) $(N_3)^{-I}$; c) $(S_4)^X$; d) $(S_5)^{-II}$; e) $(O_3)^{-I}$]

5.4.17 Vypočítajte počet atómov

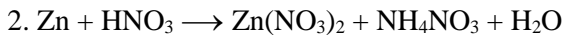
- a) kyslíka v zlúčenine NaB_5O_x , ak bór má oxidačné číslo III.
b) sodíka v $Na_xH_2IO_6$, ak oxidačné číslo jódu je VII.
c) chrómu v anióne $Cr_xO_{10}^{2-}$, ak chróm má oxidačné číslo VI.

[a) $x = 8$; b) $x = 3$; c) $x = 3$]

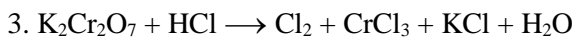
5.4.18 Doplňte stechiometrické koeficienty v zápisoch redoxných rovníc.



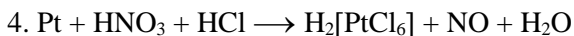
[1, 4 \rightarrow 1, 1, 2]



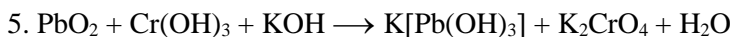
[4, 10 \rightarrow 4, 1, 3]



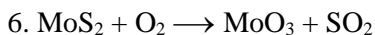
[1, 14 \rightarrow 3, 2, 2, 7]



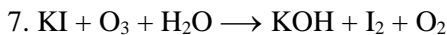
[3, 4, 18 \rightarrow 3, 4, 8]



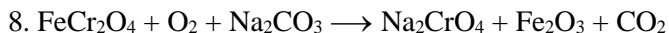
[3, 2, 7 \rightarrow 3, 2, 2]



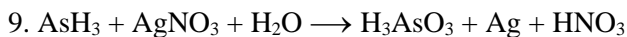
[2, 7 \rightarrow 2, 4]



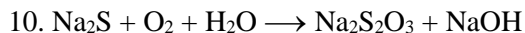
[2, 1, 1 \rightarrow 2, 1, 1]



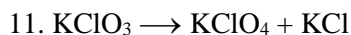
[4, 7, 8 \rightarrow 8, 2, 8]



[1, 6, 3 \rightarrow 1, 6, 6]



[2, 2, 1 \rightarrow 1, 2]



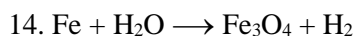
[4 \rightarrow 3, 1]



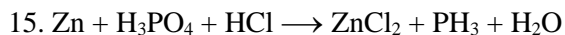
[1, 12 \rightarrow 1, 1, 9, 5]



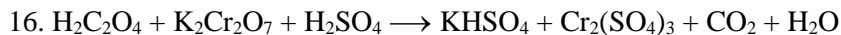
[1, 6, 7 \rightarrow 3, 1, 1, 7]



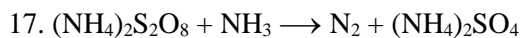
[3, 4 \rightarrow 1, 4]



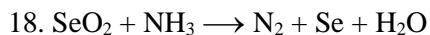
[4, 1, 8 \rightarrow 4, 1, 4]



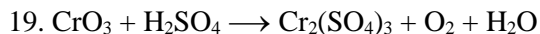
[3, 1, 5 \rightarrow 2, 1, 6, 7]



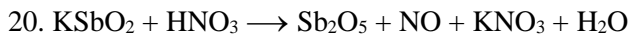
[3, 8 \rightarrow 1, 6]



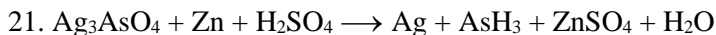
[3, 4 \rightarrow 2, 3, 6]



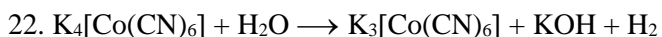
[4, 6 \rightarrow 2, 3, 6]



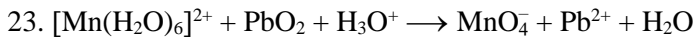
[6, 10 \rightarrow 3, 4, 6, 5]



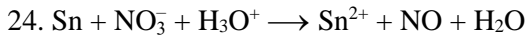
[2, 11, 11 \rightarrow 6, 2, 11, 8]



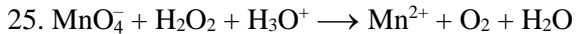
[2, 2 \rightarrow 2, 2, 1]



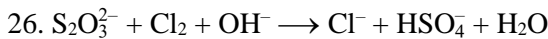
[2, 5, 4 \longrightarrow 2, 5, 18]



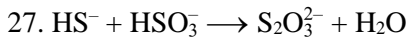
[3, 2, 8 \longrightarrow 3, 2, 12]



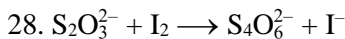
[2, 5, 4 \longrightarrow 2, 5, 18]



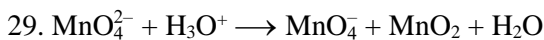
[1, 4, 8 \longrightarrow 8, 2, 3]



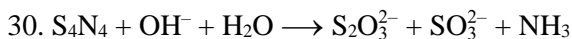
[2, 4 \longrightarrow 3, 3]



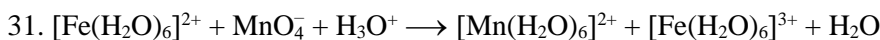
[2, 1 \longrightarrow 1, 2]



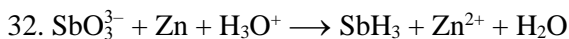
[3, 4, \longrightarrow 2, 1, 6]



[1, 6, 3 \longrightarrow 1, 2, 4]



[5, 1, 8 \longrightarrow 1, 5, 6]



[1, 3, 9 \longrightarrow 1, 3, 12]

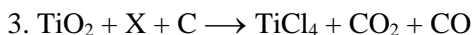
5.4.19 Doplňte chýbajúce reaktanty, resp. produkty reakcií a upravte nasledujúce zápisy.



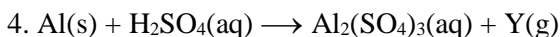
[3, X = 4 HNO₃ \longrightarrow 3, 4, 2]



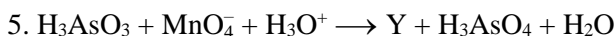
[3, 8 \longrightarrow 9, Y = 4 Al₂O₃]



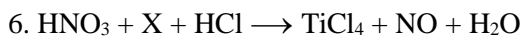
[2, X = 4 Cl₂, 3 \longrightarrow 2, 1, 2]



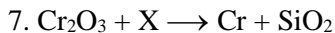
[2, 3 \longrightarrow 1, Y = 3 H₂]



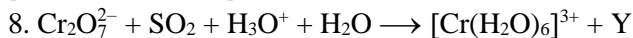
[5, 2, 6 \longrightarrow Y = 2 Mn²⁺, 5, 9]



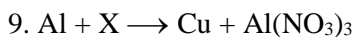
[4, X = 3 Ti, 12 \longrightarrow 3, 4, 8]



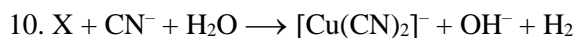
[2, X = 3 Si \longrightarrow 4, 3]



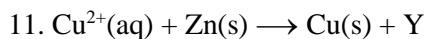
[1, 3, 2, 9 \longrightarrow 2, Y = 3 SO_4^{2-}]



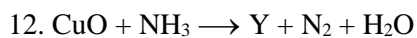
[2, X = 3 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \longrightarrow$ 3, 2]



[X = 2 Cu, 4, 2 \longrightarrow 2, 2, 1]



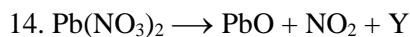
[1, 1 \longrightarrow 1, Y = $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$]



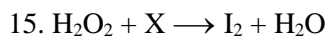
[3, 2 \longrightarrow Y = 3 Cu, 1, 3]



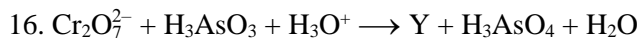
[2, 3, 2 \longrightarrow 5, Y = K_2SO_4 , 2]



[2 \longrightarrow 2, 4, Y = O_2]



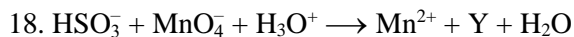
[1, X = 2 HI \longrightarrow 1, 2]



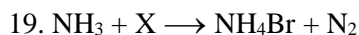
[1, 3, 8 \longrightarrow Y = 2 Cr^{3+} , 3, 12]



[X = 3 Ag(s), 4 \longrightarrow 3, 1, 2]

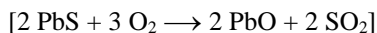


[5, 2, 1 \longrightarrow 2, 5 SO_4^{2-} , 4]

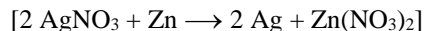


[8, X = 3 $\text{Br}_2 \longrightarrow$ 6, 1]

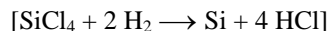
5.4.20 Napíšte chemickú rovnicu praženia sulfidu olovnatého s kyslíkom.



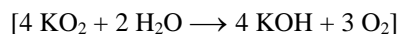
5.4.21 Chemickou rovnicou zapíšte reakciu zinku s dusičnanom strieborným vo vodnom roztoku.



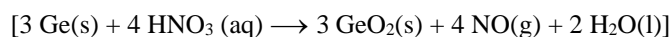
5.4.22 Aké produkty vzniknú redukciou chloridu kremičitého vodíkom? Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.



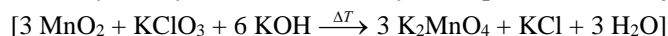
5.4.23 Rozkladom superoxidu draselného s vodou vzniká hydroxid draselný a plynný produkt. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.



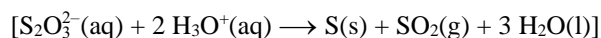
5.4.24 Germánium reaguje s kyselinou dusičnou za vzniku tuhého oxidu germaničitého, oxidu dusnatého a vody. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.



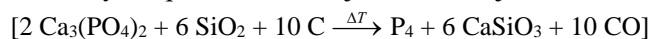
5.4.25 Mangánan draselný pripravíme tavením oxidu manganičitého s chlorečnanom draselným a hydroxidom draselným. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.



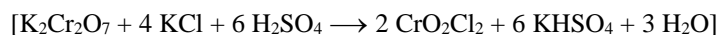
5.4.26 Ak k roztoku tiosíranu pridáme zriedený roztok kyseliny, dochádza k disproporcionácii na tuhú síru a oxid siričitý. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie v stavovom časticovom tvare.



5.4.27 Tetrafosfor pripravíme žihaním fosforečnanu trivápenatého s uhlíkom a oxidom kremičitým v elektrickej peci, pričom vzniká ako ďalší produkt kremičitan vápenatý a oxid uhoľnatý. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.



5.4.28 Dichlorid-dioxid chrómový pripravíme reakciou dichrómanu draselného s chloridom draselným v koncentrovanej kyseline sírovej. Napíšte rovnicu tejto chemickej reakcie.

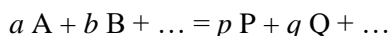


6 LÁTKOVÉ BILANCIE S CHEMICKÝM DEJOM

Chemické deje (chemické reakcie) sú deje, pri ktorých zanikajú staré a vznikajú nové chemické väzby medzi atómami, tj. deje, pri ktorých sa mení zloženie a štruktúra látok.

6.1 Rozsah reakcie

Chemické reakcie zapisujeme **chemickými rovnicami**. Chemické rovnice, okrem toho, že kvalitatívne opisujú chemické reakcie, vyjadrujú aj kvantitatívne vzťahy medzi východiskovými látkami (**reaktantmi**) a konečnými látkami (**produktmi**) chemickej reakcie. Množstvá látok, ktoré sa zúčastňujú chemickej reakcie, sa nemenia ľubovoľne, ale v určitých pomeroch daných príslušnou chemickou rovnicou.



Pomery látkových množstiev látok, ktoré zreagovali a látok, ktoré vznikli, sa vždy rovnajú pomerom ich **stochiometrických koeficientov**, čo možno pre uvedenú chemickú reakciu vyjadriť vzťahmi

$$\Delta n(A) : \Delta n(B) : \dots : \Delta n(P) : \Delta n(Q) : \dots = \nu(A) : \nu(B) : \dots : \nu(P) : \nu(Q) : \dots \quad (6.1)$$

kde $\Delta n(L) = n_k(L) - n_z(L)$ je rozdiel látkového množstva $n_k(L)$ látky L na konci chemickej reakcie a látkového množstva $n_z(L)$ látky L začiatku chemickej reakcie. Rovnicu (6.1) možno napísať aj v tvare

$$\frac{\Delta n(A)}{\nu(A)} = \frac{\Delta n(B)}{\nu(B)} = \dots = \frac{\Delta n(P)}{\nu(P)} = \frac{\Delta n(Q)}{\nu(Q)} = \dots = \Delta \xi \quad (6.2)$$

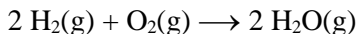
kde $\Delta \xi$ je zmena **rozsahu reakcie**, ktorý charakterizuje mieru (stupeň) priebehu chemickej reakcie.

Poznámka: Keďže látky sa skladajú z častíc, prebiehajú aj chemické reakcie diskontinuitne, tj. makroskopicky pozorovaná premena látky sa zakladá na viacerých súčasne alebo postupne prebiehajúcich jednotlivých chemických reakciách medzi časticami sústavy. Chemická reakcia zapísaná chemickou rovnicou, v ktorej absolútne hodnoty stochiometrických koeficientov sú totožné s počtom interagujúcich molekúl, sa označuje ako **základná reakčná premena**. Ak v ľubovoľnej chemickej reakcii zreagovali látkové množstvá reaktantov, ktoré sa číselne rovnajú absolútnym hodnotám ich stochiometrických koeficientov, tj. ak nastal N_A -násobok základných reakčných premien, uskutočnila sa uvažovaná chemická reakcia v rozsahu 1 mol základných reakčných premien.

Zo vzťahu (6.2) vyplýva všeobecný vzťah medzi zmenou rozsahu reakcie $\Delta \xi$, zmenou látkového množstva $\Delta n(L)$ látky L v chemickej reakcii a stochiometrickým koeficientom $\nu(L)$ látky L.

$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(L)}{\nu(L)} \quad (6.3)$$

Podľa vzťahu (6.2) je $\Delta\xi = 1$ mol, ak zmeny látkových množstiev reaktantov a produktov sa číselne rovnajú ich stechiometrickým koeficientom. Napr. podľa chemickej rovnice



ak $\Delta\xi = 1$ mol, tak zreagovali 2 móly vodíka s 1 móлом kyslíka a vznikli 2 móly vody. Podľa (6.2) pre uvedenú chemickú reakciu platí

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{H}_2)}{\nu(\text{H}_2)} = \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{H}_2\text{O})}$$

$$\Delta n(\text{H}_2) = n_k(\text{H}_2) - n_z(\text{H}_2) = 0 \text{ mol} - 2 \text{ mol} = -2 \text{ mol}; \nu(\text{H}_2) = -2$$

$$\Delta n(\text{O}_2) = n_k(\text{O}_2) - n_z(\text{O}_2) = 0 \text{ mol} - 1 \text{ mol} = -1 \text{ mol}; \nu(\text{O}_2) = -1$$

$$\Delta n(\text{H}_2\text{O}) = n_k(\text{H}_2\text{O}) - n_z(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ mol} - 0 \text{ mol} = 2 \text{ mol}; \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2$$

Záporné hodnoty Δn vyjadrujú, že dané látky v sústave pri chemickej reakcii zreagovali. Kladné hodnoty Δn vyjadrujú, že dané látky pri chemickej reakcii vznikli.

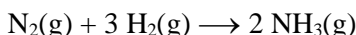
Po dosadení hodnôt

$$\Delta\xi = \frac{-2 \text{ mol}}{-2} = \frac{-1 \text{ mol}}{-1} = \frac{2 \text{ mol}}{2} = 1 \text{ mol}$$

6.1.1 Riešené príklady

6.1.1 Chemickou reakciou dusíka s vodíkom vzniklo 0,28 mol amoniaku. Vypočítajte látkové množstvo zreagovaného dusíka a vodíka.

Riešenie:



Pretože chemickou reakciou vzniklo 0,28 mol amoniaku, musel byť rozsah reakcie

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{NH}_3)}{\nu(\text{NH}_3)} = \frac{0,28 \text{ mol}}{2} = 0,14 \text{ mol}$$

Potom látkové množstvá zreagovaného dusíka a vodíka sú

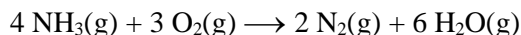
$$\Delta n(\text{N}_2) = \Delta\xi \nu(\text{N}_2) = 0,140 \text{ mol} \cdot (-1) = \mathbf{-0,14 \text{ mol}}$$

$$\Delta n(\text{H}_2) = \Delta\xi \nu(\text{H}_2) = 0,140 \text{ mol} \cdot (-3) = \mathbf{-0,42 \text{ mol}}$$

■ V chemickej reakcii dusíka s vodíkom, v ktorej vzniklo 0,28 mol amoniaku, zreagovalo 0,14 mol dusíka a 0,42 mol vodíka.

6.1.2 V chemickej reakcii amoniaku s kyslíkom zreagovalo 3,6 mol kyslíka. Na začiatku chemickej reakcie bolo v sústave 6,3 mol amoniaku. Vypočítajte látkové množstvo vzniknutého dusíka a látkové množstvo nezreagovaného amoniaku.

Riešenie:



Pretože v sústave zreagovalo 3,6 mol kyslíka, musel byť rozsah reakcie

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{-3,6 \text{ mol}}{3} = 1,2 \text{ mol}$$

Potom látkové množstvá vzniknutého dusíka a zreagovaného amoniaku sú

$$\Delta n(\text{N}_2) = \Delta\xi \nu(\text{N}_2) = 1,20 \text{ mol} \cdot 2 = 2,4 \text{ mol}$$

$$\Delta n(\text{NH}_3) = \Delta\xi \nu(\text{NH}_3) = 1,20 \text{ mol} \cdot (-4) = -4,8 \text{ mol}$$

Látkové množstvo amoniaku, ktorý bol na konci chemickej reakcie v sústave, bol

$$n_k(\text{NH}_3) = n_z(\text{NH}_3) - \Delta n(\text{NH}_3) = 6,3 \text{ mol} - 4,8 \text{ mol} = \mathbf{1,5 \text{ mol}}$$

☑ Chemickou reakciou 3,6 mol kyslíka s 6,3 mol amoniaku vzniklo 2,4 mol dusíka a v sústave zostalo 1,5 mol nezreagovaného amoniaku.

Úlohy **6.7.1** a **6.7.2**.

6.2 Stechiometrické výpočty pre čisté látky

Z vyššie uvedeného je zrejme, že ak je známa rovnica chemickej reakcie a množstvo aspoň jednej reagujúcej alebo vznikajúcej látky, môžeme vypočítať rozsah reakcie a tým aj množstvá ostatných látok v chemickej reakcii. Tieto výpočty a takisto výpočty zahrňujúce prepočty medzi jednotlivými množstvami látky sa nazývajú stochiometrické výpočty alebo výpočty podľa chemických rovníc.

Pri riešení ďalších príkladov budeme postupovať nasledovne:

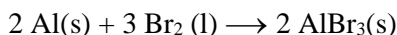
1. Zapišeme rovnicu chemickej reakcie, ktorú v príklade riešime.
2. Vypočítame rozsah reakcie pomocou údajov v zadaní príkladu.
3. Uskutočníme požadované výpočty.

6.2.1 Riešené príklady

6.2.1 Bromid hlinitý sa pripravuje syntézou z prvkov. Uvedenej zlúčeniny treba pripraviť 180,0 g.

- a) Vypočítajte hmotnosť potrebného hliníka.
- b) Vypočítajte hmotnosť a objem potrebného brómu.

Riešenie:



Zo zadania príkladu je známa hmotnosť bromidu hlinitého, pomocou ktorej použitím (2.4) vypočítame rozsah reakcie.

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{AlBr}_3)}{\nu(\text{AlBr}_3)} = \frac{\Delta m(\text{AlBr}_3)}{M(\text{C})\nu(\text{AlBr}_3)} = \frac{180,0 \text{ g}}{266,694 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = 0,33746 \text{ mol}$$

a) Zmena hmotnosti hliníka je

$$\Delta m(\text{Al}) = \Delta\xi \nu(\text{Al})M(\text{Al}) = 0,33746 \text{ mol} \cdot (-2) \cdot 26,98 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{-18,21 \text{ g}}$$

b) Zmena hmotnosti brómu je

$$\Delta m(\text{Br}_2) = \Delta\xi \nu(\text{Br}_2)M(\text{Br}_2) = 0,33746 \text{ mol} \cdot (-3) \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{-161,8 \text{ g}}$$

a zmena objemu brómu je

$$\Delta V(\text{Br}_2) = \frac{\Delta m(\text{Br}_2)}{\rho(\text{Br}_2)} = \frac{-161,8 \text{ g}}{3,123 \text{ g cm}^{-3}} = -51,81 \text{ cm}^3$$

Na prípravu 180,0 g bromidu hlinitého je potrebných 18,21 g hliníka a 161,8 g brómu, ktorý má objem 51,81 cm³.

Označenie $\Delta \zeta = \zeta_k - \zeta_z$ vyjadruje rozdiel rozsahu reakcie ζ_k na konci a rozsahu reakcie ζ_z na začiatku chemickej reakcie. Keďže často je $\zeta_z = 0$, označuje sa $\Delta \zeta = \zeta_k$ iba symbolom ζ , tj. $\Delta \zeta \equiv \zeta$.

Ak sú na začiatku chemickej reakcie v sústave prítomné iba stechiometrické množstvá východiskových látok (reaktantov) a žiadne produkty nie sú prítomné, pri výpočtoch možno použiť priamo množstvá reaktantov a produktov.

Pre látkové množstvá východiskových látok (reaktantov) podľa (6.2) vtedy platí

$$n_k(\text{L}) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta n(\text{L}) = n_k(\text{L}) - n_z(\text{L}) = -n_z(\text{L})$$
$$|\Delta n(\text{L})| = |-n_z(\text{L})| = n_z(\text{L}) \equiv n(\text{L}).$$

Absolútna hodnota zmeny látkového množstva reaktantu L je rovná látkovému množstvu tejto látky na začiatku chemickej reakcie. Index „z“ už nie je potrebný, lebo táto látka sa v sústave vyskytuje iba na začiatku chemickej reakcie. Obdobné platí aj pre látkové množstvá produktov chemickej reakcie.

$$n_z(\text{L}) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta n(\text{L}) = n_k(\text{L})$$
$$|\Delta n(\text{L})| = |n_k(\text{L})| = n_k(\text{L}) \equiv n(\text{L}).$$

Absolútna hodnota zmeny látkového množstva produktu L je rovná látkovému množstvu tejto látky na konci chemickej reakcie. Index „k“ už nie je potrebný, lebo táto látka sa v sústave vyskytuje iba na konci chemickej reakcie.

Ak na začiatku chemickej reakcie je $\zeta = 0$ a v sústave nie sú žiadne produkty a na konci chemickej reakcie v sústave nie sú žiadne reaktanty, potom označenie $n(\text{L})$ znamená látkové množstvo reaktantu na začiatku chemickej reakcie, resp. látkové množstvo produktu na konci chemickej reakcie.

Vtedy platí:

$$n(\text{L}) = \zeta |v(\text{L})| \quad (6.4)$$

Podobné označenia platia aj ak je množstvo látky vyjadrené hmotnosťou alebo objemom. Príklad 6.2.1 možno riešiť aj týmto zjednodušeným spôsobom:

Riešenie príkladu 6.2.1 pomocou zjednodušeného vzťahu (6.4):

Zo zadania úlohy je zrejmé, že na začiatku syntézy nie je v sústave prítomný žiadny bromid hlinitý (treba ho vyrobiť) a súčasne hmotnosti reaktantov majú byť práve potrebné na danú syntézu (úplne zreagujú). Za týchto predpokladov platí

$$n_k(\text{Al}) = n_k(\text{Br}_2) = n_z(\text{AlBr}_3) = \zeta_z = 0$$

preto na výpočet možno použiť aj zjednodušený vzorec (6.4):

a) Hmotnosť potrebného hliníka je

$$m(\text{Al}) = \zeta |v(\text{Al})| M(\text{Al}) = 0,33746 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 26,98 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{18,21 \text{ g}}$$

b) Hmotnosť potrebného brómu je

$$m(\text{Br}_2) = \xi |\nu(\text{Br}_2)| M(\text{Br}_2) = 0,33746 \text{ mol} \cdot |-3| \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{161,8 \text{ g}}$$

a objem brómu je

$$V(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{\rho(\text{Br}_2)} = \frac{161,8 \text{ g}}{3,123 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{51,81 \text{ cm}^3}$$

☑ Na prípravu 180,0 g bromidu hlinitého je potrebných 18,21 g hliníka a 161,8 g brómu, ktorý má objem 51,81 cm³.

Úlohy 6.7.3 až 6.7.8.

6.3 Stechiometrické výpočty pre sústavy látok

V mnohých prípadoch sa reagujúce látky nachádzajú v roztokoch, príp. obsahujú rôzne nereagujúce prímеси. Pri výpočte rozsahu reakcie sa musí uvažovať iba množstvo reagujúcej (čistej) látky.

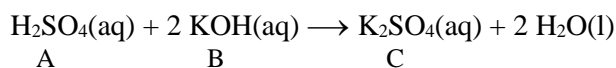
6.3.1 Riešené príklady

6.3.1 Roztok 56,00 % kyseliny sírovej sa zneutralizoval 142,0 cm³ 11,00 % roztoku hydroxidu draselného.

a) Vypočítajte hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej.

b) Vypočítajte koncentráciu látkového množstva síranu draselného v roztoku, ktorého objem po doplnení vodou bol 500 cm³.

Riešenie:



Po neutralizácii nebude v sústave prítomná kyselina sírová, ani hydroxid draselný. Zo zadania príkladu je známe množstvo zreagovaného hydroxidu draselného, ktoré použijeme na výpočet zmeny rozsahu reakcie.

$$\begin{aligned} \Delta \xi &= \frac{\Delta n(\text{B})}{\nu(\text{B})} = \frac{\Delta m(\text{B})}{M(\text{B})\nu(\text{B})} = \frac{-m_z(\text{B})}{M(\text{B})\nu(\text{B})} = \frac{-m'_z(\text{B})w_z(\text{B})}{M(\text{B})\nu(\text{B})} = \frac{-V'_z(\text{B})\rho'_z(\text{B})w_z(\text{B})}{M(\text{B})\nu(\text{B})} = \\ &= \frac{-142,0 \text{ cm}^3 \cdot 1,0966 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,1100}{56,1056 \text{ g mol}^{-1} \cdot (-2)} = 0,15265 \text{ mol} \end{aligned}$$

alebo jednoduchšie, ak sú dostupné požadované údaje (napr. z chemických tabuliek),

$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(\text{B})}{\nu(\text{B})} = \frac{-V'_z(\text{B})c_z(\text{B})}{\nu(\text{B})} = \frac{-0,1420 \text{ dm}^3 \cdot 2,150 \text{ mol dm}^{-3}}{-2} = 0,15265 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej boli

$$m'_z(\text{A}) = \frac{-\Delta \xi \nu(\text{A}) M(\text{A})}{w_z(\text{A})} = \frac{-0,15265 \text{ mol} \cdot (-1) \cdot 98,079 \text{ g mol}^{-1}}{0,5600} = \mathbf{26,74 \text{ g}}$$

$$V'_z(\text{A}) = \frac{m'_z(\text{A})}{\rho'_z(\text{A})} = \frac{26,740 \text{ g}}{1,4558 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{18,37 \text{ cm}^3}$$

b) Na začiatku neutralizácie nebol v roztoku žiadny síran draselný. Koncentrácia látkového množstva síranu draselného v roztoku s upraveným objemom V' bola

$$c_k(\text{C}) = \frac{\Delta \xi \nu(\text{C})}{V'} = \frac{0,15256 \text{ mol} \cdot 1}{0,500 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,305 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Riešenie pomocou zjednodušeného vzťahu (6.4):

Zo zadania úlohy je zrejmé, že na začiatku syntézy nie je v sústave prítomný žiadny produkt a súčasne hmotnosti reaktantov sú práve potrebné na neutralizáciu (úplne zreagujú). Za týchto predpokladov platí

$$n_k(\text{A}) = n_k(\text{B}) = n_z(\text{C}) = \xi_z = 0$$

preto na výpočet možno použiť aj zjednodušený vzorec (6.4):

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{n(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{m'(\text{B})w(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{V'(\text{B})\rho'(\text{B})w(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \\ &= \frac{142,0 \text{ cm}^3 \cdot 1,0966 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,1100}{56,1056 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-2|} = 0,15265 \text{ mol} \end{aligned}$$

alebo jednoduchšie, ak sú dostupné požadované údaje (napr. z chemických tabuliek),

$$\xi = \frac{n(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{V'(\text{B})c(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{0,1420 \text{ dm}^3 \cdot 2,150 \text{ mol dm}^{-3}}{|-2|} = 0,15265 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej boli

$$m'(\text{A}) = \frac{\xi / \nu(\text{A}) |M(\text{A})|}{w(\text{A})} = \frac{0,15265 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 98,079 \text{ g mol}^{-1}}{0,5600} = \mathbf{26,74 \text{ g}}$$

$$V'(\text{A}) = \frac{m'(\text{A})}{\rho'(\text{A})} = \frac{26,740 \text{ g}}{1,4558 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{18,37 \text{ cm}^3}$$

b) Koncentrácia látkového množstva síranu draselného v roztoku s upraveným objemom V' bola

$$c(\text{C}) = \frac{\xi / \nu(\text{C})}{V'} = \frac{0,15256 \text{ mol} \cdot |1|}{0,500 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,305 \text{ mol dm}^{-3}}$$

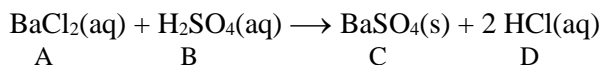
■ Hmotnosť zneutralizovaného roztoku kyseliny sírovej bola 26,74 g a jeho objem bol 18,37 cm³. Koncentrácia látkového množstva síranu draselného v získanom roztoku bola 0,305 mol dm⁻³.

Poznámka: V ďalšom texte už budeme používať len zjednodušený vzťah (6.4). V zložitejších chemických výpočtoch, vo vyšších ročníkoch štúdia, kde nebudú môcť byť splnené podmienky platnosti vzťahu (6.4), sa však bude používať univerzálny vzťah (6.3).

6.3.2 Zrážaním 300,0 g roztoku chloridu bárnateho ($\rho = 1,064 \text{ g cm}^{-3}$) roztokom kyseliny sírovej s koncentráciou $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,290 \text{ mol dm}^{-3}$ sa získalo 8,75 g síranu bárnateho.

- Vypočítajte hmotnostný a mólový zlomok, koncentráciu látkového množstva a molalitu chloridu bárnateho v roztoku.
- Vypočítajte objem použitého roztoku kyseliny sírovej.
- Výsledný roztok sa doplnil vodou na objem 450 cm^3 . Vypočítajte koncentráciu oxóniových katiónov v tomto roztoku a pH tohto roztoku.

Riešenie:



Rozsah reakcie vypočítame podľa známeho množstva vzniknutého síranu bárnateho.

$$\xi = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{8,75 \text{ g}}{233,40 \text{ g mol}^{-1} \cdot |1|} = 3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

a) Najprv vypočítame hmotnosť chloridu bárnateho a vody v pôvodnom roztoku chloridu bárnateho.

$$m(\text{A}) = \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A}) = 3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 208,24 \text{ g mol}^{-1} = 7,807 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}, \text{A}) = m'(\text{A}) - m(\text{A}) = 300,0 \text{ g} - 7,807 \text{ g} = 292,19 \text{ g}$$

Hmotnostný a mólový zlomok, koncentráciu látkového množstva a molalitu chloridu bárnateho v roztoku vypočítame podľa definičných vzťahov.

$$w(\text{A}) = \frac{m(\text{A})}{m'(\text{A})} = \frac{7,807 \text{ g}}{300,0 \text{ g}} = \mathbf{0,0260}$$

$$\begin{aligned} x(\text{A}) &= \frac{n(\text{A})}{n(\text{A}) + n(\text{H}_2\text{O}, \text{A})} = \frac{\frac{m(\text{A})}{M(\text{A})}}{\frac{m(\text{A})}{M(\text{A})} + \frac{m(\text{H}_2\text{O}, \text{A})}{M(\text{H}_2\text{O})}} = \\ &= \frac{\frac{7,807 \text{ g}}{208,24 \text{ g mol}^{-1}}}{\frac{7,807 \text{ g}}{208,24 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{292,19 \text{ g}}{18,0152 \text{ g mol}^{-1}}} = \mathbf{0,00231} \end{aligned}$$

$$c(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{V'(\text{A})} = \frac{\frac{m(\text{A})}{M(\text{A})}}{\frac{m'(\text{A})}{\rho'(\text{A})}} = \frac{\frac{7,807 \text{ g}}{208,24 \text{ g mol}^{-1}}}{\frac{300,0 \text{ g}}{1,064 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}}} = \mathbf{0,133 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\underline{m}(A) = \frac{n(A)}{m(\text{H}_2\text{O}, A)} = \frac{\frac{m(A)}{M(A)}}{m(\text{H}_2\text{O}, A)} = \frac{7,807 \text{ g}}{208,24 \text{ g mol}^{-1} \cdot 292,19 \text{ g}} = \mathbf{0,128 \text{ mol kg}^{-1}}$$

b) Objem roztoku kyseliny sírovej

$$V'(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{c(\text{B})} = \frac{\xi / \nu(\text{B})}{c(\text{B})} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-1|}{0,290 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{0,129 \text{ dm}^3}$$

c) Po chemickej reakcii sa v roztoku nachádza len kyselina chlorovodíka. Keďže chlorovodík je silná kyselina, jeho koncentrácia sa rovná koncentrácii oxóniových katiónov.

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{D}) = \frac{n(\text{D})}{V'(\text{D})} = \frac{\xi |\nu(\text{D})|}{V'} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |2|}{0,450 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,167 \text{ mol dm}^{-3}}$$

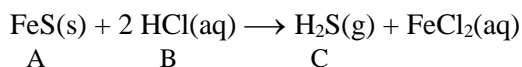
$$\text{pH} = -\log c_r(\text{H}_3\text{O}^+) = -\log 0,167 = \mathbf{0,78}$$

☑ Zloženie roztoku chloridu bárnateho bolo $w = 2,60 \cdot 10^{-2}$, $x = 2,31 \cdot 10^{-3}$, $c = 1,33 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}$, $\underline{m} = 1,28 \cdot 10^{-1} \text{ mol kg}^{-1}$. Objem použitého roztoku kyseliny sírovej bol $0,129 \text{ dm}^3$. Koncentrácia oxóniových katiónov vo výslednom roztoku bola $0,167 \text{ mol dm}^{-3}$, čo zodpovedá $\text{pH} = 0,78$.

6.3.3 Sírovodík sa pripravoval v Kippovom prístroji chemickou reakciou sulfidu železnateho s kyselinou chlorovodíkovou. Pri teplote $25,00 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $100,5 \text{ kPa}$ sa uvoľnilo $74,50 \text{ dm}^3$ sírovodíka.

- a) Vypočítajte objem 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej potrebnej na chemickú reakciu.
b) Vypočítajte hmotnosť sulfidu železnateho s obsahom 2,40 % nereagujúcich prímiesí.

Riešenie:



Rozsah reakcie vypočítame z údajov pre sírovodík použitím stavovej rovnice ideálneho plynu.

$$\xi = \frac{n(\text{C})}{|\nu(\text{C})|} = \frac{p(\text{C})V(\text{C})}{RT(\text{C})|\nu(\text{C})|} = \frac{100,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 74,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot |1|} = 3,0205 \text{ mol}$$

a) Objem 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej bol

$$V'(\text{B}) = \frac{\xi / \nu(\text{B}) / M(\text{B})}{w(\text{B})\rho'(\text{B})} = \frac{3,0205 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 36,461 \text{ g mol}^{-1}}{0,3600 \cdot 1,1791 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}} = \mathbf{0,5190 \text{ dm}^3}$$

b) Hmotnosť čistého sulfidu železnateho s obsahom 2,40 % nereagujúcich prímiesí bola

$$m(\text{A}) = \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A}) = 3,0205 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 87,91 \text{ g mol}^{-1} = 265,53 \text{ g}$$

a hmotnosť znečisteného sulfidu železnateho s obsahom 2,40 % prímiesí bola

$$m'(A) = \frac{m(A)}{w(A)} = \frac{m(A)}{1 - w(\text{prímеси})} = \frac{265,53 \text{ g}}{1 - 0,0240} = 272,1 \text{ g}$$

☑ Na prípravu sírovodíka sa spotrebovalo 519,0 cm³ kyseliny chlorovodíkovej a 272,1 g znečisteného sulfidu železnateho.

Úlohy 6.7.9 až 6.7.17.

6.4 Nestechiometrické množstvá reagujúcich látok

V mnohých prípadoch sa chemické reakcie uskutočňujú s nestechiometrickými množstvami reagujúcich látok, tj. niektorej látky môže byť v sústave viac ako vyžaduje stechiometria danej chemickej reakcie. Po chemickej reakcii ostáva časť tejto látky nezreagovaná. Látka, ktorá úplne zreaguje, určuje rozsah reakcie a označuje sa ako **limitujúca zložka**.

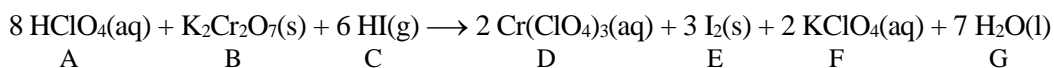
Poznámka: Podľa zákonov termodynamiky v uzavretej sústave nemôže žiadny reaktant zreagovať úplne. Nejaké množstvo limitujúcej zložky zostane v sústave aj po skončení chemickej reakcie. Podľa princípu pohyblivej rovnováhy sa však toto množstvo dá znížiť až na zanedbateľne malú hodnotu vhodnými podmienkami počas chemickej reakcie, napr. vyzrážaním produktu alebo odťahom vznikajúcich plynných látok. V nasledujúcich príkladoch však budeme predpokladať, že počas chemickej reakcie zreaguje limitujúca zložka úplne, tj. $n_k = 0$.

6.4.1 Riešené príklady

6.4.1 Do 250 cm³ roztoku kyseliny chloristej s koncentráciou látkového množstva 1,0 mol dm⁻³, v ktorom bolo rozpustených 5,8 g dichrómanu didraselného, sa pri teplote 25,0 °C a tlaku 98,2 kPa zaviedlo 2,1 dm³ plynného jodovodíka. Chemickou reakciou vznikol chloristan chromitý, jód, chloristan draselný a voda.

- Vypočítajte látkové množstvá produktov.
- Vypočítajte látkové množstvá nezreagovaných východiskových látok.

Riešenie:



V zadaní príkladu sú uvedené údaje o množstvách všetkých východiskových látok. Ak by úplne zreagovala kyselina chloristá v roztoku, rozsah reakcie by bol

$$\xi(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{c(\text{A})V'(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{1,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3}{|-8|} = 0,0313 \text{ mol}$$

Ak by úplne zreagoval tuhý dichróman didraselný, rozsah reakcie by bol

$$\xi(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{5,8 \text{ g}}{294,184 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-1|} = 0,0197 \text{ mol}$$

Ak by úplne zreagoval plynný jodovodík, rozsah reakcie by bol

$$\xi(\text{C}) = \frac{n(\text{C})}{|\nu(\text{C})|} = \frac{p(\text{C})V(\text{C})}{RT(\text{C})|\nu(\text{C})|} = \frac{98,2 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot |-6|} = 0,0139 \text{ mol}$$

Daná chemická reakcia sa mohla uskutočniť len v najmenšom z vypočítaných rozsahov, preto $\xi \equiv \xi(\text{C})$, teda úplne zreagoval jodovodík (bol limitujúcou zložkou). Časť kyseliny chloristej a dichrómanu didraselného, ktoré nezreagovali, zostali v sústave aj po skončení chemickej reakcie.

a) Látkové množstvá produktov boli

$$n(\text{D}) = \xi |\nu(\text{D})| = 0,0139 \text{ mol} \cdot |2| = \mathbf{0,028 \text{ mol}}$$

$$n(\text{E}) = \xi |\nu(\text{E})| = 0,0139 \text{ mol} \cdot |3| = \mathbf{0,042 \text{ mol}}$$

$$n(\text{F}) = \xi |\nu(\text{F})| = 0,0139 \text{ mol} \cdot |2| = \mathbf{0,028 \text{ mol}}$$

$$n(\text{G}) = \xi |\nu(\text{G})| = 0,0139 \text{ mol} \cdot |7| = \mathbf{0,097 \text{ mol}}$$

b) Látkové množstvá nezreagovaných látok boli

$$n_{\text{k}}(\text{A}) = [\xi(\text{A}) - \xi] |\nu(\text{A})| = (0,0313 \text{ mol} - 0,0139 \text{ mol}) \cdot |-8| = \mathbf{0,14 \text{ mol}}$$

$$n_{\text{k}}(\text{B}) = [\xi(\text{B}) - \xi] |\nu(\text{B})| = (0,0197 \text{ mol} - 0,0139 \text{ mol}) \cdot |-1| = \mathbf{0,0058 \text{ mol}}$$

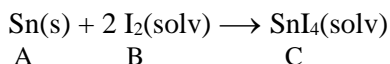
■ V chemickej reakcii vzniklo 0,028 mol chloristanu chromitého a chloristanu draselného, 0,042 mol jódu a 0,097 mol vody. Nezreagovalo 0,14 mol kyseliny chloristej a 0,0058 mol dichrómanu didraselného.

6.4.2 Jodid ciničitý sa pripravuje chemickou reakciou cínu s jódom. Na jeho prípravu sa použije 11,3 g pájky (zliatina obsahujúca 76,1 % cínu) a 30,0 g jódu.

a) Vypočítajte hmotnosť pripraveného jodidu ciničitého.

b) Vypočítajte hmotnosť nezreagovanej látky.

Riešenie:



V príklade sú uvedené množstvá obidvoch reagujúcich látok. Pomocou vypočítaných rozsahov zistíme, ktorá látka úplne zreaguje (je limitujúcou zložkou).

$$\xi(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{m'(\text{A})w(\text{A})}{M(\text{A})|\nu(\text{A})|} = \frac{11,3 \text{ g} \cdot 0,761}{118,69 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-1|} = 7,246 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\xi(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{30,0 \text{ g}}{253,809 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-2|} = 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Daná chemická reakcia sa môže uskutočniť len v najmenšom z vypočítaných rozsahov, preto $\xi \equiv \xi(\text{B})$, teda úplne zreaguje jód (je limitujúcou zložkou). Časť pájky, ktorá nezreaguje, zostane v sústave aj po skončení chemickej reakcie.

a) Hmotnosť pripraveného jodidu ciničitého bude

$$m(\text{C}) = \xi |\nu(\text{C})| M(\text{C}) = 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 626,308 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{37,0 \text{ g}}$$

b) Hmotnosť nezreagovanej pájky bude

$$m_{\text{k}}'(\text{A}) = m'(\text{A}) - \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A}) = 11,3 \text{ g} - 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 118,69 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{4,3 \text{ g}}$$

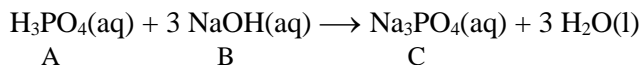
■ Chemickou reakciou cínu s jódom sa pripraví 37,0 g jodidu ciničitého. Po chemickej reakcii zostane v sústave 4,3 g nezreagovanej pájky.

6.4.3 Do 250 cm³ roztoku kyseliny trihydrogenfosforečnej s koncentráciou látkového množstva 3,0 mol dm⁻³ sa pridalo 150 cm³ 7,5 % roztoku hydroxidu sodného.

a) Vypočítajte koncentráciu látkového množstva fosforečnanu trisodného vo výslednom roztoku.

b) Vypočítajte hmotnostný zlomok nezreagovanej látky vo výslednom roztoku.

Riešenie:



Pretože sú známe množstvá oboch reagujúcich látok, musíme zistiť skutočný rozsah reakcie, s ktorým sa daná chemická reakcia uskutočnila. Tým sa zároveň zistí, ktorá látka v sústave úplne zreagovala (bola limitujúcou zložkou).

$$\xi(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{c(\text{A})V'(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{3,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3}{|-1|} = 0,750 \text{ mol}$$

$$\xi(\text{B}) = \frac{V'(\text{B})\rho'(\text{B})w(\text{B})}{M(\text{B})|\nu(\text{B})|} = \frac{150 \text{ cm}^3 \cdot 1,08135 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,075}{39,997 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-3|} = 0,101 \text{ mol}$$

Daná chemická reakcia sa mohla uskutočniť len v najmenšom z vypočítaných rozsahov, preto $\xi \equiv \xi(\text{B})$, teda úplne zreagoval hydroxid sodný (bol limitujúcou zložkou). Časť kyseliny trihydrogenfosforečnej, ktorá nezreagovala, zostala v sústave aj po skončení chemickej reakcie.

a) Za predpokladu, že pri chemickej reakcii nenastala zmena objemu, výsledný objem V' roztoku bol súčtom objemov $V'(\text{A})$ a $V'(\text{B})$. Potom koncentrácia látkového množstva fosforečnanu trisodného bola

$$c(\text{C}) = \frac{n(\text{C})}{V'} = \frac{\xi|\nu(\text{C})|}{V'(\text{A}) + V'(\text{B})} = \frac{0,101 \text{ mol} \cdot |1|}{250 \text{ cm}^3 + 150 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,25 \text{ mol dm}^{-3}}$$

b) Hmotnosť m' výsledného roztoku bola

$$\begin{aligned} m' &= m'(\text{A}) + m'(\text{B}) = V'(\text{A})\rho'(\text{A}) + V'(\text{B})\rho'(\text{B}) = \\ &= 250 \text{ cm}^3 \cdot 1,1528 \text{ g cm}^{-3} + 150 \text{ cm}^3 \cdot 1,08135 \text{ g cm}^{-3} = 450,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Potom hmotnostný zlomok nezreagovanej kyseliny trihydrogenfosforečnej vo výslednom roztoku bol

$$\begin{aligned} w_k(\text{A}) &= \frac{m_k(\text{A})}{m'} = \frac{[\xi(\text{A}) - \xi]|\nu(\text{A})|M(\text{A})}{m'} = \\ &= \frac{(0,750 \text{ mol} - 0,101 \text{ mol}) \cdot |-1| \cdot 97,995 \text{ g mol}^{-1}}{450,4 \text{ g}} = \mathbf{0,14} \end{aligned}$$

☑ a) Koncentrácia látkového množstva fosforečnanu trisodného vo výslednom roztoku bola 0,25 mol dm⁻³.

b) V sústave zostala nezreagovaná kyselina trihydrogenfosforečná, ktorej hmotnostný zlomok vo výslednom roztoku bol 0,14.

6.4.4 Do 250 cm³ vodného roztoku s pH = 2,50 sa pridalo 500 cm³ vodného roztoku s pH = 12,50. Vypočítajte pH a pOH výsledného roztoku, ak platí aditivita objemov.

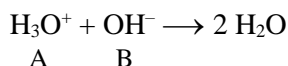
Riešenie:

Zo zadania je zrejmé, že jeden z roztokov bol roztok kyseliny (pH < 7) a druhý bol roztok zásady (pH > 7). Zo zadaných hodnôt pH vyjadríme koncentrácie príslušných častíc v ich roztokoch:

$$c(\text{A}) = 10^{-\text{pH}(\text{A})} = 10^{-2,50} = 0,00316$$

$$c(\text{B}) = 10^{-\text{pOH}(\text{B})} = 10^{-[14 - \text{pH}(\text{B})]} = 10^{-(14 - 12,50)} = 0,0316$$

Pri zmiešavaní roztokov nastala chemická reakcia medzi kationmi H₃O⁺ a aniónmi OH⁻, pričom nezreagované ióny H₃O⁺ alebo OH⁻ určili kyslosť alebo zásaditosť výsledného roztoku.



$$\xi(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{c(\text{A})V'(\text{A})}{|\nu(\text{A})|} = \frac{0,00316 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3}{|-1|} = 7,90 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\xi(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{c(\text{B})V'(\text{B})}{|\nu(\text{B})|} = \frac{10^{-(14 - 12,50)} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,500 \text{ dm}^3}{|-1|} = 1,58 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Daná chemická reakcia sa mohla uskutočniť len v najmenšom z vypočítaných rozsahov, preto $\xi \equiv \xi(\text{A})$, teda úplne zreagovali kationy H₃O⁺ (boli limitujúcou zložkou). Časť aniónov OH⁻, ktoré nezreagovali, zostali v sústave aj po skončení chemickej reakcie. Výsledný roztok bol teda zásaditý.

Ak platila aditivita objemu bol výsledný objem V' roztoku súčtom objemov V'(A) a V'(B). Potom koncentrácia látkového množstva nezreagovaných aniónov OH⁻ bola

$$\begin{aligned} c_{\text{k}}(\text{B}) &= \frac{n_{\text{k}}(\text{B})}{V'} = \frac{[\xi(\text{B}) - \xi] |\nu(\text{B})|}{V'(\text{A}) + V'(\text{B})} = \\ &= \frac{(1,58 \cdot 10^{-2} \text{ mol} - 7,90 \cdot 10^{-4} \text{ mol}) \cdot |-1|}{0,250 \text{ dm}^3 + 0,500 \text{ dm}^3} = 0,0200 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

a teda pOH a pH výsledného roztoku boli

$$\text{pOH} = -\log c_{\text{r,k}}(\text{B}) = -\log 0,0200 = \mathbf{1,70}$$

$$\text{pH} = 14,00 - 1,70 = \mathbf{12,30}$$

☑ Výsledný roztok mal pOH = 1,70 a pH = 12,30.

Úlohy 6.7.18 až 6.7.24.

6.5 Stechiometrické výpočty pre nadväzujúce chemické reakcie

Doposiaľ sme riešili príklady s jednou chemickou reakciou. Pri syntéze látok však nie sú vždy všetky reaktanty komerčne dostupné a musia sa vopred pripraviť. Niekedy pri

syntézach látok vznikajú zdraviu škodlivé produkty, ktoré treba zneškodniť – nechať ich zreagovať na menej škodlivé látky. V týchto prípadoch vystupujú pri prípravách látok viaceré na seba nadväzujúce chemické reakcie.

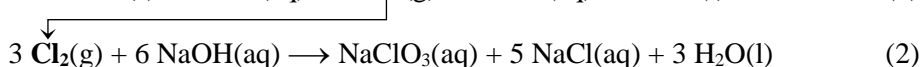
Poznámka: Odporúča sa priradiť jednotlivým chemickým reakciám čísla, a tie potom používať ako indexy pri zápise symbolov rozsahov reakcií a množstiev látok (ak je to potrebné). Napr. rozsah druhej chemickej reakcie budeme označovať ξ_2 , hmotnosť vody v tretej chemickej reakcii symbolom $m_3(\text{H}_2\text{O})$ atď.

6.5.1 Riešené príklady

6.5.1 Chlór, ktorý sa pripravil chemickou reakciou 0,24 mol chlorovodíka rozpusteného vo vode s oxidom manganičitým, sa zaviedol do teplého vodného roztoku hydroxidu sodného. Vypočítajte hmotnosť zreagovaného hydroxidu sodného.

Riešenie:

Pri riešení budeme uvažovať dve chemické reakcie:



Tieto chemické reakcie sa uskutočňujú s rozsahmi ξ_1 a ξ_2 . Látkou, ktorá sa vyskytuje v oboch chemických reakciách, je chlór (vyznačený v chemických rovniciach). V chemickej reakcii (1) je chlór produktom, v chemickej reakcii (2) je reaktantom.

Podľa zadania príkladu sa chemická reakcia (1) uskutočnila v rozsahu

$$\xi_1 = \frac{n(\text{HCl})}{|\nu(\text{HCl})|} = \frac{0,24 \text{ mol}}{|-4|} = 0,0600 \text{ mol}$$

Pretože látkové množstvo chlóru pripravené chemickou reakciou (1) je rovné látkovému množstvu chlóru zreagovanému v chemickej reakcii (2), platí:

$$n_1(\text{Cl}_2) = n_2(\text{Cl}_2)$$

$$\xi_1 |\nu_1(\text{Cl}_2)| = \xi_2 |\nu_2(\text{Cl}_2)|$$

$$\xi_2 = \xi_1 \frac{|\nu_1(\text{Cl}_2)|}{|\nu_2(\text{Cl}_2)|} = 0,0600 \text{ mol} \cdot \frac{|1|}{|-3|} = 0,0200 \text{ mol}$$

Potom hmotnosť zreagovaného hydroxidu sodného bola

$$m(\text{NaOH}) = \xi_2 |\nu(\text{NaOH})| M(\text{NaOH}) = 0,0200 \text{ mol} \cdot |-6| \cdot 39,997 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{4,8 \text{ g}}$$

☑ Hmotnosť zreagovaného hydroxidu sodného bola 4,8 g.

6.5.2 Chemickou reakciou manganistanu draselného s oxidom siričitým sa pripravilo 300 g vodného roztoku, v ktorom hmotnostný zlomok síranu mangánateho bol 0,150. Oxid siričitý, potrebný na chemickú reakciu, sa pripravil chemickou reakciou zinku s kyselinou sírovou v koncentrovanom vodnom roztoku.

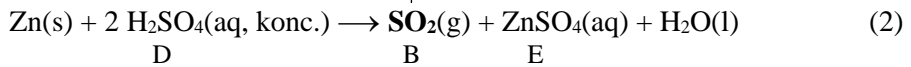
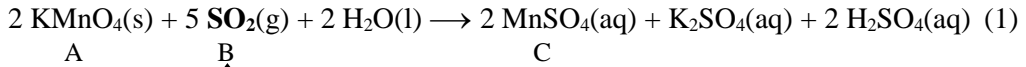
a) Vypočítajte hmotnosť manganistanu draselného s obsahom 2,00 % nereagujúcich prímiesí, potrebnú na prípravu uvedeného roztoku.

b) Vypočítajte objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na prípravu oxidu siričitého, ak z pripraveného oxidu siričitého zreagovalo v chemickej reakcii s manganistanom draselným iba 60,0 %.

c) Vypočítajte koncentráciu látkového množstva síranu zinočnatého vo výslednom roztoku, ktorý po doplnení vodou mal objem 500 cm³.

Riešenie:

Pri riešení budeme uvažovať dve chemické reakcie:



Je zadané množstvo síranu mangánatého, čo umožňuje výpočet rozsahu reakcie (1).

$$\xi_1 = \frac{n(\text{C})}{|\nu(\text{C})|} = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})/|\nu(\text{C})|} = \frac{m(\text{C})w(\text{C})}{M(\text{C})/|\nu(\text{C})|} = \frac{300 \text{ g} \cdot 0,150}{151,001 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-2|} = 0,1490 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť $m'(\text{A})$ manganistanu draselného obsahujúceho 2,00 % prímiesi bola

$$m'(\text{A}) = \frac{m(\text{A})}{w(\text{A})} = \frac{\xi_1 |\nu(\text{A})| M(\text{A})}{1 - w(\text{prímiesi})} = \frac{0,1490 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 158,0339 \text{ g mol}^{-1}}{1 - 0,0200} = \mathbf{48,1 \text{ g}}$$

b) Množstvo oxidu siričitého, ktoré zreagovalo v reakcii (1), je 60,0 % z množstva oxidu siričitého pripraveného chemickou reakciou (2). Z toho vypočítame rozsah reakcie (2).

$$n_1(\text{B}) = 0,600 n_2(\text{B})$$

$$\xi_1 |\nu_1(\text{B})| = 0,600 \xi_2 |\nu_2(\text{B})|$$

$$\xi_2 = \xi_1 \frac{|\nu_1(\text{B})|}{0,600 |\nu_2(\text{B})|} = 0,1490 \text{ mol} \cdot \frac{|-5|}{0,600 \cdot |1|} = 1,242 \text{ mol}$$

Potom objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej bol

$$V'(\text{D}) = \frac{\xi_2 |\nu(\text{D})| M(\text{D})}{\rho'(\text{D}) w(\text{D})} = \frac{1,242 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 98,079 \text{ g mol}^{-1}}{1,8355 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,9600} = \mathbf{138 \text{ cm}^3}$$

c) Koncentrácia látkového množstva síranu zinočnatého v roztoku s objemom V' bola

$$c(\text{E}) = \frac{n(\text{E})}{V'} = \frac{\xi_2 |\nu(\text{E})|}{V'} = \frac{1,242 \text{ mol} \cdot |1|}{0,500 \text{ dm}^3} = \mathbf{2,48 \text{ mol dm}^{-3}}$$

☑ a) Na prípravu roztoku sa spotrebovalo 48,1 g manganistanu draselného obsahujúceho 2,00 % prímiesi.

b) Objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej na prípravu oxidu siričitého, bol 138 cm³.

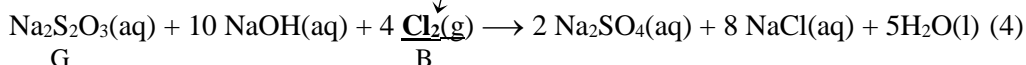
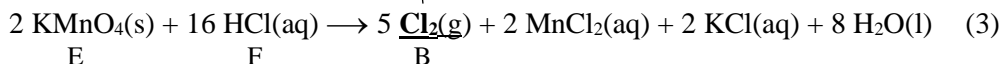
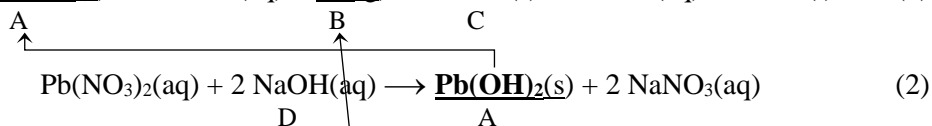
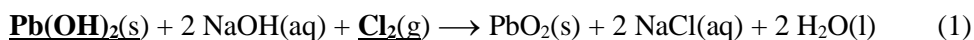
c) Koncentrácia látkového množstva síranu zinočnatého vo výslednom roztoku bola 2,48 mol dm⁻³.

6.5.3 Zavádzaním chlóru do alkalického suspenzie hydroxidu olovnatého sa pripravilo 10,0 g oxidu olovičitého. potrebný hydroxid olovnatý sa pripravoval chemickou reakciou dusičnanu olovnatého s hydroxidom sodným. Chlór sa pripravil pôsobením koncentrovanej kyseliny chlorovodíkovej na manganistan draselný. Nezreagovaný chlór sa zneškodnil v alkalickom prostredí tiosíranu sodného.

- Vypočítajte hmotnosť 5,00 % roztoku hydroxidu sodného potrebného na prípravu hydroxidu olovnatého.
- Vypočítajte hmotnosť manganistanu draselného a objem 36,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej, ak sa má vyrobiť trojnásobne viac chlóru ako sa vyžaduje na prípravu oxidu olovičitého.
- Vypočítajte hmotnosť pentahydrátu tiosíranu sodného potrebného na zneškodnenie nezreagovaného chlóru, v ktorom musí byť v 50 % nadbytku vzhľadom na množstvo zneškodneného chlóru.

Riešenie:

Pri riešení budeme uvažovať štyri chemické reakcie:



Zo zadaného množstva PbO_2 vypočítame rozsah reakcie (1).

$$\xi_1 = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})|\nu(\text{C})|} = \frac{10,0 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-1|} = 0,04181 \text{ mol}$$

Všetok Pb(OH)_2 pripravený chemickou reakciou (2) sa spotreboval v chemickej reakcii (1), z čoho vypočítame rozsah reakcie (2).

$$n_1(\text{A}) = n_2(\text{A})$$

$$\xi_1|\nu_1(\text{A})| = \xi_2|\nu_2(\text{A})|$$

$$\xi_2 = \xi_1 \frac{|\nu_1(\text{A})|}{|\nu_2(\text{A})|} = 0,04181 \text{ mol} \cdot \frac{|-1|}{|1|} = 0,04181 \text{ mol}$$

Chemickou reakciou (3) sa má vyrobiť trojnásobne viac chlóru ako je potrebné na chemickú reakciu (1), z čoho vypočítame rozsah reakcie (3).

$$3n_1(\text{B}) = n_3(\text{B})$$

$$3\xi_1|\nu_1(\text{B})| = \xi_3|\nu_3(\text{B})|$$

$$\xi_3 = 3\xi_1 \frac{|\nu_1(\text{B})|}{|\nu_3(\text{B})|} = 3 \cdot 0,04181 \text{ mol} \cdot \frac{|-1|}{|5|} = 0,02509 \text{ mol}$$

Chlór nespotrebovaný v chemickej reakcii (1) sa zneškodňoval chemickou reakciou (4), z čoho vypočítame rozsah reakcie (4).

$$n_4(\text{B}) = n_3(\text{B}) - n_1(\text{B})$$

$$\xi_4 |v_4(\text{B})| = \xi_3 |v_3(\text{B})| - \xi_1 |v_1(\text{B})|$$

$$\xi_4 = \frac{\xi_3 |v_3(\text{B})| - \xi_1 |v_1(\text{B})|}{|v_4(\text{B})|} = \frac{0,02509 \text{ mol} \cdot |5| - 0,04181 \text{ mol} \cdot |-1|}{|-4|} = 0,02091 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť 5,00 % roztoku hydroxidu sodného potrebného na prípravu hydroxidu olovnatého bola

$$m_2'(\text{D}) = \frac{\xi_2 |v_2(\text{D})| M(\text{D})}{w_2(\text{D})} = \frac{0,04181 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 39,997 \text{ g mol}^{-1}}{0,0500} = \mathbf{66,9 \text{ g}}$$

b) Hmotnosť manganistanu draselného bola

$$m(\text{E}) = \xi_3 |v(\text{E})| M(\text{E}) = 0,02509 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 158,0339 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{7,93 \text{ g}}$$

a objem 36,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej bola

$$V'(\text{F}) = \frac{\xi_3 |v(\text{F})| M(\text{F})}{\rho'(\text{F}) w(\text{F})} = \frac{0,02509 \text{ mol} \cdot |-16| \cdot 36,461 \text{ g mol}^{-1}}{1,1791 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,3600} = \mathbf{34,5 \text{ cm}^3}$$

c) Hmotnosť pentahydrátu tiosíranu sodného v 50 % nadbytku bola

$$m(\text{G} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 1,50 \xi_4 |v(\text{G})| M(\text{G} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 1,50 \cdot 0,02091 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 248,184 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{7,78 \text{ g}}$$

☑ a) Na prípravu hydroxidu olovnatého sa potrebovalo 66,9 g 5,00 % roztoku hydroxidu sodného.

b) Na prípravu chlóru sa použilo 7,93 g manganistanu draselného a 34,5 cm³ 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej.

c) Na zneškodnenie chlóru bolo treba 7,78 g pentahydrátu tiosíranu sodného.

Úlohy 6.7.25 až 6.7.37.

6.6 Stechiometrické výpočty spojené s fyzikálnymi dejmi

Mnohokrát sú chemické deje spojené s fyzikálnymi dejmi ako je príprava určitého roztoku, zahustenie pripraveného roztoku a kryštalizácia pripravenej látky z nasýteného roztoku ochladením na nižšiu teplotu. Riešenie niekoľkých takýchto prípadov bude uvedené na príkladoch nižšie.

6.6.1 Riešené príklady

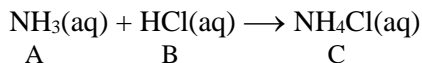
6.6.1 Vodný roztok chloridu amónneho sa pripravil z 200 cm³ 24,00 % vodného roztoku amoniaku a 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej.

a) Vypočítajte hmotnostný zlomok chloridu amónneho vo výslednom roztoku.

b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu amónneho pri teplote 50 °C.

Rozpustnosť chloridu amónneho je $s(50 \text{ °C}) = 35,5 \text{ g NH}_4\text{Cl}$ na 100 g roztoku.

Riešenie:



Zo známeho množstva amoniaku vypočítame hmotnosť roztoku amoniaku a rozsah reakcie.

$$m'(\text{A}) = \rho'(\text{A})V'(\text{A}) = 200 \text{ cm}^3 \cdot 0,9102 \text{ g cm}^{-3} = 182,0 \text{ g}$$

$$\xi = \frac{m'(\text{A})w(\text{A})}{M(\text{A})|\nu(\text{A})|} = \frac{182,0 \text{ g} \cdot 0,2400}{17,0305 \text{ g mol}^{-1} \cdot |-1|} = 2,565 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej bola

$$m'(\text{B}) = \frac{\xi|\nu(\text{B})|M(\text{B})}{w(\text{B})} = \frac{2,565 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 36,461 \text{ g mol}^{-1}}{0,3600} = 259,8 \text{ g}$$

Hmotnosť $m'(\text{C})$ roztoku chloridu amónneho po chemicknej reakcii bola

$$m'(\text{C}) = m'(\text{A}) + m'(\text{B}) = 182,0 \text{ g} + 259,8 \text{ g} = 441,8 \text{ g}$$

Hmotnosť vzniknutého chloridu amónneho bola

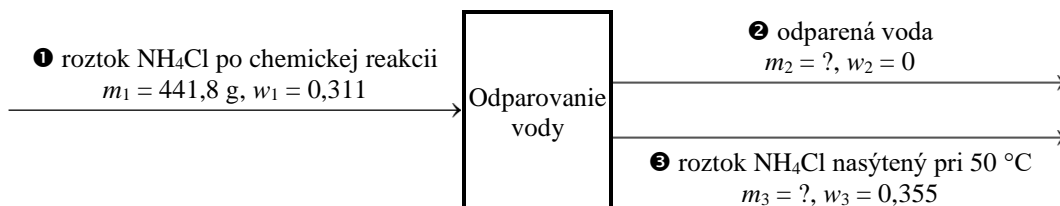
$$m(\text{C}) = \xi|\nu(\text{C})|M(\text{C}) = 2,565 \text{ mol} \cdot |1| \cdot 53,491 \text{ g mol}^{-1} = 137,2 \text{ g}$$

a teda jeho hmotnostný zlomok vo výslednom roztoku bol

$$w(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{m'(\text{C})} = \frac{137,2 \text{ g}}{441,8 \text{ g}} = \mathbf{0,311}$$

b) Budeme bilancovať NH_4Cl , takže namiesto $w_i(\text{NH}_4\text{Cl})$ môžeme písať len w_i .

Celkový dej odparovania vody znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie NH_4Cl pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1w_1 = m_2w_2 + m_3w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_2 máme vypočítať. Po vyjadrení m_3 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NH_4Cl dostaneme

$$m_1w_1 = m_2w_2 + (m_1 - m_2)w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_2(w_2 - w_3) = m_1(w_1 - w_3)$$

$$m_2 = \frac{m_1(w_1 - w_3)}{w_2 - w_3} = \frac{441,8 \text{ g} \cdot (0,311 - 0,355)}{0 - 0,355} = \mathbf{54,8 \text{ g}}$$

■ Hmotnostný zlomok chloridu amónneho v pripravenom roztoku bol 0,311. Z roztoku bolo treba odpariť 54,8 g vody, aby sa získal nasýtený roztok chloridu amónneho.

6.6.2 Chemická reakcia hydroxidu draselného s roztokom kyseliny sírovej sa uskutočnila v rozsahu 0,0860 mol.

a) Vypočítajte hmotnosť hydroxidu draselného a objem 96,00 % kyseliny sírovej, potrebných na chemickú reakciu.

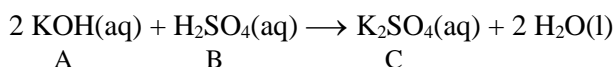
b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú bolo treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok pripravenej látky pri teplote 70 °C.

c) Vypočítajte hmotnosť síranu draselného, ktorý vykryštalizuje z nasýteného roztoku tejto látky pri teplote 70 °C ochladením na teplotu 20 °C.

Rozpustnosť síranu draselného $s(70\text{ °C}) = 20,0\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g vody, $s(20\text{ °C}) = 11,0\text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g vody

Riešenie:

Neutralizačnú reakciu KOH s roztokom H_2SO_4 vyjadruje rovnica



a) Hmotnosť hydroxidu draselného bola

$$m(\text{A}) = \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A}) = 0,0860 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 56,1056 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{9,65 \text{ g}}$$

Objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej bol

$$V'(\text{B}) = \frac{\xi |\nu(\text{B})| M(\text{B})}{\rho'(\text{B}) w(\text{B})} = \frac{0,0860 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 98,079 \text{ g mol}^{-1}}{1,8355 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,9600} = \mathbf{4,79 \text{ cm}^3}$$

b) Hmotnosť pripraveného síranu draselného bola

$$m(\text{C}) = \xi |\nu(\text{C})| M(\text{C}) = 0,0860 \text{ mol} \cdot |1| \cdot 174,259 \text{ g mol}^{-1} = 14,99 \text{ g}$$

a hmotnosť jeho roztoku nasýteného pri teplote 70 °C bola

$$m'(\text{C}, 70\text{ °C}) = \frac{m(\text{C})}{w(\text{C}, 70\text{ °C})} = \frac{14,99 \text{ g}}{0,1667} = 89,92 \text{ g}$$

Tento nasýtený roztok bol pripravený zmiešaním tuhého KOH s roztokom H_2SO_4 a následným pridaním alebo odparením vody. Zo zadania však nie je zrejmé, či po chemickej reakcii bola voda do roztoku pridaná alebo z roztoku odparená. Ak zvolíme predpoklad, že voda bola pridaná, potom platí

$$m(\text{A}) + m'(\text{B}) + m(\text{H}_2\text{O}, \text{pridaná}) = m'(\text{C}, 70\text{ °C})$$

$$m(\text{H}_2\text{O}, \text{pridaná}) = m'(\text{C}, 70\text{ °C}) - m(\text{A}) - V'(\text{B})\rho'(\text{B}) =$$

$$= 89,92 \text{ g} - 9,650 \text{ g} - 4,787 \text{ cm}^3 \cdot 1,8355 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{71,5 \text{ g}}$$

Ak zvolíme predpoklad, že voda bola odparená, potom platí

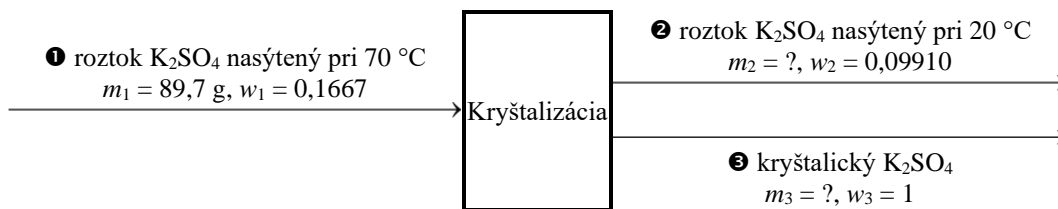
$$m(\text{A}) + m'(\text{B}) - m(\text{H}_2\text{O}, \text{odparená}) = m'(\text{C}, 70\text{ °C})$$

$$m(\text{H}_2\text{O}, \text{odparená}) = m(\text{A}) + V'(\text{B})\rho'(\text{B}) - m'(\text{C}, 70\text{ °C}) =$$

$$= 9,650 \text{ g} + 4,787 \text{ cm}^3 \cdot 1,8355 \text{ g cm}^{-3} - 89,92 \text{ g} = \mathbf{-71,5 \text{ g}}$$

Záporná hmotnosť odparenej vody znamená, že vodu bolo treba do sústavy pridať, teda prvý predpoklad bol správny.

c) Budeme bilancovať K_2SO_4 , takže namiesto $w_i(K_2SO_4)$ môžeme písať len w_i . Celkový dej kryštalizácie znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie K_2SO_4 pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_2 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie K_2SO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = (m_1 - m_3) w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_3 (w_3 - w_2) = m_1 (w_1 - w_2)$$

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{89,7 \text{ g} \cdot (0,1667 - 0,09910)}{1 - 0,09910} = \mathbf{6,76 \text{ g}}$$

☑ a) Na chemickú reakciu sa spotrebovalo 9,65 g hydroxidu draselného a 4,79 cm³ 96,00 % roztoku kyseliny sírovej.

b) Do sústavy bolo potrebné pridať 71,5 g vody.

c) Ochladením nasýteného roztoku vykryštalizovalo 6,76 g síranu draselného.

6.6.3 Z uhličitanu nikelnatého a 12,00 % kyseliny chlorovodíkovej treba pripraviť roztok obsahujúci 80,0 g chloridu nikelnatého.

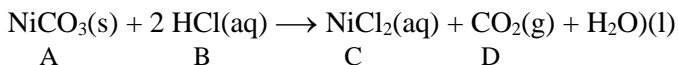
a) Vypočítajte hmotnosť uhličitanu nikelnatého s obsahom 3,20 % nereagujúcich prímiesí a objem 12,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej potrebných na chemickú reakciu.

b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo odpariť, aby vznikol roztok chloridu nikelnatého nasýtený pri teplote 60 °C.

c) Vypočítajte hmotnosť hexahydrátu chloridu nikelnatého, ktorý vykryštalizuje z tohto roztoku ochladením na teplotu 22 °C.

Rozpustnosť chloridu nikelnatého $s(60 \text{ °C}) = 44,6 \text{ g NiCl}_2$ na 100 g roztoku, $s(22 \text{ °C}) = 35,6 \text{ g NiCl}_2$ na 100 g roztoku.

Riešenie:



Zo známeho množstva chloridu nikelnatého vypočítame rozsah reakcie.

$$\xi = \frac{m(C)}{M(C)|\nu(C)|} = \frac{80,0 \text{ g}}{129,61 \text{ g mol}^{-1} \cdot |1|} = 0,6172 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť uhličitanu nikelnatého má byť

$$m(A) = \xi |\nu(A)| M(A) = 0,6172 \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 118,71 \text{ g mol}^{-1} = 73,27 \text{ g}$$

a hmotnosť $m'(A)$ uhličitanu nikelnatého s 3,20 % nereagujúcich prímiesí má byť

$$m'(A) = \frac{m(A)}{w(A)} = \frac{m(A)}{1 - w(\text{prímiesi})} = \frac{73,27 \text{ g}}{1 - 0,0320} = \mathbf{75,7 \text{ g}}$$

Objem 12,00 % kyseliny chlorovodíkovej má byť

$$V'(B) = \frac{\xi |\nu(B)| M(B)}{\rho'(B)w(B)} = \frac{0,6172 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 36,461 \text{ g mol}^{-1}}{1,0576 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,1200} = \mathbf{355 \text{ cm}^3}$$

b) Hmotnosť roztoku chloridu nikelnatého nasýteného pri teplote 60 °C má byť

$$m'(C, 60 \text{ °C}) = \frac{m(C)}{w(C, 60 \text{ °C})} = \frac{80,0 \text{ g}}{0,4460} = 179,4 \text{ g}$$

Tento nasýtený roztok vznikne zmiešaním tuhého NiCO_3 s roztokom HCl , pričom sa uvoľní plynný CO_2 a následne sa pridá alebo odparí časť vody. Ak predpokladáme, že vodu treba odpariť, potom platí

$$m(A) + m'(B) - m(D) - m(\text{H}_2\text{O, odparená}) = m'(C, 60 \text{ °C})$$

$$m(\text{H}_2\text{O, odparená}) = m(A) + V'(B)\rho'(B) - \xi |\nu(D)| M(D) - m'(C, 60 \text{ °C}) =$$

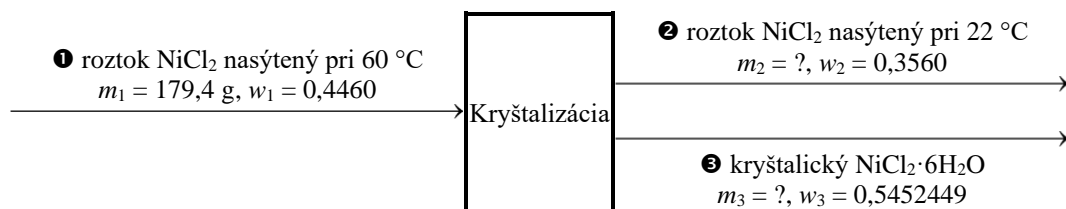
$$= 73,27 \text{ g} + 354,6 \text{ cm}^3 \cdot 1,0576 \text{ g cm}^{-3} - 0,1672 \text{ mol} \cdot |1| \cdot 44,0095 \text{ g mol}^{-1} - 179,4 \text{ g} = \mathbf{242 \text{ g}}$$

c) Budeme bilancovať NiCl_2 , takže namiesto $w_i(\text{NiCl}_2)$ môžeme písať len w_i .

Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame podľa (3.21).

$$w_3 = \frac{M(C)}{M(C \cdot 6\text{H}_2\text{O})} = \frac{129,5998 \text{ g mol}^{-1}}{237,691 \text{ g mol}^{-1}} = 0,5452449$$

Celkový dej kryštalizácie znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie NiCl_2 pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_2 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NiCl_2 dostaneme

$$m_1 w_1 = (m_1 - m_3) w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_3(w_3 - w_2) = m_1(w_1 - w_2)$$

$$m_3 = \frac{m_1(w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{179,4 \text{ g} \cdot (0,4460 - 0,3560)}{0,5452449 - 0,3560} = \mathbf{85,3 \text{ g}}$$

☑ a) Na prípravu roztoku chloridu nikelnatého treba 75,7 g znečisteného uhličitanu nikelnatého a 355 cm³ kyseliny chlorovodíkovej.

b) Z pripraveného roztoku treba odpariť 242 g vody, aby vznikol roztok chloridu nikelnatého nasýtený pri teplote 60 °C.

c) Ochladením nasýteného roztoku na teplotu 22 °C vykryštalizuje 85,3 g hexahydrátu chloridu nikelnatého.

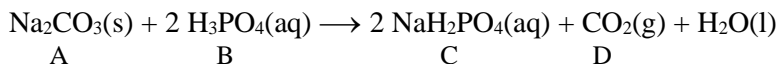
6.6.4 Z uhličitanu sodného a vodného roztoku kyseliny trihydrogenfosforečnej treba pripraviť 153 g roztoku dihydrogenfosforečnanu sodného, nasýteného pri teplote 40 °C.

a) Vypočítajte hmotnostný zlomok kyseliny trihydrogenfosforečnej v použitom vodnom roztoku a objem tohto roztoku.

b) Vypočítajte hmotnosť dihydrátu dihydrogenfosforečnanu sodného, ktorý vykryštalizuje z pripraveného roztoku ochladením na teplotu 0 °C.

Rozpustnosť dihydrogenfosforečnanu sodného $s(40 \text{ °C}) = 58,0 \text{ g NaH}_2\text{PO}_4$ na 100 g roztoku, $s(0 \text{ °C}) = 37,0 \text{ g NaH}_2\text{PO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:



Zo známeho množstva dihydrogenfosforečnanu sodného vypočítame rozsah reakcie.

$$\xi = \frac{m'(\text{C})w(\text{C})}{M(\text{C})|\nu(\text{C})|} = \frac{153 \text{ g} \cdot 0,5800}{119,977 \text{ g mol}^{-1} \cdot |2|} = 0,3698 \text{ mol}$$

a) Tento nasýtený roztok vznikne zmiešaním tuhého Na₂CO₃ s roztokom H₃PO₄, pričom sa uvoľní plynný CO₂,

$$m(\text{A}) + m'(\text{B}) - m(\text{D}) = m'(\text{C}, 40 \text{ °C})$$

z čoho pre hmotnosť roztoku H₃PO₄ platí

$$\begin{aligned} m'(\text{B}) &= m'(\text{C}, 40 \text{ °C}) - m(\text{A}) + m(\text{D}) = m'(\text{C}, 40 \text{ °C}) - \xi[|\nu(\text{A})|M(\text{A}) - |\nu(\text{D})|M(\text{D})] = \\ &= 153 \text{ g} - 0,3698 \text{ mol} \cdot (|-1| \cdot 105,9884 \text{ g mol}^{-1} - |1| \cdot 44,0095 \text{ g mol}^{-1}) = 130,1 \text{ g} \end{aligned}$$

a teda hmotnostný zlomok H₃PO₄ v jej roztoku

$$w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m'(\text{B})} = \frac{\xi|\nu(\text{B})|M(\text{B})}{m'(\text{B})} = \frac{0,3698 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 97,995 \text{ g mol}^{-1}}{130,1 \text{ g}} = \mathbf{0,557}$$

Objem použitého roztoku H₃PO₄ má byť

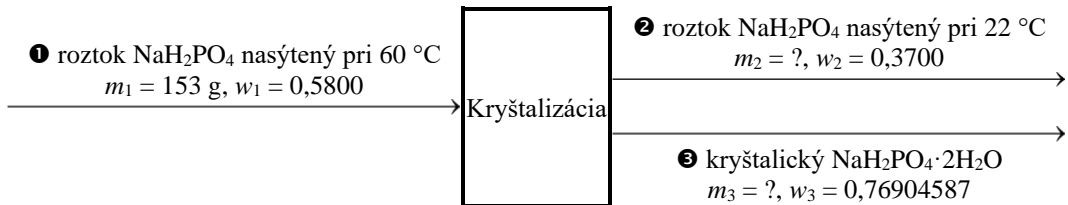
$$V'(\text{B}) = \frac{m'(\text{B})}{\rho'(\text{B})} = \frac{130,1 \text{ g}}{1,3854 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{93,9 \text{ cm}^3}$$

pričom jeho hustotu sme získali interpoláciou.

c) Budeme bilancovať NaH_2PO_4 , takže namiesto $w_i(\text{NaH}_2\text{PO}_4)$ môžeme písať len w_i . Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame podľa (3.21).

$$w_3 = \frac{M(\text{C})}{M(\text{C} \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \frac{119,9770 \text{ g mol}^{-1}}{156,0076 \text{ g mol}^{-1}} = 0,76904587$$

Celkový dej kryštalizácie znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie NiCl_2 pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_2 a m_3 , pričom m_3 máme vypočítať. Po vyjadrení m_2 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie NiCl_2 dostaneme

$$m_1 w_1 = (m_1 - m_3) w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_2 .

$$m_3(w_3 - w_2) = m_1(w_1 - w_2)$$

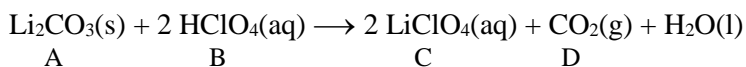
$$m_3 = \frac{m_1(w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{153 \text{ g} \cdot (0,5800 - 0,3700)}{0,76904587 - 0,3700} = \mathbf{80,5 \text{ g}}$$

■ Na prípravu 153 g nasýteného roztoku dihydrogenfosforečnanu sodného sa spotrebovalo $93,9 \text{ cm}^3$ 55,7 % roztoku kyseliny trihydrogenfosforečnej. Ochladením nasýteného roztoku na teplotu $0 \text{ }^\circ\text{C}$ vykryštalizovalo 80,5 g dihydrátu dihydrogenfosforečnanu sodného.

6.6.5 Chloristan lítny sa pripravil chemickou reakciou uhličitanu lítneho s kyselinou chloristou. Ochladením nasýteného roztoku chloristanu lítneho pri teplote $68 \text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $21 \text{ }^\circ\text{C}$ vykryštalizovalo 15,2 g trihydrátu chloristanu lítneho.

- Vypočítajte hmotnosť zreagovaného uhličitanu lítneho.
 - Vypočítajte hmotnosť a zloženie (w) roztoku kyseliny chloristej, aby sa po chemickej reakcii získal roztok chloristanu lítneho nasýtený pri teplote $68 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Vypočítajte objem oxidu uhličitého, ktorý sa pri teplote $68,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $100,8 \text{ kPa}$ uvedenou chemickou reakciou zo sústavy uvoľnil.
- Rozpustnosť chloristanu lítneho $s(68 \text{ }^\circ\text{C}) = 52,3 \text{ g LiClO}_4$ na 100 g roztoku, $s(21 \text{ }^\circ\text{C}) = 35,7 \text{ g LiClO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie:



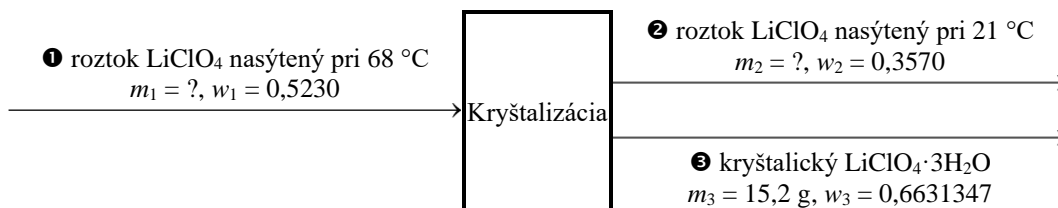
Zo zadania poznáme hmotnosť len vykryštalizovaného $\text{LiClO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, preto musíme najprv vyriešiť kryštalizáciu.

Budeme bilancovať LiClO_4 , takže namiesto $w_i(\text{LiClO}_4)$ môžeme písať len w_i .

Hmotnostný zlomok w_3 vypočítame podľa (3.21).

$$w_3 = \frac{M(\text{C})}{M(\text{C} \cdot 3\text{H}_2\text{O})} = \frac{106,392 \text{ g mol}^{-1}}{160,438 \text{ g mol}^{-1}} = 0,6631347$$

Celkový dej kryštalizácie znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov má tvar



Rovnica celkovej bilancie a rovnica bilancie LiClO_4 pre kryštalizáciu majú tvar

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$$

Dostali sme dve rovnice o dvoch neznámych m_1 a m_2 , pričom m_1 máme vypočítať. Po vyjadrení m_2 z celkovej bilancie a jej dosadení do bilancie LiClO_4 dostaneme

$$m_1 w_1 = (m_1 - m_3) w_2 + m_3 w_3$$

a úpravou dostaneme hľadanú hmotnosť m_1

$$m_1 (w_1 - w_2) = m_3 (w_3 - w_2)$$

$$m_1 = \frac{m_3 w_1 (w_3 - w_2)}{w_1 - w_2} = \frac{15,2 \text{ g} \cdot (0,6631347 - 0,3570)}{0,5230 - 0,3570} = 28,03 \text{ g}$$

a hmotnosť $m_1 w_1$ všetkého pripraveného LiClO_4 ,

$$m_1 w_1 = 28,03 \text{ g} \cdot 0,5230 = 14,65 \text{ g}$$

z ktorej vypočítame rozsah reakcie.

$$\xi = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})|\nu(\text{C})|} = \frac{14,65 \text{ g}}{106,392 \text{ g mol}^{-1} \cdot |2|} = 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

a) Hmotnosť zreagovaného uhličitanu lítneho bola

$$m(\text{A}) = \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A}) = 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-1| \cdot 73,891 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{5,09 \text{ g}}$$

b) Roztok LiClO_4 nasýtený pri teplote 68°C sa získal zmiešaním tuhého LiCO_3 s roztokom HClO_4 , pričom sa uvoľnil plynný CO_2 ,

$$m(\text{A}) + m'(\text{B}) - m(\text{D}) = m'(\text{C}, 68^\circ\text{C})$$

z čoho pre hmotnosť roztoku HClO_4 platí

$$m'(\text{B}) = m'(\text{C}, 68^\circ\text{C}) - m(\text{A}) + m(\text{D}) = m'(\text{C}, 68^\circ\text{C}) - \xi [|\nu(\text{A})| M(\text{A}) - |\nu(\text{D})| M(\text{D})] =$$

$$= 28,03 \text{ g} - 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (|-1| \cdot 73,891 \text{ g mol}^{-1} - |1| \cdot 44,0095 \text{ g mol}^{-1}) = \mathbf{26,0 \text{ g}}$$

a teda hmotnostný zlomok HClO₄ v jej roztoku

$$w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m'(\text{B})} = \frac{\xi | \nu(\text{B}) | M(\text{B})}{m'(\text{B})} = \frac{6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 100,459 \text{ g mol}^{-1}}{25,97 \text{ g}} = \mathbf{0,533}$$

c) Objem uvoľneného oxidu uhličitého vypočítame použitím stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8).

$$V(\text{D}) = \frac{\xi | \nu(\text{D}) | RT(\text{D})}{p(\text{D})} = \frac{6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot |1| \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 341,15 \text{ K}}{100,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = \mathbf{1,94 \text{ dm}^3}$$

☑ a) Zreagovalo 5,09 g uhličitanu lítneho.

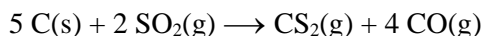
b) Na chemickú reakciu sa použilo 26,0 g 53,3 % roztoku kyseliny chloristej.

c) Zo sústavy sa pri daných podmienkach uvoľnilo 1,94 dm³ oxidu uhličitého.

Úlohy 6.7.38 až 6.7.49.

6.7 Úlohy

6.7.1 Chemickou reakciou 7,5 mol uhlíka s oxidom siričitým vznikol sírouhlík a oxid uhoľnatý.



a) Vypočítajte rozsah reakcie.

b) Vypočítajte látkové množstvo vzniknutého sírouhlíka.

c) Vypočítajte látkové množstvo vzniknutého oxidu uhoľnatého.

[a] 1,5 mol; b) 1,5 mol; c) 4,0 mol]

6.7.2 V chemickej reakcii uhlíka s oxidom siričitým (úloha 6.7.1) zreagovalo 6,4 mol oxidu siričitého. Látkové množstvo uhlíka na začiatku chemickej reakcie bolo 19,5 mol.

a) Vypočítajte látkové množstvá produktov.

b) Vypočítajte látkové množstvo nezreagovaného uhlíka.

[a] 3,2 mol CS₂, 12,8 mol CO; b) 3,5 mol]

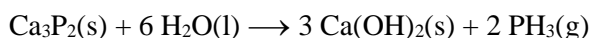
6.7.3 Tepelným rozkladom chlorečnanu draselného na chloristan draselný a chlorid draselný sa získalo 4,62 mol chloristanu draselného.

a) Vypočítajte rozsah reakcie.

b) Vypočítajte hmotnosť rozloženého chlorečnanu draselného.

[a] 1,54 mol; b) 755 g]

6.7.4 V chemickej reakcii zreagovalo 54,3 g fosfidu vápenatého s vodou.



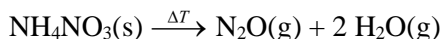
a) Vypočítajte rozsah reakcie.

b) Vypočítajte látkové množstvo vody potrebné na chemickú reakciu.

c) Vypočítajte hmotnosť vzniknutého hydroxidu vápenatého.

[a] 0,298 mol; b) 1,79 mol; c) 66,2 g]

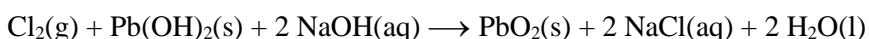
6.7.5 Termickým rozkladom 9,50 g dusičnanu amónneho pri teplote 210 °C a tlaku 103,4 kPa sa pripravil oxid dusný.



- Vypočítajte rozsah termického rozkladu.
- Vypočítajte objem vzniknutého oxidu dusného.

[a) 0,119 mol; b) 4,62 dm³]

6.7.6 Jedným zo spôsobov prípravy oxidu olovičitého je redoxná reakcia



Uvedenou chemickou reakciou sa pripravilo 28,7 g oxidu olovičitého.

- Vypočítajte rozsah reakcie.
- Vypočítajte látkové množstvo zreagovaného hydroxidu olovnatého a hydroxidu sodného.
- Vypočítajte objem zreagovaného chlóru pri teplote 23,0 °C a tlaku 100,5 kPa.

[a) 0,120 mol; b) 0,120 mol, 0,240 mol; c) 2,94 dm³]

6.7.7 Chemickou reakciou hliníka s oxidom olovičítym, pri ktorej vzniká olovo a oxid hlinitý, zreagovalo 300,0 g oxidu olovičitého.

- Vypočítajte hmotnosť vzniknutého olova.
- Vypočítajte hmotnosť hliníka potrebného na chemickú reakciu, ak obsahoval 1,70 % nereagujúcich prímiesí.

[a) 259,9 g; b) 45,9 g]

6.7.8 Chlorid sírny S₂Cl₂ sa pripravuje chemickou reakciou chlóru so sírou. V chemickej reakcii zreagovalo 24,7 g síry. Vypočítajte objem získaného kvapalného chloridu sírneho s hustotou 1,67 g cm⁻³, ak priemerný výťažok syntézy je 60,0 %.

[18,6 cm³]

6.7.9 Zo 150 cm³ roztoku chloridu bárnateho sa chemickou reakciou s kyselinou sírovou vylúčilo 0,934 g síranu bárnateho. Použitý roztok kyseliny sírovej mal koncentráciu látkového množstva 1,00 · 10⁻² mol dm⁻³.

- Vypočítajte koncentráciu látkového množstva chloridu bárnateho v roztoku.
- Vypočítajte objem použitého roztoku kyseliny sírovej.
- Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu chlorovodíka za predpokladu, že objem roztoku sa pri chemickej reakcii nezmenil.

[a) 0,0267 mol dm⁻³; b) 400 cm³; c) 0,531 g dm⁻³]

6.7.10 Z 230 g roztoku dusičnanu olovnatého chemickou reakciou so stechiometrickým množstvom kyseliny sírovej sa vylúčilo 4,85 g síranu olovnatého.

- Vypočítajte mólový zlomok dusičnanu olovnatého vo východiskovom roztoku.
- Vypočítajte koncentráciu látkového množstva kyseliny dusičnej vo výslednom roztoku, ktorý po odfiltrovaní síranu olovnatého a doplnení vodou mal objem 500 cm³.

[a) 1,28 · 10⁻³; b) 6,40 · 10⁻² mol dm⁻³]

6.7.11 Chemickou reakciou dusičnanu strieborného rozpusteného v 58,0 g 0,50 % roztoku s kyselinou chlorovodíkovou, ktorej roztok mal koncentráciu chloridových iónov $pCl = 1,70$ sa vylúčil chlorid strieborný.

a) Vypočítajte hmotnosť chloridu strieborného.

b) Vypočítajte objem použitej kyseliny chlorovodíkovej.

c) Vypočítajte $pHNO_3$ v roztoku, ktorého objem po doplnení vodou bol 200 cm^3 .

[a) 0,25 g; b) 86 cm^3 ; c) 2,07]

6.7.12 Na neutralizáciu 200 cm^3 roztoku hydroxidu sodného s koncentráciou látkového množstva $0,040 \text{ mol dm}^{-3}$ sa spotrebovalo 250 cm^3 roztoku kyseliny dusičnej. Vypočítajte koncentráciu látkového množstva kyseliny dusičnej v roztoku.

[$0,032 \text{ mol dm}^{-3}$]

6.7.13 Do roztoku pripraveného rozpustením 0,40 g hydroxidu vápenatého sa pridala kyselina chlorovodíková s koncentráciou chlorovodíka $0,15 \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte objem kyseliny chlorovodíkovej potrebný na neutralizáciu uvedeného roztoku hydroxidu vápenatého.

[72 cm^3]

6.7.14 Vypočítajte hmotnosť hydroxidu horečnatého, ktorý úplne zreaguje s kyselinou trihydrogenfosforečnou na fosforečnan trihorečnatý, ktorá sa nachádza

a) v $20,0 \text{ cm}^3$ roztoku s koncentráciou látkového množstva $0,15 \text{ mol dm}^{-3}$,

b) v $20,0 \text{ g}$ roztoku s molalitou $0,15 \text{ mol kg}^{-1}$.

[a) 0,26 g; b) 0,26 g]

6.7.15 Peroxid vodíka v 250 cm^3 4,00 % vodného roztoku sa rozložil na vodu a kyslík. Vypočítajte objem kyslíka, ktorý sa z roztoku uvoľnil pri teplote $32,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $99,9 \text{ kPa}$.

[$3,78 \text{ cm}^3$]

6.7.16 Dusík sa laboratórne pripravuje zahrievaním zmesi vodného roztoku dusitanu sodného a chloridu amónneho, pričom ešte vzniká chlorid sodný a voda. V danej chemickej reakcii sa pri teplote $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $101,1 \text{ kPa}$ uvoľnilo $2,65 \text{ dm}^3$ dusíka. Vypočítajte hmotnosť 15,0 % vodného roztoku dusitanu sodného a hmotnosť 20,0 % vodného roztoku chloridu amónneho potrebných na uvedenú prípravu dusíka.

[39,7 g; 23,1 g]

6.7.17 Chlór sa laboratórne zneškodňuje vodným alkalickým roztokom tiosíranu sodného (antichlór). Chlór, ktorý bolo treba zneškodniť, mal pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $97,0 \text{ kPa}$ objem 120 dm^3 . Vypočítajte hmotnosť pentahydrátu tiosíranu sodného a hydroxidu sodného, ak pentahydrát tiosíranu sodného musí byť v 50 % nadbytku a hydroxid sodný v 100 % nadbytku vzhľadom na stechiometriu chemickej reakcie zneškodňovania chlóru.

[444 g; 955 g]

6.7.18 Ak reaguje oxid vanádnatý s oxidom železitým, produktmi chemickej reakcie sú oxid vanadičný a oxid železnatý. Vypočítajte hmotnosť oxidu vanadičného, ktorý vznikne touto chemickou reakciou, ak na začiatku chemickej reakcie je v sústave

a) 2,00 g oxidu vanádnatého a 5,75 oxidu železitého,

b) 6,5 g oxidu vanádnatého a 3,2 oxidu železitého.

[a) 2,18 g; b) 1,2 g]

6.7.19 Chemickou reakciou titánu s kyselinou dusičnou a kyselinou chlorovodíkovou vznikol chlorid titaničitý, oxid dusnatý a voda. Na chemickú reakciu sa zobralo 12,1 g titánu a 25,5 cm³ roztoku kyseliny dusičnej s koncentráciou 6,97 mol dm⁻³.

a) Vypočítajte objem oxidu dusnatého, ktorý sa uvoľnil pri teplote 27,0 °C a tlaku 102,1 kPa.

b) Vypočítajte hmotnostný zlomok chloridu titaničitého v roztoku po chemickej reakcii, ktorého hmotnosť bola 83,3 g.

[a) 4,34 dm³; b) 0,304]

6.7.20 K 200 cm³ roztoku oxóniových katiónov s pH = 1,50 sa pridalo 150 cm³ roztoku hydroxidových aniónov s pOH = 2,50. Vypočítajte pH a pOH vo vzniknutom roztoku za predpokladu, že platí aditivita objemov.

[pH = 1,78; pOH = 12,22]

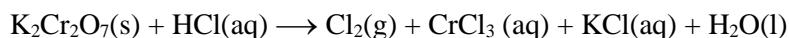
6.7.21 Do 250 cm³ roztoku, v ktorom boli rozpustené 2,00 g hydroxidu bárnateho, sa pridalo 250 cm³ roztoku oxóniových katiónov s pH = 2,00. Vypočítajte pH a pOH v pripravenom roztoku za predpokladu, že platí aditivita objemov.

[pH = 12,62; pOH = 1,38]

6.7.22 K 100,0 g roztoku síranu meďnatého s hmotnostným zlomkom $w(\text{CuSO}_4) = 0,20$ sa pridalo 3,5 g práškového zinku. Vypočítajte hmotnostný zlomok síranu meďnatého a síranu zinočnatého v roztoku po chemickej reakcii.

[$w(\text{CuSO}_4) = 0,11$; $w(\text{ZnSO}_4) = 0,086$]

6.7.23 Chlór sa pripravuje oxidáciou chlorovodíka vo vodnom roztoku dichrómanom didraselným podľa schémy

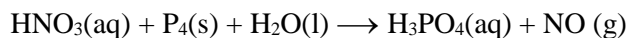


a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.

b) Vypočítajte objem uvoľneného chlóru pri teplote 24,0 °C a tlaku 98,0 kPa, ak sa na chemickú reakciu použilo 4,10 g dichrómanu didraselného a 58,0 cm³ 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej.

[a) - 1, - 14, 3, 2, 2, 7; b) 1,05 dm³]

6.7.24 Oxidácia bieleho fosforu kyselinou dusičnou prebieha podľa schémy

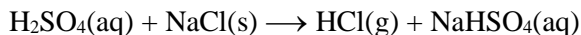


a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.

b) Vypočítajte objem uvoľneného oxidu dusnatého pri teplote 20,0 °C a tlaku 103,0 kPa, ak sa na chemickú reakciu použilo 9,50 g fosforu a 475 cm³ 60,0 % roztoku kyseliny dusičnej s hustotou 1,367 g cm⁻³.

[a) - 20, - 3, - 8, 12, 20; b) 12,1 dm³]

6.7.25 Pôsobením koncentrovanej kyseliny sírovej na pevný chlorid sodný



sa uvoľnil chlorovodík, ktorý sa zaviedol do vodného roztoku dusičnanu strieborného. Z vodného roztoku sa vylúčilo 14,4 g chloridu strieborného.

- Vypočítajte objem 96,0 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na prípravu chlorovodíka.
- Vypočítajte hmotnosť zreagovaného chloridu sodného za predpokladu, že uvoľnený chlorovodík kvantitatívne zreagoval s dusičnanom strieborným.

[a) 5,59 cm³; b) 5,87 g]

6.7.26 Z 89,9 g roztoku chloridu železitého sa amoniakom vyzrážal hydratovaný oxid železitý. Jeho žiňaním sa získalo 1,278 g oxidu železitého. Vypočítajte molalitu, hmotnostný zlomok a mólový zlomok chloridu železitého v roztoku.

[0,183 mol kg⁻¹; 2,89 · 10⁻²; 3,29 · 10⁻³]

6.7.27 Po zreagovaní 2,16 g striebra s kyselinou dusičnou sa roztok doplnil vodou na objem 200 cm³. Na úplné vyzrážanie strieborných iónov z tohto roztoku sa spotrebovalo 100 cm³ roztoku tiokyanatanu draselného.

- Vypočítajte koncentráciu látkového množstva dusičnanu strieborného a tiokyanatanu draselného v ich roztokoch.
- Vypočítajte hmotnosť vznikutej zrazeniny.

[a) 0,100 mol dm⁻³, 0,200 mol dm⁻³; b) 3,32 g]

6.7.28 Po chemickej reakcii brómu s oxidom antimonitým a hydroxidom draselným sa získalo 400 g roztoku, v ktorom hmotnostný zlomok bromidu draselného bol 0,150. V danej reakcii vznikol aj antimoničnan tridraselný a voda. Bróm sa pre túto chemickú reakciu pripravoval oxidáciou bromovodíka kyselinou sírovou, pričom ešte vznikol oxid siričitý a voda.

- Vypočítajte hmotnosť oxidu antimonitého, ktorý obsahoval 1,20 % nereagujúcich prímiesí.
- Vypočítajte hmotnosť 30,0 % roztoku bromovodíka a objem 96,0 % kyseliny sírovej, potrebných na prípravu potrebného množstva brómu.

[a) 37,2 g; b) 136 g, 14,0 cm³]

6.7.29 Do 450 g horúceho 25,0 % vodného roztoku hydroxidu sodného sa zaviedol chlór, ktorý sa pripravil chemickou reakciou oxidu manganičitého s kyselinou chlorovodíkovou. Vypočítajte hmotnosť oxidu manganičitého a objem 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej potrebných na prípravu chlóru, ak sa pripravený chlór využil iba na 50,0 %.

[245 g; 967 cm³]

6.7.30 Bezvodý chlorid železitý sa pripravuje priamou syntézou z prvkov. Syntéza sa uskutočnila v rozsahu 10,0 mmol. Chlór sa pre uvedenú chemickú reakciu pripravoval pôsobením kyseliny chlorovodíkovej na manganistan draselný.

- Vypočítajte hmotnosť manganistanu draselného a objem 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej, ak využitie chlóru pri syntéze je iba 20,0 %.
- Vypočítajte hmotnosť chloridu železitého, ktorý sa syntézou pripravil

[a) 9,48 g, 41,2 cm³; b) 3,24 g]

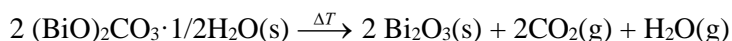
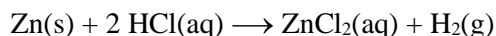
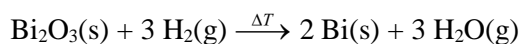
6.7.31 Redukciou oxidu železitého vodíkom sa pripravilo 2,57 g práškového železa. Potrebný vodík sa pripravil chemickou reakciou zinku so zriedenou kyselinou chlorovodíkovou.

a) Vypočítajte hmotnosť zinku a objem 34,00 % kyseliny chlorovodíkovej, ak uvedenou chemickou reakciou treba vyrobiť desaťnásobne väčšie množstvo vodíka ako zodpovedá množstvu potrebnému na uvedenú prípravu práškového železa.

b) Vypočítajte hmotnosť oxidu železitého na prípravu uvedeného množstva železa za predpokladu, že obsahoval 15,4 % vody.

[a) 45,1 g, 127 cm³; b) 4,34 g]

6.7.32 Redukciou oxidu bizmutitého vodíkom sa získalo 4,33 g bizmutu. Na prípravu vodíka sa použilo 15,0 g zinku obsahujúceho 2,55 % nereagujúcich prímiesí a 30,0 cm³ 25,0 % kyseliny chlorovodíkovej. Oxid bizmutitý sa získal termickým rozkladom hemihydrátu uhličitanu bizmutyly.



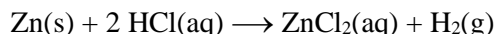
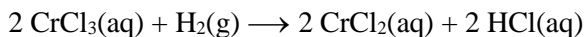
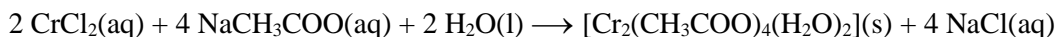
a) Vypočítajte hmotnosť hemihydrátu uhličitanu bizmutyly, ktorá je potrebná na prípravu uvedeného množstva bizmutu.

b) Vypočítajte využitie vodíka pri tejto príprave.

c) Vypočítajte hmotnosť alebo objem nezreagovanej látky pri príprave vodíka.

[a) 5,38 g; b) 26,9 %; c) $m(\text{znečist. Zn}) = 7,44 \text{ g}$]

6.7.33 Tetraacetáto-diakvadichrómnatý komplex sa pripravil chemickou reakciou chloridu chrómnateho s octanom sodným. Roztok chloridu chrómnateho sa pripravil z 32,5 g 13,7 % roztoku chloridu chromitého redukciou vodíkom. Na prípravu vodíka sa použilo 4,00 g zinku a 36,0 % kyselina chlorovodíková.



a) Vypočítajte hmotnosť hexahydrátu chloridu chromitého a vody, ktoré sú potrebné na prípravu uvedeného množstva roztoku chloridu chromitého.

b) Vypočítajte hmotnosť trihydrátu octanu sodného, ak sa použilo 5,5-krát väčšie množstvo ako vyžaduje stechiometria chemickej reakcie.

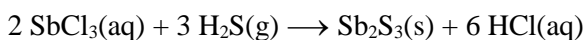
c) Vypočítajte objem 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej potrebnej na prípravu vodíka.

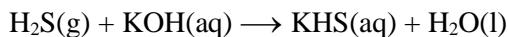
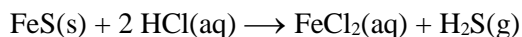
d) Vypočítajte využitie vodíka pri redukcii chloridu chromitého.

e) Vypočítajte hmotnosť pripraveného tetraacetáto-diakvadichrómnatého komplexu.

[a) 7,49 g, 25,0 g; b) 42,1; c) 10,5 cm³; d) 23,0 %; e) 5,29 g]

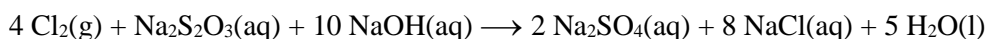
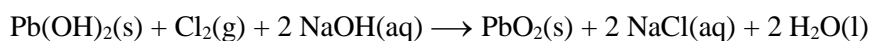
6.7.34 Sulfid antimonitý sa pripravil chemickou reakciou sulfánu s chloridom antimonitým v 50,0 g 18,0 % roztoku. Potrebný sulfán sa pripravil chemickou reakciou 11,5 g sulfidu železnateho s 16,5 cm³ 26,0 % kyselinou chlorovodíkovou. Nezreagovaný sulfán sa zachytil v 17,5 % roztoku hydroxidu draselného, kde zreagoval.





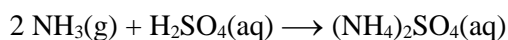
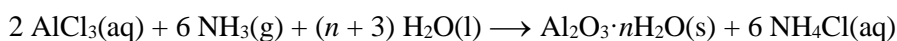
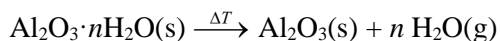
- a) Vypočítajte hmotnosť pripraveného sulfidu antimonitého.
 b) Vypočítajte využitie sulfánu pri danej príprave.
 c) Vypočítajte objem roztoku hydroxidu draselného, ktorý bol potrebný na zneškodnenie nezreagovaného sulfánu.
 d) Vypočítajte hmotnosť alebo objem nezreagovanej látky pri príprave sulfánu.
 [a] 6,70 g; b) 89,1 %; c) 2,00 cm³; d) $m(\text{FeS}) = 5,66 \text{ g}$

6.7.35 Chemickou reakciou hydroxidu olovnatého s chlóróm v zásaditom prostredí sa pripravilo 2,45 g oxidu olovičitého. Na prípravu chlóru sa použil oxid manganičitý obsahujúci 4,00 % nereagujúcich prímiesí a 36,0 % kyselina chlorovodíková. Nezreagovaný chlór sa absorboval v roztoku, ktorý obsahoval tiosíran sodný a hydroxid sodný.



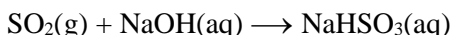
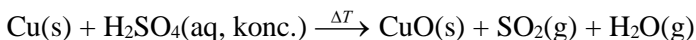
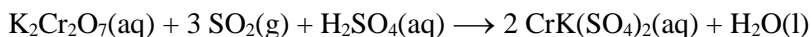
- a) Vypočítajte hmotnosť hydroxidu olovnatého a objem 40,0 % roztoku hydroxidu sodného, ktoré sú potrebné na prípravu uvedeného množstva oxidu olovičitého.
 b) Vypočítajte hmotnosť znečisteného oxidu manganičitého a objem kyseliny chlorovodíkovej, ktoré sú potrebné na prípravu chlóru, ak jeho využitie pri príprave oxidu olovičitého je 27,1 %.
 c) Vypočítajte hmotnosti pentahydrátu tiosíranu sodného a hydroxidu sodného potrebné na zneškodnenie nezreagovaného chlóru.
 [a] 2,47 g, 1,43 cm³; b) 3,42 g, 13,0 cm³; c) 1,71 g, 2,76 g]

6.7.36 Termickým rozkladom hydratovaného oxidu hlinitého sa pripravilo 3,50 g bezvodého oxidu hlinitého. Hydratovaný oxid hlinitý sa pripravil zavádzaním amoniaku do 8,50 % vodného roztoku chloridu hlinitého. Na prípravu amoniaku sa použil 22,5 % roztok chloridu amónneho a hydroxid sodný. Nezreagovaný amoniak sa absorboval v 5,00 % vodnom roztoku kyseliny sírovej.



- a) Vypočítajte hmotnosť hexahydrátu chloridu hlinitého a objem vody, ktoré boli potrebné na prípravu uvedeného roztoku chloridu hlinitého.
 b) Vypočítajte hmotnosť roztoku chloridu amónneho a hmotnosť hydroxidu sodného potrebných na prípravu amoniaku, ak jeho využitie pri zrážaní hydratovaného oxidu hlinitého bolo 70,0 %.
 c) Vypočítajte objem roztoku kyseliny sírovej potrebný na zneškodnenie nezreagovaného amoniaku.
 [a] 16,6 g, 91,2 cm³; b) 69,9 g, 11,8 g; c) 83,9 cm³]

6.7.37 Zavádzaním oxidu siričitého do nasýteného vodného roztoku dichrómanu didraselného pri teplote 25 °C obsahujúceho 6,00 g dichrómanu didraselného okysleného kyselinou sírovou (stechiometrické množstvo) sa pripravil vodný roztok síranu draselno-chromitého. Oxid siričitý sa pripravil chemickou reakciou 10,1 g medi obsahujúcej 2,54 % nereagujúcich prímiesí a 17,0 cm³ 96,0 % kyseliny sírovej. Nezreagovaný oxid siričitý sa zachytával v 15,0 % vodnom roztoku hydroxidu sodného.



- Vypočítajte hmotnosť vody potrebnú na prípravu nasýteného vodného roztoku dichrómanu didraselného pri teplote 25 °C.
 - Vypočítajte objem 96,0 % kyseliny sírovej potrebný na okyslenie tohto nasýteného roztoku.
 - Vypočítajte hmotnosť pripraveného roztoku síranu draselno-chromitého a hmotnostný zlomok síranu draselno-chromitého v tomto roztoku.
 - Vypočítajte objem roztoku hydroxidu sodného potrebný na zneškodnenie nezreagovaného oxidu siričitého.
 - Vypočítajte využitie oxidu siričitého pri príprave síranu draselno-chromitého. Rozpustnosť dichrómanu didraselného $s(25\text{ °C}) = 13,1\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 100 g roztoku.
- [a) 39,8 g; b) 1,14 cm³; c) 51,8 g, 0,223; d) 21,5 cm³; e) 39,5 %]

6.7.38 Vodný roztok dusičnanu draselného sa pripravil zmiešaním 100,0 cm³ 26,00 % vodného roztoku hydroxidu draselného a 17,00 % vodného roztoku kyseliny dusičnej.

- Vypočítajte hmotnostný zlomok dusičnanu draselného v pripravenom roztoku.
 - Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu draselného pri teplote 75 °C.
 - Vypočítajte hmotnosť vykryštalizovaného dusičnanu draselného ochladením nasýteného roztoku pri teplote 75 °C na teplotu 15 °C.
- Rozpustnosť dusičnanu draselného $s(75\text{ °C}) = 153,5\text{ g KNO}_3$ na 100 g H₂O, $s(15\text{ °C}) = 26,24\text{ g KNO}_3$ na 100 g H₂O.
- [a) 0,1724; b) 241 g vody odpariť; c) 48,2 g]

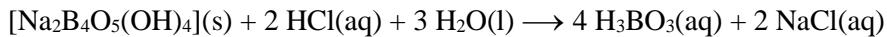
6.7.39 Chemickou reakciou 18,45 g olova s kyselinou dusičnou vo vodnom 30,0 % roztoku sa pripravil roztok dusičnanu olovnatého.

- Vypočítajte objem použitého roztoku kyseliny dusičnej.
 - Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu olovnatého pri teplote 70 °C.
 - Vypočítajte hmotnosť dusičnanu olovnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 25 °C.
- Rozpustnosť dusičnanu olovnatého $s(70\text{ °C}) = 51,00\text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2$ na 100 g roztoku, $s(25\text{ °C}) = 37,50\text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2$ na 100 g roztoku.
- [a) 42,3 cm³; b) 8,72 g vody odpariť; c) 12,5 g]

6.7.40 Chlorid draselný možno pripraviť chemickou reakciou uhličitanu draselného s kyselinou chlorovodíkovou. Treba pripraviť 150 g nasýteného roztoku chloridu draselného pri teplote 70 °C.

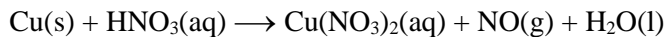
- a) Vypočítajte hmotnosť uhličitanu draselného a objem 22,0 % kyseliny chlorovodíkovej, ktoré treba na chemickú reakciu.
- b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu draselného pri teplote 70 °C.
- c) Vypočítajte hmotnosť chloridu draselného, ktorý sa získa prvou a druhou kryštalizáciou ochladením nasýteného roztoku na teplotu 20 °C.
Rozpustnosť chloridu draselného $s(70\text{ °C}) = 48,62\text{ g KCl na }100\text{ g roztoku}$, $s(20\text{ °C}) = 37,09\text{ g KCl na }100\text{ g roztoku}$.
- [a) 67,6 g, 146 cm³; b) 58,2 g vody odpariť; c) 27,5 g, 17,1 g]

6.7.41 Ak sa nasýtený roztok kyseliny trihydrogenboritej pri teplote 80 °C ochladil na teplotu 20 °C, vykryštalizovalo 24,1 g kyseliny trihydrogenboritej. Kyselina trihydrogenboritá sa pripravila chemickou reakciou



- a) Vypočítajte hmotnosť oktahydrátu tetrahydroxido-pentaoxidotetraboritanu disodného (bóraxu) a objem 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej potrebných na chemickú reakciu.
- b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok kyseliny trihydrogenboritej pri teplote 80 °C.
Rozpustnosť kyseliny trihydrogenboritej $s(80\text{ °C}) = 19,30\text{ g H}_3\text{BO}_3\text{ na }100\text{ g roztoku}$, $s(20\text{ °C}) = 4,78\text{ g H}_3\text{BO}_3\text{ na }100\text{ g roztoku}$.
- [a) 47,0 g, 21,2 cm³; b) 100 g vody pridať]

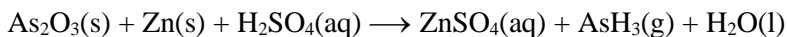
6.7.42 Nasýtený roztok dusičnanu meďnatého pri teplote 50 °C sa pripravil podľa schémy



Zo sústavy sa pri teplote 50,0 °C a tlaku 99,0 kPa uvoľnilo 3,76 dm³ oxidu dusnatého.

- a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.
- b) Vypočítajte hmotnosť zreagovanej meďi a objem spotrebovaného roztoku kyseliny dusičnej s hmotnostným zlomkom $w(\text{HNO}_3) = 0,280$.
- c) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu meďnatého pri teplote 50 °C.
- d) Vypočítajte hmotnosť trihydrátu dusičnanu meďnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 20 °C.
Rozpustnosť dusičnanu meďnatého $s(50\text{ °C}) = 62,0\text{ g Cu}(\text{NO}_3)_2\text{ na }100\text{ g roztoku}$, $s(20\text{ °C}) = 55,6\text{ g Cu}(\text{NO}_3)_2\text{ na }100\text{ g roztoku}$.
- [a) -3, -8, 3, 2, 4; b) 13,2 g, 107 cm³; c) 70,9 g vody odpariť; d) 18,3 g]

6.7.43 Nasýtený roztok síranu zinočnatého pri teplote 40,0 °C sa pripravil podľa schémy



Zo sústavy sa pri tejto teplote a tlaku 97,0 kPa uvoľnilo 1,03 dm³ arzánu.

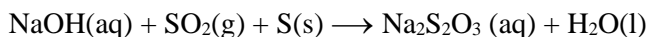
- a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.
- b) Vypočítajte hmotnosť použitého oxidu arzenitého a zinku.
- c) Vypočítajte objem spotrebovaného roztoku kyseliny sírovej s hmotnostným zlomkom $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,42$.
- d) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok síranu zinočnatého pri teplote 40 °C.

e) Vypočítajte hmotnosť heptahydrátu síranu zinočnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 10 °C.

Rozpustnosť síranu zinočnatého $s(40\text{ °C}) = 41,0\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(10\text{ °C}) = 32,0\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) – 1, – 6, – 6, 6, 2, 3; b) 3,80 g, 7,53 g; c) 20,4 cm³; d) 10,2 g vody pridať; e) 16,9 g]

6.7.44 Z nasýteného roztoku tiosíranu sodného pri teplote 50 °C ochladením na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 60,0 g pentahydrátu tiosíranu sodného. Roztok tiosíranu sodného sa pripravil podľa schémy



Na chemickú reakciu sa použil 28,0 % vodný roztok hydroxidu sodného.

a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.

b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorá sa musela do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok tiosíranu sodného pri teplote 50 °C.

c) Vypočítajte objem zreagovaného oxidu siričitého pri teplote 50,0 °C a tlaku 101,325 kPa. Rozpustnosť tiosíranu sodného $s(50\text{ °C}) = 60,0\text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ °C}) = 21,0\text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ na 100 g roztoku.

[a) – 2, – 1, – 1, 1, 1; b) 29,5 g vody odpariť; c) 6,61 dm³]

6.7.45 Ochladením nasýteného roztoku chloridu mangánatého pri teplote 50 °C na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 12,0 g tetrahydrátu chloridu mangánatého. Roztok chloridu mangánatého sa pripravil podľa schémy



Na chemickú reakciu sa použila 36,0 % kyselina chlorovodíková.

a) Vypočítajte stechiometrické koeficienty látok.

b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorá sa musela do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu mangánatého pri teplote 50 °C.

c) Vypočítajte objem uvoľneného chlóru pri teplote 50,0 °C a tlaku 101,0 kPa.

Rozpustnosť chloridu mangánatého $s(50\text{ °C}) = 49,5\text{ g MnCl}_2$ na 100 g roztoku, $s(20\text{ °C}) = 40,0\text{ g MnCl}_2$ na 100 g roztoku.

[a) – 1, – 4, 1, 1, 2; b) 19,5 g vody odpariť; c) 3,11 dm³]

6.7.46 Nasýtený roztok hydrogensíranu draselného pri teplote 90 °C sa pripravil chemickou reakciou síranu draselného s kyselinou sírovou vo vodnom roztoku. Ochladením tohto nasýteného roztoku na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 27,42 g hydrogensíranu draselného.

a) Vypočítajte hmotnosť síranu draselného, ktorý bolo treba na chemickú reakciu.

b) Vypočítajte zloženie a objem použitého vodného roztoku kyseliny sírovej.

c) Vypočítajte objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej a hmotnosť vody potrebných na prípravu použitého vodného roztoku kyseliny sírovej.

Rozpustnosť hydrogensíranu draselného $s(90\text{ °C}) = 107,57\text{ g KHSO}_4$ na 100 g H₂O, $s(20\text{ °C}) = 47,71\text{ g KHSO}_4$ na 100 g H₂O.

[a) 31,5 g; b) 0,277, 53,3 cm³; c) 10,1 cm³, 45,5 g]

6.7.47 Z roztoku siričitanu sodného nasýteného pri teplote 30 °C ochladením na teplotu 10 °C vykryštalizovalo 12,50 g heptahydrátu siričitanu sodného. Nasýtený roztok siričitanu sodného sa pripravil zavádzaním oxidu siričitého do roztoku hydroxidu sodného.

a) Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného a vody potrebných na prípravu roztoku hydroxidu sodného.

b) Vypočítajte látkové množstvo vyrobeného oxidu siričitého, ak sa pri chemickej reakcii uvažuje so stratami 40,00 % SO₂.

Rozpustnosť siričitanu sodného $s(30\text{ °C}) = 26,23\text{ g Na}_2\text{SO}_3$ na 100 g roztoku, $s(10\text{ °C}) = 16,11\text{ g Na}_2\text{SO}_3$ na 100 g roztoku.

[a) 6,95 g, 29,3 g; b) 0,145 mol]

6.7.48 Ochladením nasýteného roztoku síranu kobaltnatého pri teplote 64 °C na teplotu 43 °C vykryštalizovalo 22,5 g hexahydrátu síranu kobaltnatého. Roztok sa pripravil zo 40,00 g zásaditého uhličitanu kobaltnatého (CoCO₃·Co(OH)₂·xH₂O) s obsahom 7,27 % vlhkosti a 96,00 % roztoku kyseliny sírovej.

a) Vypočítajte objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na chemickú reakciu.

b) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú bolo treba pridať alebo odpariť zo sústavy, aby sa získal nasýtený roztok síranu kobaltnatého pri teplote 64 °C.

c) Vypočítajte výťažok kryštalizácie v %.

Rozpustnosť síranu kobaltnatého $s(64\text{ °C}) = 37,0\text{ g CoSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(43\text{ °C}) = 32,5\text{ g CoSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 19,5 cm³; b) 78,6 g vody pridať; c) 90,0 %]

6.7.49 Chemickou reakciou medzi s kyselinou sírovou v 96,00 % vodnom roztoku sa pri teplote 60 °C a tlaku 100,2 kPa pripravilo 2,76 dm³ oxidu siričitého. Na chemickú reakciu sa zobralo 8,00 g medi. Pripravený oxid meďnatý sa nechal ďalej reagovať s kyselinou sírovou, ktorá sa nachádzala vo vodnom roztoku takého zloženia, že po chemickej reakcii sa získal nasýtený roztok síranu meďnatého pri teplote 60 °C. Ochladením tohto roztoku na teplotu 23 °C vykryštalizovalo 10,8 g pentahydrátu síranu meďnatého.

a) Vypočítajte hmotnosť nezreagovanej medi.

b) Vypočítajte objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebnej na uvedené chemické reakcie.

c) Vypočítajte hmotnosť vody, ktorú bolo treba do sústavy pridať pri príprave nasýteného roztoku (kyselina sírová bola dostupná iba v 96,00 % vodnom roztoku).

d) Vypočítajte výťažok kryštalizácie v %.

Rozpustnosť síranu meďnatého $s(60\text{ °C}) = 28,5\text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku, $s(23\text{ °C}) = 17,0\text{ g CuSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 1,66 g; b) 11,1 g; c) 37,8 cm³; d) 78,8 %]

7 CHEMICKÁ ROVNOVÁHA

Ak zmiešame látky schopné navzájom spolu reagovať, prebieha v sústave chemický dej – **chemická reakcia**. Všeobecne možno chemickú reakciu zapísať chemickou rovnicou:



Priebeh chemického deja je charakterizovaný tým, že látky ktoré sme zmiešali (východiskové látky, reaktanty) sa menia na iné látky (produkty). Chemická reakcia pozorovateľne prebieha len určitú dobu a po jej uplynutí nastane v sústave stav nazývaný **chemická rovnováha**. V chemickej rovnováhe existujú vedľa seba okrem produktov chemickej reakcie aj reaktanty v určitých, často nie zanedbateľných množstvách.

Chemická rovnováha je dynamický stav, čo znamená, že v skutočnosti prebiehajú premeny reaktantov na produkty a produktov na reaktanty, len rýchlosti oboch dejov sú rovnaké. Druhou významnou charakteristikou chemickej rovnováhy je skutočnosť, že rovnovážny stav je dosiahnuteľný rôznymi spôsobmi. Rovnovážny stav možno dosiahnuť nielen tým, že zmiešame navzájom látky A, B, ..., tj. reaktanty v chemickej reakcii (7.1), ale aj tak, že zmiešame navzájom látky P, Q, ..., tj. produkty v chemickej reakcii (7.1), príp. aj vtedy keď zmiešame všetky látky podieľajúce sa na rovnováhe vyjadrenej rovnicou (7.1).

7.1 Rovnovážna konštanta a zloženie rovnovážnych sústav

Pre rovnováhu je charakteristická konštantnosť zloženia sústavy dovtedy, pokiaľ rovnováha existuje, tj. kým zásahom zvonku do sústavy nenastane zmena stavových podmienok (teploty a tlaku) alebo rovnovážneho zloženia sústavy (pridanie niektorej látky podieľajúcej sa na rovnováhe). Konštantnosť zloženia reakčnej zmesi v rovnováhe sa využíva na charakterizovanie rovnovážneho stavu. V súlade s termodynamikou, rovnovážny stav v sústave, v ktorej prebehla chemická reakcia (7.1), charakterizuje **rovnovážna konštanta K**, definovaná ako podiel súčinu rovnovážnych aktivít a_{rovn} produktov chemickej reakcie (7.1) umocnených na príslušné stechiometrické koeficienty a súčinu rovnovážnych aktivít reaktantov chemickej reakcie (7.1) umocnených na príslušné stechiometrické koeficienty.

$$K = \frac{a_{\text{rovn}}(\text{P})^p a_{\text{rovn}}(\text{Q})^q \dots}{a_{\text{rovn}}(\text{A})^a a_{\text{rovn}}(\text{B})^b \dots} \quad (7.2)$$

Podľa termodynamiky možno aktivity $a(\text{L})$ jednotlivých látok L pre ideálne sa správajúce plynné, resp. kvapalné zmesi vyjadriť vzťahom

$$a(\text{L}) = \frac{c(\text{L})}{c^0} \quad (7.3)$$

kde $c(\text{L})$ je koncentrácia látkového množstva látky L v sústave a c^0 je štandardná koncentrácia, obvykle $c^0 = 1 \text{ mol dm}^{-3}$. Aktivity čistých látok v samostatnej fáze (napr. látky v heterogénnych rovnováhach) aj aktivity rozpúšťadiel, ktoré bývajú vo veľkom nadbytku, sa v súlade s definíciou štandardného stavu považujú za jednotkové.

Zlomok $c(L) / c^\theta$, vyjadrujúci podiel koncentrácie $c(L)$ látky L a štandardnej koncentrácie c^θ , sa nazýva **relatívna koncentrácia látky L** a označuje sa symbolom $c_r(L)$. V stave chemickej rovnováhy, keď sa už hodnoty $c_r(L)$ látok nemenia, označujeme $c_r(L)$ symbolom $[L]$ a nazývame ju relatívna rovnovážna koncentrácia látky.

V dostatočne zriedených sústavách plynov, ktoré možno považovať za ideálne a v dostatočne zriedených ideálne sa správajúcich kvapalných roztokoch sa takto hodnoty aktivít jednotlivých látok nahrádzajú ich koncentraciami a zlomok vo vzťahu (7.2) sa obvykle označuje ako **koncentračná rovnovážna konštanta K_c** .

$$K_c = \frac{\left(\frac{c_{\text{rovn}}(\text{P})}{c^\theta}\right)^p \left(\frac{c_{\text{rovn}}(\text{Q})}{c^\theta}\right)^q \dots}{\left(\frac{c_{\text{rovn}}(\text{A})}{c^\theta}\right)^a \left(\frac{c_{\text{rovn}}(\text{B})}{c^\theta}\right)^b \dots} = \frac{[\text{P}]^p [\text{Q}]^q \dots}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b \dots} \quad (7.4)$$

kde $[\text{P}]$, $[\text{Q}]$,... $[\text{A}]$, $[\text{B}]$,... sú relatívne rovnovážne koncentrácie produktov a reaktantov chemickej reakcie, p , q ,... a , b ,... sú stechiometrické koeficienty v rovnici (7.1). Významnou vlastnosťou rovnovážnej konštanty je, že kvantitatívne charakterizuje dosiahnutú rovnováhu v danej chemickej reakcii, tj. vždy musí byť jednoznačne zadaná aj chemická reakcia, pre ktorú platí daná konštanta. Uvedený fakt možno dokumentovať na príklade chemickej reakcie jódu I_2 a vodíka H_2 , z ktorých vzniká jodovodík HI podľa rovnice



pre ktorú zápis rovnovážnej konštanty má tvar

$$K_c(\text{vznik HI}) = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{I}_2][\text{H}_2]} \quad (7.6)$$

Rovnako sa jodovodík HI rozpadá na jód I_2 a vodík H_2 podľa rovnice



pre ktorú zápis rovnovážnej konštanty má tvar

$$K_c(\text{rozklad HI}) = \frac{[\text{I}_2][\text{H}_2]}{[\text{HI}]^2} \quad (7.8)$$

Z porovnania vzťahov (7.6) a (7.8) vyplýva, že pre rovnaké stavové podmienky platí

$$K_c(\text{rozklad HI}) = \frac{1}{K_c(\text{vznik HI})} \quad (7.9)$$

Tento vzťah zároveň podčiarkuje dôležitú skutočnosť, že každý rovnovážny stav je dosiahnuteľný z dvoch rôznych východiskových sústav a smer prebiehajúcej chemickej reakcie v sústave závisí len od východiskového (začiatočného) zloženia sústavy.

Pre rozhodovanie o smere prebiehajúceho deja sa využíva veličina **koncentračný reakčný kvocient Q_c** , definovaná analogicky ako rovnovážna konštanta. V reakčnom kvociente vystupujú okamžité relatívne koncentrácie jednotlivých látok.

$$Q_c = \frac{\left(\frac{c(\text{P})}{c^\theta}\right)^p \left(\frac{c(\text{Q})}{c^\theta}\right)^q \dots}{\left(\frac{c(\text{A})}{c^\theta}\right)^a \left(\frac{c(\text{B})}{c^\theta}\right)^b \dots} = \frac{c_r(\text{P})^p c_r(\text{Q})^q \dots}{c_r(\text{A})^a c_r(\text{B})^b \dots} \quad (7.10)$$

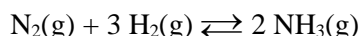
Ak je reakčný kvocient menší ako rovnovážna konštanta $Q_c < K$, tj. podiel koncentrácií produktov a reaktantov umocnených na príslušné exponenty je menší ako prislúcha rovnovážnemu stavu, v sústave bude prebiehať dej, ktorý bude viesť k zvýšeniu koncentrácie produktov chemickej reakcie (7.1) a poklesu koncentrácie východiskových látok – chemická reakcia zľava doprava. Je samozrejmé, že uvedené platí aj v opačnom prípade – ak je reakčný kvocient väčší ako rovnovážna konštanta $Q_c > K$, v sústave bude prebiehať dej sprava doľava. Ak $Q_c = K$, sústava je v rovnováhe a zloženie sústavy sa nemení.

7.1.1 Riešené príklady

7.1.1 Rovnovážna reakčná zmes z výroby amoniaku má zloženie $c(\text{N}_2) = 4,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2) = 1,35 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{NH}_3) = 9,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu konštantu K_c pri týchto podmienkach.

Riešenie:

Výrobu amoniaku vyjadruje rovnica,



pre ktorú má rovnovážna konštanta K_c tvar

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

Dosadením zadaných hodnôt dostaneme

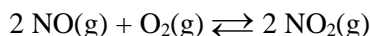
$$K_c = \frac{(9,50 \cdot 10^{-3})^2}{4,50 \cdot 10^{-2} \cdot (1,35 \cdot 10^{-1})^3} = \mathbf{0,815}$$

☑ Rovnovážna konštanta syntézy amoniaku je $K_c = 0,815$.

7.1.2 Oxidácia oxidu dusnatého NO kyslíkom O_2 na oxid dusičitý NO_2 je pri danej teplote a tlaku charakterizovaná hodnotou rovnovážnej konštanty $K_c = 25,50$. Obsah kyslíka O_2 a oxidu dusičitého NO_2 v rovnovážnej reakčnej zmesi je $c(\text{O}_2) = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{NO}_2) = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu koncentráciu oxidu dusnatého NO v sústave pri daných podmienkach.

Riešenie:

Oxidáciu oxidu dusnatého kyslíkom vyjadruje rovnica,



pre ktorú má rovnovážna konštanta K_c tvar

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]} = 25,50$$

Úpravou tohto vzťahu a dosadením zadaných hodnôt dostaneme

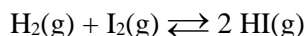
$$[\text{NO}] = \sqrt{\frac{[\text{NO}_2]^2}{K_c [\text{O}_2]}} = \sqrt{\frac{(1,35 \cdot 10^{-2})^2}{25,50 \cdot (5,2 \cdot 10^{-3})^2}} = \mathbf{3,7 \cdot 10^{-2}}$$

■ Koncentrácia oxidu dusnatého v rovnovážnej reakčnej zmesi je $3,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.

7.1.3 Dve rovnaké nádoby s objemom $10,00 \text{ dm}^3$ naplníme nasledovne: Do jednej dáme presne 1 mól jódu I_2 a presne 1 mól vodíka H_2 , do druhej dáme presne 2 móly jodovodíka HI . Obe nádoby zohrejeme na teplotu, pri ktorej má rovnovážna konštanta vzniku HI hodnotu $K_c = 55,50$. Vypočítajte zloženie zmesí v oboch nádobách po dosiahnutí rovnováhy.

Riešenie:

Vznik jodovodíka z prvkov vyjadruje rovnica



pre ktorú platí rovnovážna konštanta

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{I}_2][\text{H}_2]} = 55,50$$

V prvej nádobe sú na začiatku experimentu relatívne koncentrácie jódu a vodíka $0,1000$. Po dosiahnutí rovnováhy poklesnú koncentrácie oboch látok o hodnotu x . Keďže na začiatku experimentu nie je v prvej nádobe žiaden jodovodík, po dosiahnutí rovnováhy bude jeho koncentrácia $2x$ (podľa stechiometrie chemickej reakcie). Dosadením uvedených hodnôt do vzťahu pre rovnovážnu konštantu dostaneme

$$K_c = \frac{(2x)^2}{(0,1000 - x) \cdot (0,1000 - x)} = 55,50$$

Po úprave dostaneme kvadratickú rovnicu v tvare

$$51,5 x^2 - 11,1 x + 0,555 = 0$$

ktorej riešením dostaneme korene $x_1 = 0,1367$ a $x_2 = 0,0788$. Prvý koreň je fyzikálne neprípustný (úbytok koncentrácie by bol väčší ako východisková koncentrácia). Použitím druhého koreňa dostaneme zloženie rovnovážnej zmesi.

$$c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,1000 \text{ mol dm}^{-3} - 0,0788 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,0212 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$c(\text{HI}) = 2 \cdot 0,0788 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,1577 \text{ mol dm}^{-3}}$$

V druhej nádobe je na začiatku experimentu relatívna koncentrácia jodovodíka $0,2000$. Po dosiahnutí rovnováhy poklesne jeho koncentrácia o hodnotu y . Keďže na začiatku experimentu nie je v druhej nádobe žiaden jód ani vodík, po dosiahnutí rovnováhy budú ich koncentrácie $0,5y$ (podľa stechiometrie chemickej reakcie). Dosadením uvedených hodnôt do vzťahu pre rovnovážnu konštantu dostaneme

$$K_c(\text{vznik HI}) = \frac{(0,2000 - y)^2}{(0,5y) \cdot (0,5y)} = 55,50$$

Po úprave dostaneme kvadratickú rovnicu v tvare

$$12,875 y^2 + 0,4 y - 0,04 = 0$$

ktorej riešením dostaneme korene $y_1 = 0,0423$ a $y_2 = -0,0734$. Druhý koreň je fyzikálne nepripustný (koncentrácia nemôže byť záporná). Použitím prvého koreňa dostaneme zloženie rovnovážnej zmesi.

$$c(\text{HI}) = 0,2000 \text{ mol dm}^{-3} - 0,0423 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,1577 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,5 \cdot 0,0423 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,0212 \text{ mol dm}^{-3}}$$

☑ Z uvedeného výpočtu vyplýva, že po dosiahnutí rovnováhy budú koncentrácie látok v oboch nádobách rovnaké: $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,0212 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{HI}) = 0,1577 \text{ mol dm}^{-3}$.

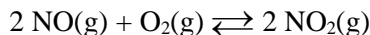
7.1.4 Oxidáciu oxidu dusnatého NO na oxid dusičitý NO₂ kyslíkom O₂ pri určitých stavových podmienkach (teplote a tlaku) charakterizuje rovnovážna konštanta $K_c = 25,50$. Rozhodnite, ktorá chemická reakcia bude prebiehať v sústavách, ak východiskové koncentrácie jednotlivých látok budú:

a) $c(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{NO}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$,

b) $c(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 0,0100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{NO}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie:

Oxidáciu oxidu dusnatého kyslíkom vyjadruje rovnica



pre ktorú má rovnovážna konštanta K_c tvar

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]} = 25,50$$

a) Pre reakčný kvocient Q_c platí

$$Q_c = \frac{c_r^2(\text{NO}_2)}{c_r^2(\text{NO}) c_r(\text{O}_2)} = \frac{(0,100)^2}{(0,100)^2 \cdot 0,100} = 10,0 < K_c$$

☑ Reakčný kvocient je menší ako rovnovážna konštanta, teda bude prebiehať oxidácia NO na NO₂.

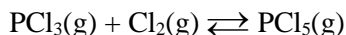
b) Pre reakčný kvocient Q_c platí

$$Q_c = \frac{c_r^2(\text{NO}_2)}{c_r^2(\text{NO}) c_r(\text{O}_2)} = \frac{(0,100)^2}{(0,100)^2 \cdot 0,0100} = 100 > K_c$$

☑ Reakčný kvocient je väčší ako rovnovážna konštanta, teda bude prebiehať rozklad NO₂ na NO a O₂.

7.2 Úlohy

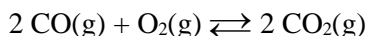
7.2.1 Chemická reakcia oxidačnej adície chlóru Cl_2 na chlorid fosforitý prebieha podľa rovnice



Vypočítajte rovnovážnu konštantu K_c tejto chemickej reakcie, ak po dosiahnutí rovnováhy bolo zloženie reakčnej zmesi $c(\text{PCl}_5) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{PCl}_3) = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Cl}_2) = 0,35 \text{ mol dm}^{-3}$.

$[K_c = 1,4]$

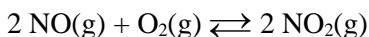
7.2.2 Rovnovážna reakčná zmes po oxidácii oxidu uhoľnatého CO kyslíkom O_2 na oxid uhličitý CO_2 obsahovala jednotlivé plyny s koncentraciami $c(\text{CO}_2) = 1,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{CO}) = 9,50 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.



Vypočítajte rovnovážnu konštantu K_c tejto chemickej reakcie.

$[K_c = 9,97 \cdot 10^3]$

7.2.3 Oxidácia oxidu dusnatého NO kyslíkom O_2 na oxid dusičitý NO_2 je pri daných podmienkach charakterizovaná rovnicou



a rovnovážnou konštantou $K_c = 37,50$. V rovnovážnej zmesi boli koncentrácie $c(\text{O}_2) = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{NO}) = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu koncentráciu oxidu dusičitého NO_2 v sústave pri daných podmienkach.

$[c(\text{NO}_2) = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}]$

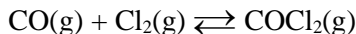
7.2.4 Termický rozklad chloridu fosforečného PCl_5 na chlór Cl_2 a chlorid fosforitý PCl_3 charakterizuje rovnica



a rovnovážna konštantou $K_c = 0,255$. Vypočítajte, aká bola koncentrácia chloridu fosforitého v rovnovážnej zmesi, ak koncentrácie ďalších látok boli $c(\text{PCl}_5) = 7,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{Cl}_2) = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.

$[c(\text{PCl}_3) = 1,61 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}]$

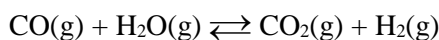
7.2.5 Oxid uhoľnatý CO reaguje s chlóróm Cl_2 za vzniku fosgénu COCl_2 .



Táto chemická reakcia je charakterizovaná rovnovážnou konštantou $K_c = 8,85 \cdot 10^4$. Vypočítajte zloženie rovnovážnej zmesi, keď do reaktora s objemom $2,50 \text{ dm}^3$ boli umiestnené reaktanty v množstvách $m(\text{Cl}_2) = 1,00 \text{ g}$ a $m(\text{CO}) = 0,500 \text{ g}$.

$[c(\text{Cl}_2) = 4,11 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{CO}) = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{COCl}_2) = 5,60 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}]$

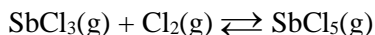
7.2.6 Oxid uhoľnatý CO a vodná para H_2O reagujú za vzniku oxidu uhličitého CO_2 a vodíka H_2 .



Rovnováhu tejto chemickej reakcie charakterizuje rovnovážna konštanta $K_c = 726,3$. Vypočítajte obsah všetkých zložiek v rovnovážnej zmesi, keď zmes vstupujúca do reaktora mala zloženie $c(\text{CO}) = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 5,32 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a zvyšok tvoril dusík.

[$c(\text{CO}_2) = 5,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2) = 5,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{CO}) = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$]

7.2.7 Chemická reakcia oxidačnej adície chlóru Cl_2 na chlorid antimonitý SbCl_3

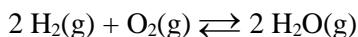


je charakterizovaná rovnovážnou konštantou $K_c = 0,825$. Rozhodnite, ktorá chemická reakcia bude prebiehať v sústave so zložením:

- a) $c(\text{SbCl}_5) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{SbCl}_3) = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Cl}_2) = 0,35 \text{ mol dm}^{-3}$,
 b) $c(\text{SbCl}_5) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{SbCl}_3) = 0,95 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Cl}_2) = 0,35 \text{ mol dm}^{-3}$.

[a) $Q_c = 1,4$ bude prebiehať rozklad SbCl_5 na východiskové látky, b) $Q_c = 0,14$ bude prebiehať vznik SbCl_5 z východiskových látok.]

7.2.8 Vodná para vzniká horením vodíka H_2 a kyslíka O_2

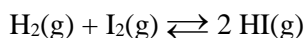


Táto chemická reakcia je charakterizovaná rovnovážnou konštantou $K_c = 865,2$. Rozhodnite, ktorá chemická reakcia bude prebiehať v sústave so zložením:

- a) $c(\text{H}_2) = 7,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 2,75 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 0,350 \text{ mol dm}^{-3}$,
 b) $c(\text{H}_2) = 0,350 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 0,950 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 7,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.

[a) $Q_c = 792$, bude prebiehať horenie východiskových látok na vodnú paru, b) $Q_c = 4,83 \cdot 10^{-2}$, bude prebiehať horenie východiskových látok na vodnú paru.]

7.2.9 Jód a vodík vytvárajú jodovodík podľa chemickej rovnice



Pre sústavu obsahujúcu jednotlivé zložky s koncentraciami $c(\text{H}_2) = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{I}_2) = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{HI}) = 0,15 \text{ mol dm}^{-3}$ rozhodnite,

- a) aký dej bude prebiehať, ak rovnovážna konštanta vzniku jodovodíka $K_c = 55,00$,
 b) aký bude rozsah prebiehajúcej chemickej reakcie v reaktore s objemom presne 1 dm^3 ,
 c) aké bude výsledné zloženie reakčnej zmesi v rovnováhe.

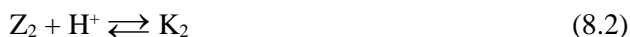
[a) $Q_c = 11$, bude prebiehať konverzia východiskových látok na jodovodík, b) $\xi = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$, c) $c(\text{H}_2) = 5,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{I}_2) = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{HI}) = 0,17 \text{ mol dm}^{-3}$.]

8 PROTOLYTICKÉ ROVNOVÁHY

Podľa Brønstedovej teórie je kyselina K látka, ktorá je schopná odovzdávať protón (je donormom protónu)



a zásada Z je látka, ktorá môže protón prijímať (je akceptorom protónu).



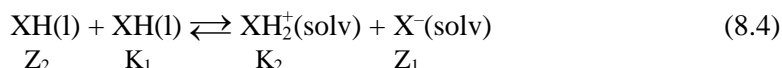
Každá kyselina tvorí **konjugovaný pár (dvojicu)** so zodpovedajúcou zásadou, líšiacou o protón (K_1 a Z_1 alebo K_2 a Z_2). V Brønstedovom poňatí môžu byť kyselinami a zásadami nielen elektroneutrálne molekuly, ale aj ióny (katiónové, príp. aniónové kyseliny a zásady). Kyseliny a zásady sú označované spoločným názvom protolyty a chemické reakcie medzi nimi sú **protolytické reakcie**.

V roztokoch nie sú katióny H^+ schopné existencie, ich zdrojom sú len Brønstedove kyseliny prítomné v roztoku. Zásada Z_2 tak prijíma protón (8.2) od kyseliny K_1 (8.1), čím zo zásady Z_2 vznikne jej konjugovaná kyselina K_2 a z kyseliny K_1 vznikne jej konjugovaná zásada Z_1 .



8.1 Autoprotolýza a iónový súčin látky

Autoprotolýza je protolytická reakcia, pri ktorej dve molekuly tej istej látky XH vo funkcii Brønstedovej kyseliny a zásady si navzájom vymieňajú protón. Pritom vzniká solvatovaný protón XH_2^+ (lyóniový kation) a anión deprotonizovanej látky X^- (lyátový anión). Ak označíme amfiprotnú látku symbolom XH, môžeme jej autoprotolýzu vyjadriť rovnicou



Túto protolytickú reakciu popisuje rovnovážna konštanta K_{ap} , ktorá sa nazýva **iónový súčin** látky alebo **autoprotolytická konštanta** látky.

$$K_{ap}(XH) = [XH_2^+][X^-] \quad (8.5)$$

Autoprotolytické konštanty niektorých látok sú uvedené v tabuľke 8.1. V čistej látke, vzhľadom na bilanciu náboja (5.5), platí $[XH_2^+] = [X^-]$, takže dosadením do (8.5) dostaneme

$$K_{ap}(XH) = [XH_2^+]^2 = [X^-]^2 \quad (8.6)$$

$$[XH_2^+] = [X^-] = \sqrt{K_{ap}(XH)} \quad (8.7)$$

Ak $[XH_2^+] > [X^-]$, roztoky sú kyslé, ak $[X^-] > [XH_2^+]$, roztoky sú zásadité, ak $[XH_2^+] = [X^-]$, roztoky sú neutrálne.

Iónový súčin vody $K_{ap}(H_2O)$ sa označuje aj symbolom K_v a pri 25 °C má hodnotu

$$K_v = [H_3O^+][OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} \quad (8.8)$$

Tabuľka 8.1 Autoprotolytické konštanty niektorých látok pri 18 až 25 °C.

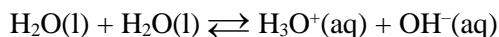
Látka	XH	$K_{ap}(XH)$	$pK_{ap}(XH)$
Amoniak	NH ₃	$1 \cdot 10^{-32}$ (-60 °C)	32 (-60 °C)
Etanol	C ₂ H ₅ OH	$7,9 \cdot 10^{-20}$	19,1
Etanolamín	NH ₂ C ₂ H ₄ OH	$7,9 \cdot 10^{-6}$	5,1
Etylénglykol	HOC ₂ H ₄ OH	$1,6 \cdot 10^{-16}$	15,8
Fluorovodík	HF	$2 \cdot 10^{-11}$ (0 °C)	10,7 (0 °C)
Formamid	HCONH ₂	$1,6 \cdot 10^{-17}$	16,8
Hydrazín	N ₂ H ₄	$1 \cdot 10^{-13}$	13
Kyselina mravčia	HCOOH	$6,3 \cdot 10^{-7}$	6,2
Kyselina octová	CH ₃ COOH	$3,2 \cdot 10^{-5}$	4,5
Kyselina sírová	H ₂ SO ₄	$2,5 \cdot 10^{-4}$	3,6
Metanol	CH ₃ OH	$2 \cdot 10^{-17}$	16,7
Peroxid vodíka	H ₂ O ₂	$1 \cdot 10^{-13}$	13
<i>i</i> -Propanol	<i>i</i> -C ₃ H ₇ OH	$1,6 \cdot 10^{-21}$	20,8
<i>n</i> -Propanol	<i>n</i> -C ₃ H ₇ OH	$4 \cdot 10^{-20}$	19,4
1,2-Propylénglykol	C ₃ H ₆ (OH) ₂	$6,3 \cdot 10^{-18}$	17,2
Voda	H ₂ O	$1 \cdot 10^{-14}$	14

8.1.1 Riešené príklady

8.1.1 Vypočítajte relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových katiónov H₃O⁺ a hydroxidových aniónov OH⁻ v čistej vode pri teplote 25 °C. Vypočítajte pH a pOH čistej vody pri tejto teplote.

Riešenie:

Autoprotolýzu vody vyjadríme rovnicou



Z bilancie náboja platí $[H_3O^+] = [OH^-]$ a dosadením do rovnice (8.8) pre iónový súčin vody dostaneme

$$K_v = [H_3O^+][OH^-] = [H_3O^+]^2 = [OH^-]^2 = 1,0 \cdot 10^{-14}$$

$$[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_v} = \sqrt{1,0 \cdot 10^{-14}} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{-7}}$$

a po zlogaritmovaní

$$-\log [H_3O^+] = -\log [OH^-] = -\log (1,0 \cdot 10^{-7})$$

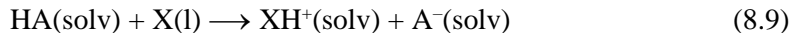
$$\mathbf{pH = pOH = 7}$$

☑ Relatívne koncentrácie H₃O⁺ a OH⁻ v čistej vode sú $1,0 \cdot 10^{-7}$, takže pH a pOH sú 7.

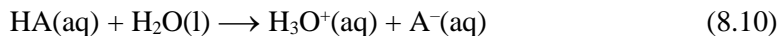
8.2 Silné kyseliny a silné zásady

Silné kyseliny HA alebo silné zásady B sú v rozpúšťadlách úplne ionizované. Silné kyseliny ľahko odovzdávajú protón rozpúšťadlu, obrátený proces prijímania protónu od rozpúšťadla je prakticky zanedbateľný. Podobne, silné zásady ľahko prijímajú protón od rozpúšťadla.

Silná Brønstedova kyselina HA pri chemickej reakcii s rozpúšťadlom X podlieha ionizácii, ktorej zodpovedá rovnica



Ak je rozpúšťadlom voda, ionizáciu silnej kyseliny HA možno vyjadriť rovnicou



Rovnovážnu konštantu tejto ionizácie nazývame aj **konštantu kyslosti** $K_k(\text{HA})$ kyseliny HA, pre ktorú platí:

$$K_k(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (8.11)$$

Z bilancie nábojov podľa rovnice (8.10) vyplýva, že $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$. Z látkovej bilancie zložky A^- pri úplnej ionizácii HA vyplýva vzťah $[\text{A}^-] = c_{r,0}(\text{HA})$, kde $c_{r,0}(\text{HA})$ je celková relatívna analytická koncentrácia kyseliny vo všetkých formách, v ktorých sa v roztoku vyskytuje. Relatívna koncentrácia oxóniových kationov v roztoku jednosýtnej silnej kyseliny sa rovná

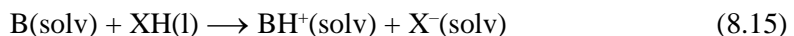
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-] = c_{r,0}(\text{HA}) \quad (8.12)$$

potom podľa (3.11)

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log c_{r,0}(\text{HA}) \quad (8.13)$$

$$c_{r,0}(\text{HA}) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \quad (8.14)$$

Silná Brønstedova zásada B pri chemickej reakcii s rozpúšťadlom XH podlieha ionizácii, ktorej zodpovedá rovnica



Ak je rozpúšťadlom voda, ionizáciu silnej zásady B možno vyjadriť rovnicou



Rovnovážnu konštantu tejto ionizácie nazývame aj **konštantu zásaditosti** $K_z(\text{B})$ zásady B, pre ktorú platí:

$$K_z(\text{B}) = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{\text{B}} \quad (8.17)$$

Z bilancie nábojov podľa rovnice (8.16) vyplýva, že $[\text{OH}^-] = [\text{BH}^+]$. Z látkovej bilancie zložky BH^+ pri úplnej ionizácii B vyplýva vzťah $[\text{BH}^+] = c_{r,0}(\text{B})$, kde $c_{r,0}(\text{B})$ je celková relatívna analytická koncentrácia zásady vo všetkých formách, v ktorých sa v roztoku vyskytuje. Relatívna koncentrácia hydroxidových aniónov v roztoku jednosýtnej silnej zásady sa rovná

$$[\text{OH}^-] = [\text{BH}^+] = c_{r,0}(\text{B}) \quad (8.18)$$

potom podľa (3.11)

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log c_{r,0}(\text{B}) \quad (8.19)$$

$$c_{r,0}(\text{B}) = [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} \quad (8.20)$$

Logaritmovaním vzťahu (8.8) pre iónový súčin vody pri 25 °C a úpravou dostaneme

$$K_v = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14}$$

$$-\log K_v = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] - \log [\text{OH}^-] = -\log (1,0 \cdot 10^{-14}) \quad (8.21)$$

$$\text{p}K_v = \text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (8.22)$$

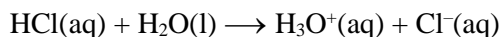
Poznámka: V príkladoch tejto kapitoly sa pri výpočtoch berie do úvahy iba jedna chemická rovnováha. Príklady, v ktorých treba uvažovať viaceré chemické rovnováhy, napr. ionizácia kyseliny a súčasne autoprotolýza vody, ionizácia viacšýtnej kyseliny alebo ionizácia amfiprotnej látky sa budú počítať vo fyzikálnej a analytickej chémii.

8.2.1 Riešené príklady

8.2.1 Vypočítajte pH kyseliny chlorovodíkovej s koncentráciou $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie:

Chlorovodík je vo vodnom roztoku úplne ionizovaný.



Preto platí

$$c_r(\text{H}_3\text{O}^+) = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c^0} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log c_r(\text{H}_3\text{O}^+) = -\log (1,6 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{2,80}$$

☑ Kyselina chlorovodíková má pH = 2,80.

8.2.2 Vypočítajte relatívne rovnovážne koncentrácie oxóniových a hydroxidových iónov v roztoku silnej kyseliny, ktorého pH = 2,10.

Riešenie:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,10} = \mathbf{7,9 \cdot 10^{-3}}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_v}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{7,9 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,3 \cdot 10^{-12}}$$

☑ Relatívna rovnovážna koncentrácia H_3O^+ v roztoku kyseliny je $7,9 \cdot 10^{-3}$ a koncentrácia OH^- je $1,3 \cdot 10^{-12}$.

8.2.3 Vypočítajte pH 0,61 % vodného roztoku hydroxidu sodného s hustotou $1,007 \text{ g cm}^{-3}$.

Riešenie:

Hydroxid sodný sa správa ako silná Arrheniova zásada, ktorá úplne ionizuje za vzniku hydroxidových aniónov. Potrebujeme urobiť prepočet $w \rightarrow c$.

$$c = \frac{n}{V'} = \frac{w\rho'}{M} = \frac{0,0061 \cdot 1007 \text{ g dm}^{-3}}{39,997 \text{ g mol}^{-1}} = 0,154 \text{ mol dm}^{-3}$$

Keďže hydroxid sodný je úplne ionizovaný, platí $[\text{OH}^-] = c_{r,0}(\text{NaOH})$, preto

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0,154 = 0,812$$

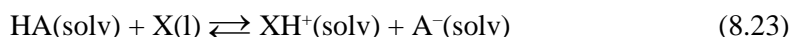
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0,812 = \mathbf{13,19}$$

☑ Roztok hydroxidu sodného má pH = 13,19.

8.3 Slabé kyseliny a slabé zásady

Roztoky slabých kyselín HA sa od roztokov silných kyselín odlišujú tým, že slabé kyseliny sú v roztoku len čiastočne ionizované, tj. v roztoku sa okrem ionizáciou vytvorených častíc A^- nachádzajú aj neionizované častice HA. Podobne je to aj v roztokoch slabých zásad, kde sú prítomné ióny BH^+ , ale aj zásada v neionizovanej forme B.

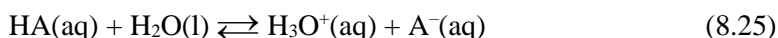
Ionizáciu jednosýtnej slabej kyseliny HA v rozpúšťadle X možno vyjadriť rovnicou



Pre ionizačnú konštantu $K(\text{HA})$ kyseliny HA platí vzťah

$$K(\text{HA}) = \frac{[\text{XH}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (8.24)$$

Ak je rozpúšťadlom voda,



pre ionizačnú konštantu (konštantu kyslosti) $K_k(\text{HA})$ kyseliny HA platí vzťah

$$K_k(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (8.26)$$

Platí nábojová bilancia $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu $c_{r,0}(\text{HA})$ kyseliny HA platí $c_{r,0}(\text{HA}) = [\text{HA}] + [\text{A}^-]$. Dosadením do vzťahu pre ionizačnú konštantu kyseliny (8.26) dostaneme

$$K_k(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{r,0}(\text{HA}) - [\text{H}_3\text{O}^+]} \quad (8.27)$$

a po úprave

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K_k(\text{HA})[\text{H}_3\text{O}^+] - K_k(\text{HA})c_{r,0}(\text{HA}) = 0 \quad (8.28)$$

Riešenie tejto kvadratickej rovnice poskytuje dva korene, z ktorých prípustný je len koreň

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K_k(\text{HA}) + \sqrt{K_k(\text{HA})^2 + 4K_k(\text{HA})c_{r,0}(\text{HA})}}{2} \quad (8.29)$$

Pre slabé kyseliny, ak platí $c_r(\text{HA}) \gg K_k(\text{HA})$, môžeme považovať koncentráciu neionizovaného podielu kyseliny rovnú celkovej relatívnej analytickej koncentrácii kyseliny $[\text{HA}] \approx c_{r,0}(\text{HA})$, lebo ionizácia slabých kyselín je taká nepatrná, že ju možno zanedbať. Dosadením do (8.23) dostaneme

$$K_k(\text{HA}) \approx \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{r,0}(\text{HA})} \quad (8.30)$$

Úpravou dostaneme zjednodušenú, často používanú rovnicu

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_k(\text{HA})c_{r,0}(\text{HA})} \quad (8.31)$$

Ionizáciu kyselín možno charakterizovať aj pomocou stupňa ionizácie α , ktorý je definovaný ako podiel koncentrácie ionizovanej formy kyseliny a celkovej koncentrácie kyseliny

$$\alpha = \frac{[\text{A}^-]}{c_{r,0}(\text{HA})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_{r,0}(\text{HA})} \quad (8.32)$$

Dosadením $[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha c_{r,0}(\text{HA})$ do (8.24) možno vyjadriť ionizačnú konštantu slabej jednosýtnej kyseliny Ostwaldovým zriedovacím zákonom

$$K_k(\text{HA}) = c_{r,0}(\text{HA}) \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \quad (8.33)$$

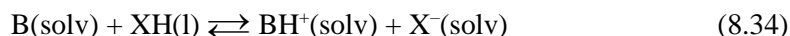
Z Ostwaldovho zriedovacieho zákona vyplýva, že pri znižovaní koncentrácie $c_{r,0}(\text{HA})$ sa musí zvyšovať čitateľ zlomku (α^2) a súčasne znižovať menovateľ ($1 - \alpha$). To znamená, že podiel ionizovanej formy, tj. stupeň ionizácie α , so zriedovaním roztoku rastie. Hodnoty konštánt kyslosti niektorých kyselín sú uvedené v tab. 8.2.

Tabuľka 8.2 Ionizačné konštanty niektorých kyselín vo vode pri 25 °C.

Kyselina	HA	$K_k(\text{HA})$	$\text{p}K_k(\text{HA})$
benzoová	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$6,46 \cdot 10^{-5}$	4,19
brómná	HBrO	$2,82 \cdot 10^{-9}$	8,55
bromovodík	HBr	$1 \cdot 10^9$	-9,00
dusitá	HNO_2	$5,62 \cdot 10^{-4}$	3,25
dusičná	HNO_3	54	-1,73
fluorovodík	HF	$6,31 \cdot 10^{-4}$	3,20
hydrogensíranový anión	HSO_4^-	$1,02 \cdot 10^{-2}$	1,99
hydrogensulfidový anión	HS^-	$1 \cdot 10^{-19}$	19
hydrogenuhličitanový anión	HCO_3^-	$4,68 \cdot 10^{-11}$	10,33
hydrogenoxálový anión	HC_2O_4^-	$6,46 \cdot 10^{-5}$	4,19

Kyselina	HA	$K_k(\text{HA})$	$\text{p}K_k(\text{HA})$
chlórečná	HClO_3	$1 \cdot 10^3$	-3,00
chloristá	HClO_4	$1 \cdot 10^{10}$	-10,00
chlórna	HClO	$3,98 \cdot 10^{-8}$	7,40
chlorovodík	HCl	$1 \cdot 10^7$	-7,00
chlóroctová	ClCH_2COOH	$1,41 \cdot 10^{-3}$	2,85
jodičná	HIO_3	$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,78
jódna	HIO	$3,16 \cdot 10^{-11}$	10,5
jodistá	HIO_4	$2,3 \cdot 10^{-2}$	1,64
jodovodík	HI	$1 \cdot 10^{11}$	-11,00
kyanovodík	HCN	$6,17 \cdot 10^{-10}$	9,21
mravčia	HCOOH (20 °C)	$1,78 \cdot 10^{-4}$	3,75
octová	CH_3COOH	$1,75 \cdot 10^{-5}$	4,76
oxálová	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$5,89 \cdot 10^{-2}$	1,23
propiónová	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	4,86
sírová	H_2SO_4	$1 \cdot 10^3$	-3,00
sírovodík	H_2S	$8,91 \cdot 10^{-8}$	7,05
trihydrogenboritá	H_3BO_3 (20 °C)	$5,31 \cdot 10^{-10}$	9,27
uhličitá	H_2CO_3	$4,47 \cdot 10^{-7}$	6,35
hexaakvahlinový kation	$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	4,89
hexaakvachromový kation	$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	3,89
akvamedňatý kation	$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$	$1 \cdot 10^{-8}$	8,0
akvazinočnatý kation	$[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$	$2 \cdot 10^{-10}$	9,7

Ionizáciu slabej zásady B v rozpúšťadle XH možno vyjadriť rovnicou



Pre ionizačnú konštantu $K(\text{B})$ zásady B platí vzťah

$$K(\text{B}) = \frac{[\text{BH}^+][\text{X}^-]}{\text{B}} \quad (8.35)$$

Ak je rozpúšťadlom voda,



pre ionizačnú konštantu (konštantu zásaditosti) $K_z(\text{B})$ zásady B platí vzťah

$$K_z(\text{B}) = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} \quad (8.37)$$

Platí nábojová bilancia $[\text{BH}^+] = [\text{OH}^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu $c_{r,0}(\text{B})$ zásady B platí $c_{r,0}(\text{B}) = [\text{B}] + [\text{BH}^+]$. Dosadením do vzťahu pre ionizačnú konštantu zásady (8.37) dostaneme

$$K_z(\text{B}) = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0}(\text{B}) - [\text{OH}^-]} \quad (8.38)$$

a po úprave

$$[\text{OH}^-]^2 + K_z(\text{B})[\text{OH}^-] - K_z(\text{B})c_{r,0}(\text{B}) = 0 \quad (8.39)$$

Riešenie tejto kvadratickej rovnice poskytuje dva korene, z ktorých prípustný je len koreň

$$[\text{OH}^-] = \frac{-K_z(\text{B}) + \sqrt{K_z(\text{B})^2 + 4K_z(\text{B})c_{r,0}(\text{B})}}{2} \quad (8.40)$$

Pre slabé zásady, ak platí $c_r(\text{B}) \gg K_z(\text{B})$, môžeme považovať koncentráciu neionizovaného podielu zásady rovnú celkovej relatívnej analytickej koncentrácii zásady $[\text{B}] \approx c_{r,0}(\text{B})$, lebo ionizácia slabých zásad je taká nepatrná, že ju možno zanedbať. Dosadením do (8.34) dostaneme

$$K_z(\text{B}) \approx \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0}(\text{B})} \quad (8.41)$$

Úpravou dostaneme zjednodušenú, často používanú rovnicu

$$[\text{OH}^-] \approx \sqrt{K_z(\text{B})c_{r,0}(\text{B})} \quad (8.42)$$

Ionizáciu zásad možno charakterizovať aj pomocou stupňa ionizácie α , ktorý je definovaný ako podiel koncentrácie ionizovanej formy zásady a celkovej koncentrácie zásady

$$\alpha = \frac{[\text{BH}^+]}{c_{r,0}(\text{B})} = \frac{[\text{OH}^-]}{c_{r,0}(\text{B})} \quad (8.43)$$

Dosadením $[\text{OH}^-] = \alpha c_{r,0}(\text{B})$ do (8.35) možno vyjadriť ionizačnú konštantu slabej zásady Ostwaldovým zried'ovacím zákonom

$$K_z(\text{B}) = c_{r,0}(\text{B}) \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \quad (8.44)$$

Z Ostwaldovho zried'ovacieho zákona vyplýva, že pri znižovaní koncentrácie $c_{r,0}(\text{B})$ sa musí zvyšovať čitateľ zlomku (α^2) a súčasne znižovať menovateľ ($1 - \alpha$). To znamená, že podiel ionizovanej formy, tj. stupeň ionizácie α , so zried'ovaním roztoku rastie.

Hodnoty konštant zásaditosti niektorých zásad sú uvedené v tab. 8.3.

Tabuľka 8.3 Ionizačné konštanty niektorých zásad vo vode pri 25 °C.

Zásada	B	$K_z(B)$	$pK_z(B)$
Amoniak	NH ₃	$1,80 \cdot 10^{-5}$	4,75
Anilín	C ₆ H ₅ NH ₂	$4,27 \cdot 10^{-10}$	9,37
Dimetylamín	(CH ₃) ₂ NH	$4,79 \cdot 10^{-4}$	3,32
Etylamín	NH ₂ C ₂ H ₅	$5,01 \cdot 10^{-4}$	3,30
Imidazol	C ₃ H ₄ N ₂	$8,97 \cdot 10^{-8}$	7,05
Metylamín	CH ₃ NH ₂	$4,27 \cdot 10^{-4}$	3,37
Pyridín	C ₅ H ₅ N	$1,78 \cdot 10^{-9}$	8,75
Trimetylamín	(CH ₃) ₃ N	$6,81 \cdot 10^{-5}$	4,20

Lahko zistíme, že vo vodnom roztoku medzi ionizačnými konštantami ľubovoľnej konjugovanej dvojice ($HA \rightleftharpoons A^- + H^+$, resp. $BH^+ \rightleftharpoons B + H^+$) platí vzťah

$$K_k(HA)K_z(A^-) = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} \cdot \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = [H_3O^+][OH^-] = K_v \quad (8.45)$$

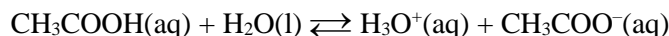
$$K_k(BH^+)K_z(B) = \frac{[H_3O^+][B]}{[BH^+]} \cdot \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = [H_3O^+][OH^-] = K_v \quad (8.46)$$

8.3.1 Riešené príklady

8.3.1 Vypočítajte pH vodného roztoku a stupeň ionizácie kyseliny octovej, ak koncentrácia $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$ a $K_k(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:

Ionizáciu kyseliny octovej vo vodnom roztoku vyjadruje chemická rovnica



Podľa (8.29) a (8.32) dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-1,75 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,75 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,100}}{2} = 1,314 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (1,314 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{2,88}$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_{r,0}(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{1,314 \cdot 10^{-3}}{0,100} = \mathbf{0,0131}$$

Použitím zjednodušeného vzťahu (8.31) dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,100} = 1,323 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (1,323 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{2,88}$$

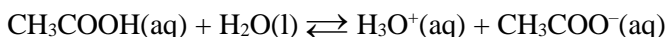
Hodnoty pH vypočítané podľa presného a zjednodušeného vzťahu sa rovnajú, lebo pomer $c_{r,0}(\text{CH}_3\text{COOH}) / K_k(\text{CH}_3\text{COOH}) = 5,71 \cdot 10^3$ je dostatočne veľký.

☑ Roztok kyseliny octovej má pH = 2,88 a kyselina octová je ionizovaná na 1,31 %.

8.3.2 Vypočítajte pH vodného roztoku a stupeň ionizácie kyseliny octovej, ak koncentrácia $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,00 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ a $K_k(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:

Ionizáciu kyseliny octovej vo vodnom roztoku vyjadruje chemická rovnica



Podľa (8.29) a (8.32) dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-1,75 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,75 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-5}}}{2} = 7,111 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (7,111 \cdot 10^{-6}) = \mathbf{5,15}$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_{r,0}(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{7,111 \cdot 10^{-6}}{1,00 \cdot 10^{-5}} = \mathbf{0,711}$$

Použitím zjednodušeného vzťahu (8.31) dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-5}} = 1,323 \cdot 10^{-5}$$

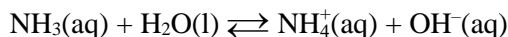
čo je neprípustný výsledok, lebo koncentrácia oxóniových kationov je väčšia ako celková koncentrácia kyseliny octovej. Pomer $c_{r,0}(\text{CH}_3\text{COOH}) / K_k(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,571$ je príliš malý, a teda nespĺňa podmienky pre použitie zjednodušeného vzorca.

☑ Roztok kyseliny octovej má pH = 5,15 a kyselina octová je ionizovaná na 71,1 %.

8.3.3 Vypočítajte pH a stupeň ionizácie vodného roztoku amoniaku s koncentráciou $c(\text{NH}_3) = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, keď $K_z(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:

Amoniak je slabá zásada, jeho ionizáciu vo vodnom roztoku vyjadruje chemická rovnica



Pomer $c_{r,0}(\text{NH}_3) / K_k(\text{NH}_3) = 5,56$ je príliš malý, a teda nespĺňa podmienky pre použitie zjednodušeného vzorca (8.42). Podľa (8.40) a (8.43) dostaneme

$$[\text{OH}^-] = \frac{-1,80 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,80 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,80 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-4}}}{2} = 3,437 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log (3,437 \cdot 10^{-5}) = 4,464$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 4,464 = \mathbf{9,54}$$

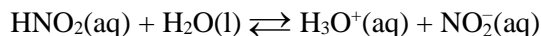
$$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{c_{r,0}(\text{NH}_3)} = \frac{3,437 \cdot 10^{-5}}{1,00 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{0,344}$$

☑ Roztok amoniaku má pH = 9,54 a amoniak je ionizovaný na 34,4 %.

8.3.4 Vodný roztok kyseliny dusitej s koncentráciou $c(\text{HNO}_2) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ má pH = 2,27. Vypočítajte ionizačnú konštantu kyseliny dusitej.

Riešenie:

Ionizáciu kyseliny dusitej vo vodnom roztoku vyjadruje chemická rovnica



Z pH roztoku vypočítame relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových katiónov

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,27} = 5,37 \cdot 10^{-3}$$

V tomto príklade nevieme vopred zistiť pomer $c_{r,0}(\text{NH}_3) / K_k(\text{NH}_3)$, preto nemôžeme použiť zjednodušený vzorec (8.31). Dosadením údajov do vzťahu (8.27) dostaneme

$$K_k(\text{HNO}_2) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{r,0}(\text{HNO}_2) - [\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{(5,37 \cdot 10^{-3})^2}{4,5 \cdot 10^{-2} - 5,37 \cdot 10^{-3}} = 7,3 \cdot 10^{-4}$$

☑ Ionizačná konštantá kyseliny dusitej $K_k(\text{HNO}_2) = 7,3 \cdot 10^{-4}$.

8.4 Hydrolýza solí

Hydrolýza solí je protolytická reakcia iónov rozpustenej soli s vodou za vzniku príslušnej konjugovanej slabej kyseliny a hydroxidových aniónov alebo príslušnej konjugovanej slabej zásady a oxóniových katiónov. Tento dej prebieha vtedy, ak soľ poskytuje v roztoku dostatočne zásaditý anión a/alebo dostatočne kyslý katión.

Hydrolýzu soli so zásaditým aniónom A^- možno vyjadriť rovnicou



Pre rovnovážnu konštantu hydrolýzy K_h aniónu A^- môžeme podľa (8.45) napísať

$$K_h \equiv K_z(\text{A}^-) = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = \frac{K_v}{K_k(\text{HA})} \quad (8.48)$$

Platí nábojová bilancia $[\text{HA}] = [\text{OH}^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu $c_{r,0}(\text{A}^-)$ hydrolyzujúceho aniónu A^- platí $c_{r,0}(\text{A}^-) = [\text{A}^-] + [\text{HA}]$. Dosadením do vzťahu pre hydrolytickú konštantu (8.48) dostaneme

$$K_z(\text{A}^-) = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0}(\text{A}^-) - [\text{OH}^-]} \quad (8.49)$$

a po úprave

$$[\text{OH}^-]^2 + K_z(\text{A}^-)[\text{OH}^-] - K_z(\text{A}^-)c_{r,0}(\text{A}^-) = 0 \quad (8.50)$$

Riešenie tejto kvadratickej rovnice poskytuje dva korene, z ktorých prípustný je len koreň

$$[\text{OH}^-] = \frac{-K_z(\text{A}^-) + \sqrt{K_z(\text{A}^-)^2 + 4K_z(\text{A}^-)c_{r,0}(\text{A}^-)}}{2} \quad (8.51)$$

Ak platí $c_r(\text{A}^-) \gg K_z(\text{A}^-)$, dostaneme

$$K_z(A^-) \approx \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0}(A^-)} \quad (8.52)$$

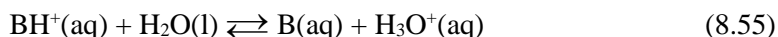
Úpravou dostaneme zjednodušenú, často používanú rovnicu

$$[\text{OH}^-] \approx \sqrt{K_z(A^-)c_{r,0}(A^-)} \quad (8.53)$$

Hydrolyzu kvantitatívne opisuje **stupeň hydrolyzy** β . Pre stupeň hydrolyzy β soli so zásaditým aniónom A^- platí podľa (8.43)

$$\beta = \frac{[\text{HA}]}{c_{r,0}(A^-)} = \frac{[\text{OH}^-]}{c_{r,0}(A^-)} \quad (8.54)$$

Hydrolyzu soli s kyslým kationom BH^+ možno vyjadriť rovnicou



Pre rovnovážnu konštantu hydrolyzy K_h kationu BH^+ môžeme podľa (8.46) napísať

$$K_h \equiv K_k(\text{BH}^+) = \frac{[\text{B}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{BH}^+]} = \frac{K_v}{K_z(\text{B})} \quad (8.56)$$

Platí nábojová bilancia $[\text{B}] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu $c_{r,0}(\text{BH}^+)$ hydrolyzujúceho kationu BH^+ platí $c_{r,0}(\text{BH}^+) = [\text{BH}^+] + [\text{B}]$. Dosadením do vzťahu pre hydrolytickú konštantu (8.56) a po úprave dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K_k(\text{BH}^+) + \sqrt{K_k(\text{BH}^+)^2 + 4K_k(\text{BH}^+)c_{r,0}(\text{BH}^+)}}{2} \quad (8.57)$$

Ak platí $c_r(\text{BH}^+) \gg K_z(\text{BH}^+)$, dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_z(\text{BH}^+)c_{r,0}(\text{BH}^+)} \quad (8.58)$$

Pre stupeň hydrolyzy β soli s kyslým kationom BH^+ platí podľa (8.32)

$$\beta = \frac{[\text{B}]}{c_{r,0}(\text{BH}^+)} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_{r,0}(\text{BH}^+)} \quad (8.59)$$

Poznámka: V praxi sa väčšinou uvádzajú koncentrácie rozpustených solí, preto si treba vždy uvedomiť, aká je koncentrácia príslušných hydrolyzujúcich iónov. Vyplýva to zo vzorca rozpustenej soli, napr. v roztoku síranu chromitého je koncentrácia akvatovaných chromitých kationov dvakrát väčšia ako koncentrácia rozpusteného síranu chromitého.

Zo vzťahov (8.45) a (8.46) vyplýva, že ak ide o hydrolyzu soli slabej kyseliny, tak jej konjugovaný anión je silnou zásadou a ochotne hydrolyzuje za vzniku OH^- . Naopak, ak ide o hydrolyzu soli slabej zásady, tak jej konjugovaný kation je silnou kyselinou a ochotne hydrolyzuje za vzniku H_3O^+ . V príkladoch teda budeme vedieť vždy rozhodnúť, že **hydrolyzuje ten kation/anión, ktorý je konjugovaný so slabou zásadou/kyselinou**.

Ak ide o soľ, ktorá poskytuje kyslý kation aj zásaditý anión, zúčastňujú sa obidva ióny na protolytickom deji. Hydrolyzu tohto druhu opisuje sumárna rovnica



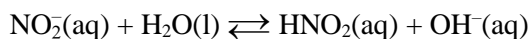
ktorá je súčtom rovníc (8.47) a (8.55). V takom prípade, ak $K_k(\text{HA}) > K_z(\text{B})$, roztok soli je kyslý, ak $K_k(\text{HA}) < K_z(\text{B})$, roztok soli je zásaditý, ak $K_k(\text{HA}) = K_z(\text{B})$, roztok soli je neutrálny. Takéto výpočty sú však o niečo zložitejšie a prekračujú rámec tohto skripta.

8.4.1 Riešené príklady

8.4.1 Vypočítajte pH vodného roztoku dusitanu sodného s koncentráciou $c(\text{NaNO}_2) = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K_k(\text{HNO}_2) = 5,1 \cdot 10^{-4}$.

Riešenie:

Dusitan sodný je soľ veľmi silnej zásady (NaOH) a slabej kyseliny (HNO_2), preto budeme uvažovať len hydrolyzu dusitanového aniónu vo vodnom roztoku, ktorú vyjadruje chemická rovnica



Potrebuje najprv vypočítať konštantu hydrolyzy dusitanového aniónu. Podľa (8.45)

$$K_h \equiv K_z(\text{NO}_2^-) = \frac{K_v}{K_k(\text{HNO}_2)} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{5,1 \cdot 10^{-4}} = 1,96 \cdot 10^{-11}$$

Potom podľa (8.51)

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= \frac{-K_z(\text{NO}_2^-) + \sqrt{K_z(\text{NO}_2^-)^2 + 4K_z(\text{NO}_2^-)c_{r,0}(\text{NO}_2^-)}}{2} = \\ &= \frac{-1,96 \cdot 10^{-11} + \sqrt{(1,96 \cdot 10^{-11})^2 + 4 \cdot 1,96 \cdot 10^{-11} \cdot 2,00 \cdot 10^{-2}}}{2} = 6,261 \cdot 10^{-7} \end{aligned}$$

Keďže $c_r(\text{NO}_2^-) \gg K_z(\text{NO}_2^-)$, môžeme použiť aj zjednodušený vzťah (8.53).

$$[\text{OH}^-] \approx \sqrt{K_z(\text{NO}_2^-)c_{r,0}(\text{NO}_2^-)} = \sqrt{1,96 \cdot 10^{-11} \cdot 2,00 \cdot 10^{-2}} = 6,261 \cdot 10^{-7}$$

Potom

$$\text{pOH} = -\log(6,261 \cdot 10^{-7}) = 6,2034$$

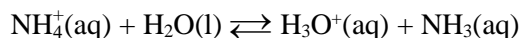
$$\text{pH} = 14 - 6,2034 = \mathbf{7,80}$$

☑ Roztok dusitanu sodného má pH = 7,80.

8.4.2 Vypočítajte pH vodného roztoku jodidu amónneho NH_4I s koncentráciou $c(\text{NH}_4\text{I}) = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K_z(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:

Jodid amónny je soľ slabej zásady (NH_3) a veľmi silnej kyseliny (HI), preto budeme uvažovať len hydrolyzu amónneho kationu vo vodnom roztoku, ktorú vyjadruje chemická rovnica



Potrebuje najprv vypočítať konštantu hydrolyzy amónneho kationu. Podľa (8.56)

$$K_h \equiv K_k(\text{NH}_4^+) = \frac{K_v}{K_z(\text{NH}_3)} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{1,80 \cdot 10^{-5}} = 5,556 \cdot 10^{-10}$$

Potom podľa (8.57)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K_k(\text{NH}_4^+) + \sqrt{K_k(\text{NH}_4^+)^2 + 4K_k(\text{NH}_4^+)c_{r,0}(\text{NH}_4^+)}}{2} =$$

$$= \frac{-5,556 \cdot 10^{-10} + \sqrt{(5,556 \cdot 10^{-10})^2 + 4 \cdot 5,556 \cdot 10^{-10} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2}}}{2} = 3,727 \cdot 10^{-6}$$

Keďže $c_r(\text{NH}_4^+) \gg K_k(\text{NH}_4^+)$, môžeme použiť aj zjednodušený vzťah (8.58).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_k(\text{NH}_4^+)c_{r,0}(\text{NH}_4^+)} = \sqrt{5,556 \cdot 10^{-10} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2}} = 3,727 \cdot 10^{-6}$$

Potom

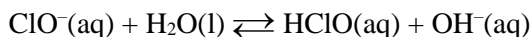
$$\text{pH} = -\log(3,727 \cdot 10^{-6}) = 5,43$$

☑ Roztok jodidu amónneho má pH = 5,43.

8.4.3 Roztok chlórnanu sodného má pH = 9,70. Vypočítajte hmotnosť chlórnanu sodného, potrebnú na prípravu 300 cm³ uvedeného roztoku, ak $K_k(\text{HClO}) = 3,98 \cdot 10^{-8}$.

Riešenie:

Chlórnan sodný je soľ veľmi silnej zásady (NaOH) a slabej kyseliny (HClO), preto budeme uvažovať len hydrolyzu chlórnanového aniónu vo vodnom roztoku, ktorú vyjadruje chemická rovnica



Z pH roztoku vypočítame relatívnu rovnovážnu koncentráciu hydroxidových aniónov

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 9,70 = 4,30$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-4,30} = 5,01 \cdot 10^{-5}$$

Potrebuje vypočítať konštantu hydrolyzy dusitanového aniónu. Podľa (8.45)

$$K_h \equiv K_z(\text{ClO}^-) = \frac{K_v}{K_k(\text{HClO})} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{3,98 \cdot 10^{-8}} = 2,513 \cdot 10^{-7}$$

Úpravou (8.49) dostaneme

$$c_{r,0}(\text{ClO}^-) = \frac{[\text{OH}^-]^2 + K_z(\text{ClO}^-)[\text{OH}^-]}{K_z(\text{ClO}^-)} = \frac{(5,01 \cdot 10^{-5})^2 + 2,513 \cdot 10^{-7} \cdot 5,01 \cdot 10^{-5}}{2,513 \cdot 10^{-7}} = 0,0100$$

alebo úpravou (8.51) dostaneme

$$c_{r,0}(\text{ClO}^-) = \frac{[2[\text{OH}^-] + K_z(\text{ClO}^-)]^2 - K_z(\text{ClO}^-)^2}{4K_z(\text{ClO}^-)} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_z(\text{ClO}^-)} + [\text{OH}^-] =$$

$$= \frac{(5,01 \cdot 10^{-5})^2}{2,513 \cdot 10^{-7}} + 5,01 \cdot 10^{-5} = 0,0100$$

Ak poznáme koncentráciu $c_{r,0}(\text{ClO}^-)$, poznáme aj koncentráciu chlórnanu sodného a môžeme vypočítať jeho hmotnosť

$$m = cVM = 0,0100 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,300 \text{ dm}^3 \cdot 74,442 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,22 \text{ g}}$$

☑ Na prípravu uvedeného roztoku je potrebných 0,22 g chlórnanu sodného.

8.4.4 Vypočítajte pH vodného roztoku chloridu chromitého, v ktorom koncentrácia $c(\text{CrCl}_3) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K_k\{[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}\} = 1,3 \cdot 10^{-4}$.

Riešenie:

Chlorid chromitý je soľ slabej zásady ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) a veľmi silnej kyseliny (HCl), preto budeme uvažovať len hydrolyzu akvatovaného chromitého kationu vo vodnom roztoku, ktorú vyjadruje chemická rovnica



Konštantu $K_k\{[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}\}$ pre zjednodušenie zapíšeme ako $K_k(\text{Cr}^{3+})$. Podľa (8.57)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K_k(\text{Cr}^{3+}) + \sqrt{K_k(\text{Cr}^{3+})^2 + 4K_k(\text{Cr}^{3+})c_{r,0}(\text{Cr}^{3+})}}{2} =$$

$$= \frac{-1,3 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(1,3 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2}}}{2} = 1,08 \cdot 10^{-3}$$

Potom

$$\text{pH} = -\log(1,08 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{2,97}$$

☑ Roztok chloridu chromitého má pH = 2,97.

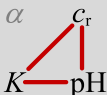
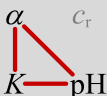
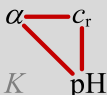
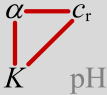
Zhrnutie


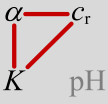
Ionizáciu kyselín a zásad, ako aj hydrolyzu solí, charakterizujú štyri veličiny:

- príslušné ionizačné konštanty K_k a K_z ,
- celková relatívna analytická koncentrácia $c_{r,0}$ ionizujúcich alebo hydrolyzujúcich častíc,
- stupeň ionizácie α alebo stupeň hydrolyzy β ,
- koncentrácie $[\text{H}_3\text{O}^+]$ a $[\text{OH}^-]$, ktoré určujú výsledné pH roztokov.

Lubovoľné dve z týchto štyroch veličín sú vždy nezávislé, tzn., že každú z týchto štyroch veličín možno vyjadriť pomocou dvoch iných. Pritom rovnaké štyri trojice možno odvodiť pre kyslé aj zásadité roztoky. Celkovo teda možno nájsť osem trojíc týchto veličín, ktoré sú uvedené v tab. 8.4.

Tabuľka 8.4 Vzťahy medzi veličinami popisujúcimi ionizáciu a hydrolyzu vo vode.

	silná kyselina HA	silná zásada B
	$c_{r,0}(\text{HA}) \approx [\text{H}_3\text{O}^+]$	$c_{r,0}(\text{B}) \approx [\text{OH}^-]$
	$\alpha \approx 1$	$\alpha \approx 1$
	slabá kyselina HA	slabá zásada B
	$c_{r,0} = \frac{(2[\text{H}_3\text{O}^+] + K_k)^2 - K_k^2}{4K_k} =$ $= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{K_k} + [\text{H}_3\text{O}^+]$ $K_k = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{r,0} - [\text{H}_3\text{O}^+]}$ $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K_k + \sqrt{K_k^2 + 4K_k c_{r,0}}}{2}$	$c_{r,0} = \frac{(2[\text{OH}^-] + K_z)^2 - K_z^2}{4K_z} =$ $= \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_z} + [\text{OH}^-]$ $K_z = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0} - [\text{OH}^-]}$ $[\text{OH}^-] = \frac{-K_z + \sqrt{K_z^2 + 4K_z c_{r,0}}}{2}$
	$\alpha = \frac{K_k}{K_k + [\text{H}_3\text{O}^+]}$ $K_k = [\text{H}_3\text{O}^+] \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_k \frac{1 - \alpha}{\alpha}$	$\alpha = \frac{K_z}{K_z + [\text{OH}^-]}$ $K_z = [\text{OH}^-] \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ $[\text{OH}^-] = K_z \frac{1 - \alpha}{\alpha}$
	$\alpha = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_{r,0}}$ $c_{r,0} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{\alpha}$ $[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha c_{r,0}$	$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{c_{r,0}}$ $c_{r,0} = \frac{[\text{OH}^-]}{\alpha}$ $[\text{OH}^-] = \alpha c_{r,0}$
	$\alpha = \frac{-K_k + \sqrt{K_k^2 + 4K_k c_{r,0}}}{2c_{r,0}}$ $c_{r,0} = K_k \frac{1 - \alpha}{\alpha^2}$ $K_k = c_{r,0} \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$	$\alpha = \frac{-K_z + \sqrt{K_z^2 + 4K_z c_{r,0}}}{2c_{r,0}}$ $c_{r,0} = K_z \frac{1 - \alpha}{\alpha^2}$ $K_z = c_{r,0} \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$

	slabá kyselina HA, ak $c_{r,0} \gg K_k$	slabá zásada B, ak $c_{r,0} \gg K_z$
	$c_{r,0} \approx \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{K_k}$ $K_k \approx \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_{r,0}}$ $[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_k c_{r,0}}$	$c_{r,0} \approx \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_z}$ $K_z \approx \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_{r,0}}$ $[\text{OH}^-] \approx \sqrt{K_z c_{r,0}}$
	$\alpha \approx \sqrt{\frac{K_k}{c_{r,0}}}$ $c_{r,0} \approx \frac{K_k}{\alpha^2}$ $K_k \approx \alpha^2 c_{r,0}$	$\alpha \approx \sqrt{\frac{K_z}{c_{r,0}}}$ $c_{r,0} \approx \frac{K_z}{\alpha^2}$ $K_z \approx \alpha^2 c_{r,0}$

8.5 Úlohy

8.5.1 Vypočítajte relatívne rovnovážne koncentrácie iónov prítomných v čistom metanole CH_3OH . Iónový súčin metanolu pri teplote $25\text{ }^\circ\text{C}$ je $2 \cdot 10^{-17}$.

$$[[\text{CH}_3\text{OH}_2^+] = [\text{CH}_3\text{O}^-] = 4,47 \cdot 10^{-9}]$$

8.5.2 Vypočítajte iónový súčin fluorovodíka pri teplote $0\text{ }^\circ\text{C}$, ak koncentrácia iónov H_2F^+ a F^- je $4,47 \cdot 10^{-6}\text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_{\text{ap}}(\text{HF}) = 2,0 \cdot 10^{-11}]$$

8.5.3 Vypočítajte, aká je relatívna rovnovážna koncentrácia hydroxidových iónov v roztoku kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 1,00 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

$$[[\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-9}]$$

8.5.4 Aký počet oxóniových katiónov H_3O^+ obsahuje 100 cm^3 roztoku s $\text{pH} = 8,00$?

$$[N(\text{H}_3\text{O}^+) = 6,023 \cdot 10^{14}]$$

8.5.5 Vypočítajte pH vodného roztoku kyseliny dusičnej, ktorý vznikne zmiešaním 150 cm^3 roztoku s $c(\text{HNO}_3) = 2,50 \cdot 10^{-2}\text{ mol dm}^{-3}$ a 300 cm^3 roztoku s $c(\text{HNO}_3) = 3,00 \cdot 10^{-3}\text{ mol dm}^{-3}$ a 450 cm^3 roztoku s $c(\text{HNO}_3) = 3,50 \cdot 10^{-4}\text{ mol dm}^{-3}$ a doplnením výsledného roztoku destilovanou vodou na objem $1,50\text{ dm}^3$.

$$[\text{pH} = 2,49]$$

8.5.6 Vypočítajte pH vodného roztoku kyseliny dusičnej s hmotnostným zlomkom $w(\text{HNO}_3) = 0,04$.

$$[\text{pH} = 0,19]$$

8.5.7 Máme pripraviť 10 dm³ vodného roztoku chlorovodíka (kyseliny chlorovodíkovej) s pH = 4,00. Aký objem 13 % roztoku chlorovodíka potrebujeme?

[V = 0,26 cm³]

8.5.8 Vypočítajte pH roztoku, ktorý sa pripraví zriedením 2,0 cm³ 11 % roztoku hydroxidu draselného KOH destilovanou vodou na objem 950 cm³.

[pH = 11,66]

8.5.9 Vypočítajte, akým objemom vody treba zriediť 4,0 cm³ 9,0 % roztoku NaOH, aby sme získali roztok, ktorého pH = 13,12.

[V = 71 cm³]

8.5.10 Vypočítajte, aké bude výsledné pH, ak 670 cm³ roztoku hydroxidu tálneho s pH = 13,10 sa zriedi vodou na objem 1670 cm³.

[pH = 12,70]

8.5.11 Do 4,0 dm³ roztoku kyseliny s pH = 3,00 prilejeme 6,0 dm³ destilovanej vody. Vypočítajte pH zriedeného roztoku.

[pH = 3,40]

8.5.12 Zmiešame 3,0 dm³ kyseliny s pH = 2,00 a 7,0 dm³ kyseliny s pH = 3,00. Vypočítajte pH výsledného roztoku.

[pH = 2,43]

8.5.13 Vypočítajte pH roztoku hydroxidu sodného, ak 205 cm³ tohto roztoku neutralizuje 100 cm³ roztoku chlorovodíka s pH = 1,80.

[pH = 11,89]

8.5.14 Vypočítajte pH roztoku kyseliny dusičnej, ak 125 cm³ tohto roztoku neutralizuje 175 cm³ roztoku hydroxidu draselného s pH = 12,10.

[pH = 1,75]

8.5.15 Vypočítajte pH roztoku, ktorý vznikol po chemickej reakcii 120 cm³ roztoku chlorovodíka s $c(\text{HCl}) = 0,833 \text{ mol dm}^{-3}$ a 2,1 g hydroxidu draselného KOH a doplnením destilovanou vodou na objem 600 cm³.

[pH = 0,98]

8.5.16 Uhličitan bárnatý reaguje s kyselinou jodovodíkovou podľa rovnice



Vypočítajte objem roztoku kyseliny jodovodíkovej s pH = 0,35 a hustotou 1,043 g cm⁻³, ktorý potrebujeme na rozloženie 36 g 92 % uhličitanu bárnateho. Vypočítajte hmotnostný zlomok vzniknutého roztoku jodidu bárnateho.

[V = 0,75 dm³, $w(\text{BaI}_2) = 0,081$]

8.5.17 Z 400 cm³ roztoku dusičnanu olovnatého s neznámou koncentráciou sme práve potrebným množstvom roztoku chlorovodíka s pH = 0,12 vyzrážali chlorid olovnatý. Po odfiltrovaní zrazeniny a doplnení objemu na presne 1,2 dm³ mal roztok kyseliny dusičnej pH = 1,22. Vypočítajte objem roztoku chlorovodíka potrebného na zrážanie a koncentráciu dusičnanu olovnatého v pôvodnom roztoku.

[V = 95,3 cm³, c(Pb(NO₃)₂) = 9,04 · 10⁻² mol dm⁻³]

8.5.18 Vypočítajte, aké bude pH roztoku, ktorý vznikne zmiešaním rovnakých objemov kyseliny dusičnej s koncentráciou c(HNO₃) = 0,01 mol dm⁻³ a roztoku hydroxidu sodného s koncentráciou c(NaOH) = 0,005 mol dm⁻³.

[pH = 2,6]

8.5.19 Vypočítajte pH roztoku po chemickej reakcii 25 cm³ kyseliny chlorovodíkovej s koncentráciou c(HCl) = 0,13 mol dm⁻³ a 35 cm³ roztoku hydroxidu draselného s koncentráciou c(KOH) = 0,12 mol dm⁻³. Platí aditivita objemov.

[pH = 12,20]

8.5.20 Vypočítajte pH roztoku po chemickej reakcii 80 cm³ 2,8 % roztoku chlorovodíka (ρ = 1,01 g cm⁻³) a 25 cm³ roztoku hydroxidu sodného s hmotnostným zlomkom w(NaOH) = 0,010 (ρ = 1,02 g cm⁻³). Platí aditivita objemov.

[pH = 0,28]

8.5.21 Na neutralizáciu 150 cm³ kyseliny chlorovodíkovej s koncentráciou c(HCl) = 3,00 · 10⁻² mol dm⁻³ sa spotrebovalo 200 cm³ vodného roztoku hydroxidu sodného. Vypočítajte, aké bolo pH roztoku hydroxidu sodného?

[pH = 12,35]

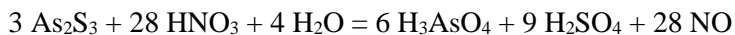
8.5.22 Na neutralizáciu 200 cm³ vodného roztoku hydroxidu draselného s koncentráciou c(KOH) = 4,00 · 10⁻² mol dm⁻³ sa spotrebovalo 250 cm³ vodného roztoku kyseliny dusičnej. Vypočítajte, aké bolo pH roztoku kyseliny dusičnej?

[pH = 1,50]

8.5.23 Po pridaní ekvivalentného množstva zinku do 500 cm³ roztoku chlorovodíka sa vylúčilo 100 cm³ molekulového vodíka pri teplote 20 °C a tlaku 101,325 kPa. Vypočítajte pH roztoku chlorovodíka.

[pH = 1,78]

8.5.24 Sulfid arzenitý reaguje s kyselinou dusičnou podľa rovnice



Pri chemickej reakcii sa použilo 2,00 dm³ roztoku kyseliny dusičnej a vzniklo 25,0 dm³ oxidu dusnatého NO pri teplote 27 °C a tlaku 97,3 kPa. Vypočítajte pH roztoku kyseliny dusičnej.

[pH = 0,31]

8.5.25 Roztok kyseliny octovej s koncentráciou c(CH₃COOH) = 0,10 mol dm⁻³ je ionizovaný na 1,3 %. Vypočítajte pH roztoku a ionizačnú konštantu kyseliny octovej.

$$[\text{pH} = 2,89, K = 1,71 \cdot 10^{-5}]$$

8.5.26 Vypočítajte pH roztoku kyseliny fluorovodíkovej a jej stupeň ionizácie, ak koncentrácia fluorovodíka je $c(\text{HF}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$ a $K_{\text{k}}(\text{HF}) = 6,75 \cdot 10^{-4}$.

$$[\text{pH} = 2,10, \alpha = 0,079]$$

8.5.27 Vypočítajte pH vodného roztoku amoniaku a ionizačný stupeň amoniaku s koncentráciou $c(\text{NH}_3) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[\text{pH} = 11,12, \alpha = 0,013]$$

8.5.28 Vypočítajte pH roztoku kyseliny mravčej HCOOH s koncentráciou $c(\text{HCCOH}) = 0,020 \text{ mol dm}^{-3}$, ak jej ionizačný stupeň je 0,090.

$$[\text{pH} = 2,74]$$

8.5.29 Vypočítajte hmotnosť kyseliny benzoovej ($M = 122,12 \text{ g mol}^{-1}$) v $1,5 \text{ dm}^3$ roztoku, ktorého pH = 4,00, ak $K_{\text{k}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,76 \cdot 10^{-5}$.

$$[m = 0,045 \text{ g}]$$

8.5.30 Vodný roztok kyseliny mravčej HCCOH s koncentráciou $c(\text{HCCOH}) = 1,556 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ má pH = 3,33. Vypočítajte ionizačnú konštantu HCCOH .

$$[K_{\text{k}}(\text{HCOOH}) = 2,00 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.31 Vypočítajte pH roztoku kyseliny dusitej s $w(\text{HNO}_2) = 0,024$ a hustotou $1,06 \text{ g cm}^{-3}$, ak $K_{\text{k}}(\text{HNO}_2) = 4,5 \cdot 10^{-4}$.

$$[\text{pH} = 1,81]$$

8.5.32 Anilín je slabá jednosýtna zásada s ionizačnou konštantou $K_{\text{z}}(\text{anilín}) = 4,3 \cdot 10^{-10}$. Vypočítajte pH roztoku a stupeň ionizácie anilínu, ak $c(\text{anilín}) = 0,010 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[\text{pH} = 8,32, \alpha = 2,1 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.33 Roztok dimetylamínu $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ s koncentráciou dimetylamínu $1,00 \text{ mol dm}^{-3}$ má pH = 12,36. Vypočítajte ionizačnú konštantu tejto zásady.

$$[K = 5,37 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.34 Vypočítajte pH vodného roztoku trimetylamínu obsahujúceho $5,5 \text{ g } (\text{CH}_3)_3\text{N}$ v objeme 320 cm^3 , $K_{\text{z}}((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 8,1 \cdot 10^{-5}$.

$$[\text{pH} = 11,68]$$

8.5.35 Vodný roztok kyseliny trihydrogenboritej má mať pH = 5,150. Vypočítajte hmotnosť H_3BO_3 na prípravu $50,0 \text{ cm}^3$ tohto roztoku, ak $K_{\text{k}}(\text{H}_3\text{BO}_3) = 6,50 \cdot 10^{-10}$.

$$[m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 0,238 \text{ g}]$$

8.5.36 Potrebujeme pripraviť roztok amoniaku s pH = 11,50. Vypočítajte, aký objem vody potrebujeme na zriedenie $2,50 \text{ dm}^3$ 2,00 % roztoku amoniaku s hustotou $0,991 \text{ g cm}^{-3}$.

$$[V = 2,70 \text{ dm}^3]$$

8.5.37 Vypočítajte pH roztoku, ktorý vznikne zriedením $2,6 \text{ cm}^3$ 98 % roztoku kyseliny mravčej s hustotou $1,19 \text{ g cm}^{-3}$ destilovanou vodou na objem $3,80 \text{ dm}^3$.

[pH = 2,78]

8.5.38 Zmiešame $3,8 \text{ dm}^3$ roztoku kyseliny chlórnej s pH = 4,10 s $5,4 \text{ dm}^3$ roztoku kyseliny chlórnej s pH = 3,80. Vypočítajte pH výsledného roztoku, ak $K_k(\text{HClO}) = 2,95 \cdot 10^{-8}$.

[pH = 3,88]

8.5.39 Vypočítajte ionizačný stupeň kyseliny chlórnej a pH roztoku, ktorý pripravíme zriedením $8,50 \text{ cm}^3$ roztoku kyseliny chlórnej s koncentráciou $c(\text{HClO}) = 0,650 \text{ mol dm}^{-3}$ destilovanou vodou na objem 250 cm^3 , ak $K_k(\text{HClO}) = 2,95 \cdot 10^{-8}$.

[pH = 4,59, $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-3}$]

8.5.40 Vypočítajte pH roztoku chloridu amónneho s koncentráciou $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,18 \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K_z(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

[pH = 5,00]

8.5.41 Roztok brómnanu sodného s koncentráciou $c(\text{NaBrO}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$ má pH = 10,85. Vypočítajte konštantu hydrolyzy a ionizačnú konštantu kyseliny brómnej.

[$K_h = 5,05 \cdot 10^{-6}$, $K_k(\text{HBrO}) = 1,98 \cdot 10^{-9}$]

8.5.42 Vypočítajte pH vodného roztoku, ktorého 500 cm^3 obsahuje 6,90 g dusitanu sodného NaNO_2 , ak $K_k(\text{HNO}_2) = 5,1 \cdot 10^{-4}$.

[pH = 8,30]

8.5.43 Vypočítajte pH vodného roztoku, ktorého 1500 cm^3 obsahuje 2,73 g octanu sodného ($M = 82,032 \text{ g mol}^{-1}$), ak $K_k(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

[pH = 8,55]

8.5.44 Roztok chloridu amónneho má mať pH = 5,10. Vypočítajte hmotnosť chloridu amónneho potrebnú na prípravu 150 cm^3 uvedeného roztoku, ak $K_z(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

[$m = 0,91 \text{ g}$]

8.5.45 Vypočítajte pH vodného roztoku síranu zinočnatého s koncentráciou $c(\text{ZnSO}_4) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K_k([\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}) = 2,0 \cdot 10^{-10}$.

[pH = 5,35]

8.5.46 Vypočítajte koncentráciu a stupeň hydrolyzy dusičnanu amónneho vo vodnom roztoku s pH = 5,76, ak $K_z(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

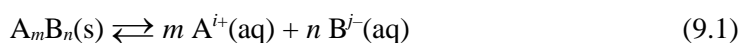
[$c = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $\beta = 3,20 \cdot 10^{-4}$]

8.5.47 Vypočítajte pH vodného roztoku síranu nikelnatého, ktorý pripravíme rozpustením 3,7813 g $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ vo vode tak, aby výsledný objem roztoku bol $100,0 \text{ cm}^3$. $K_k([\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}) = 4,0 \cdot 10^{-10}$.

[pH = 5,13]

9 ROVNOVÁHY MÁLO ROZPUSTNÝCH ELEKTROLYTOV

Ak rozpúšťame vo vode veľmi málo rozpustný silný elektrolyt A_mB_n , časť látky, ktorá zodpovedá rozpustnosti, sa rozpustí. Roztok, v ktorom sú prítomné hydratované ióny málo rozpustného elektrolytu, je teda nasýtený. Dej, pri ktorom sa začne vylučovať málo rozpustná látka (zrazenina) z nasýteného roztoku, nazývame zrážaním. Zloženie nasýteného roztoku udáva **rozpustnosť** príslušnej látky. Medzi tuhú fázu málo rozpustného elektrolytu a jeho hydratovanými iónmi v roztoku sa ustáli rovnováha. Túto rovnováhu môžeme zapísať vzt'ahom



Rovnovážnu konštantu rozpúšťania, nazývanú aj **súčin rozpustnosti** K_s , (angl. *solubility* = rozpustnosť) možno vyjadriť pomocou relatívnych rovnovážnych koncentrácií iónov.

$$K_s(A_mB_n) = [A^{i+}]^m [B^{j-}]^n \quad (9.2)$$

Hodnoty súčinov rozpustnosti niektorých látok sú uvedené v tab. 9.1.

Tabuľka 9.1 Súčiny rozpustnosti niektorých málo rozpustných látok vo vode pri 25 °C.

A_mB_n	$K_s(A_mB_n)$	$pK_s(A_mB_n)$
AgBr	$5,35 \cdot 10^{-13}$	12,27
AgBrO ₃	$5,38 \cdot 10^{-5}$	4,27
AgCl	$1,77 \cdot 10^{-10}$	9,75
AgI	$8,52 \cdot 10^{-17}$	16,07
AgIO ₃	$3,17 \cdot 10^{-8}$	7,50
TlCl	$1,84 \cdot 10^{-4}$	3,73
MnS	$3,00 \cdot 10^{-14}$	13,52
NiS	$1,07 \cdot 10^{-21}$	20,97
BaSO ₄	$1,08 \cdot 10^{-10}$	9,97
SrSO ₄	$3,44 \cdot 10^{-7}$	6,46
PbSO ₄	$2,53 \cdot 10^{-8}$	7,60
BaCrO ₄	$1,17 \cdot 10^{-10}$	9,93
Ag ₂ SO ₄	$1,20 \cdot 10^{-5}$	4,92
Ag ₂ CrO ₄	$1,12 \cdot 10^{-12}$	11,95
BaF ₂	$1,84 \cdot 10^{-7}$	6,74
CaF ₂	$3,45 \cdot 10^{-11}$	10,46

A_mB_n	$K_s(A_mB_n)$	$pK_s(A_mB_n)$
MgF ₂	$5,16 \cdot 10^{-11}$	10,29
SrF ₂	$4,33 \cdot 10^{-9}$	8,36
PbF ₂	$3,3 \cdot 10^{-8}$	7,48
PbI ₂	$9,8 \cdot 10^{-9}$	8,01
Mg(OH) ₂	$5,61 \cdot 10^{-12}$	11,25
Fe(OH) ₂	$4,87 \cdot 10^{-17}$	16,31
Mn(OH) ₂	$2,06 \cdot 10^{-13}$	12,69
Pb(IO ₃) ₂	$3,69 \cdot 10^{-13}$	12,43
La(IO ₃) ₃	$7,50 \cdot 10^{-12}$	11,12
Fe(OH) ₃	$2,79 \cdot 10^{-39}$	38,55

9.1 Nábojová bilancia v roztokoch elektrolytov

Vodné roztoky elektrolytov predstavujú sústavu, ktorá obsahuje elektricky nabité častice (ióny). Na bilancovanie jednotlivých zložiek v roztoku elektrolytov používame upravený vzťah (5.5), vyjadrujúci zákon zachovania náboja. Ak roztok s objemom V obsahuje $N(A)$, $N(B)$,... častíc zložiek A, B,..., potom použitím vzťahov (2.1) a (3.10) dostaneme

$$\sum_i c_i z_i = 0 \quad (9.3)$$

pretože výsledný náboj roztoku je nulový.

9.1.1 Riešené príklady

9.1.1 Napíšte rovnicu nábojovej bilancie pre vodný roztok hydrogensulfidu sodného NaHS.

Riešenie:

Vodný roztok NaHS obsahuje častice Na⁺, HS⁻, H₂S, S²⁻, H₃O⁺, OH⁻ a H₂O. Podľa (9.3) platí

$$c(\text{Na}^+) z(\text{Na}^+) + c(\text{HS}^-) z(\text{HS}^-) + c(\text{H}_2\text{S}) z(\text{H}_2\text{S}) + c(\text{S}^{2-}) z(\text{S}^{2-}) + \\ + c(\text{H}_3\text{O}^+) z(\text{H}_3\text{O}^+) + c(\text{OH}^-) z(\text{OH}^-) + c(\text{H}_2\text{O}) z(\text{H}_2\text{O}) = 0$$

Dosadením príslušných nábojových čísel dostaneme

$$c(\text{Na}^+) \cdot 1 + c(\text{HS}^-) \cdot (-1) + c(\text{H}_2\text{S}) \cdot 0 + c(\text{S}^{2-}) \cdot (-2) + \\ + c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot 1 + c(\text{OH}^-) \cdot (-1) + c(\text{H}_2\text{O}) \cdot 0 = 0$$

tj.

$c(\text{Na}^+) - c(\text{HS}^-) - 2c(\text{S}^{2-}) + c(\text{H}_3\text{O}^+) - c(\text{OH}^-) = 0$

9.2 Súčin rozpustnosti a rozpustnosť

Zo súčinu rozpustnosti možno určiť rozpustnosť látok. V dôsledku ionizácie sú v roztoku v rovnováhe prítomné ióny A^{i+} a B^{j-} , takže pre nábojovú bilanciu platí

$$i[A^{i+}] = j[B^{j-}] \quad (9.4)$$

Ak koncentrácia rozpusteného elektrolytu A_mB_n je $s_r(A_mB_n)$, potom podľa rovnice (9.1) platí

$$[A^{i+}] = ms_r(A_mB_n) \quad [B^{j-}] = ns_r(A_mB_n) \quad s_r(A_mB_n) = \frac{[A^{i+}]}{m} = \frac{[B^{j-}]}{n} \quad (9.5)$$

Dosadením (9.5) do vzťahu pre súčin rozpustnosti (9.2) dostaneme pre rozpustnosť elektrolytu vzťah

$$K_s(A_mB_n) = [A^{i+}]^m [B^{j-}]^n = [ms_r(A_mB_n)]^m [ns_r(A_mB_n)]^n = m^m n^n s_r(A_mB_n)^{m+n}$$

z ktorého po úprave vyplýva

$$s_r(A_mB_n) = \left[\frac{K_s(A_mB_n)}{m^m n^n} \right]^{\frac{1}{m+n}} \quad (9.6)$$

Poznámka: Keďže pri týchto výpočtoch pokladáme roztoky látok za nasýtené, koncentrácie prítomných častíc nadobúdajú maximálne možné hodnoty pri daných podmienkach. Preto je rozumné koncentrácie označiť symbolom s (angl. *solubility* = rozpustnosť).

Aby sme mohli určiť podmienky tvorby zrazeniny, potrebujeme vypočítať reakčný kvocient Q_c podľa vzťahu (7.10). Potom môžu nastať tri možnosti:

- ak $Q_c < K_s$, roztok je nenasýtený, zrazenina sa netvorí,
- ak $Q_c = K_s$, roztok je nasýtený, zrazenina sa netvorí ani nerozpúšťa,
- ak $Q_c > K_s$, v roztoku nastáva tvorba zrazeniny.

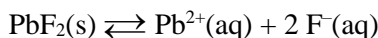
Poznámka: Pri výpočtoch zloženia rovnovážnych sústav s málo rozpustnými látkami neuvažujeme o novej hydrolyze prítomných iónov.

9.2.1 Riešené príklady

9.2.1 Vypočítajte rozpustnosť fluoridu olovnatého PbF_2 , ak jeho súčin rozpustnosti je $3,3 \cdot 10^{-8}$.

Riešenie:

Rozpúšťanie málo rozpustného PbF_2 vyjadruje rovnica



Podľa (9.5) platí

$$[Pb^{2+}] = s_r(PbF_2) \quad [F^-] = 2s_r(PbF_2)$$

Dosadením do vzťahu (9.2) pre súčin rozpustnosti dostaneme

$$K_s(PbF_2) = [Pb^{2+}][F^-]^2 = s_r(PbF_2) [2s_r(PbF_2)]^2 = 4 [s_r(PbF_2)]^3 = 3,3 \cdot 10^{-8}$$

z čoho dostaneme odvodený vzťah (9.6).

$$s_r(A_m B_n) = \left(\frac{K_s(\text{PbF}_2)}{4} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{3,3 \cdot 10^{-8}}{4} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,0 \cdot 10^{-3}$$

☑ Rozpustnosť PbF_2 je $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$.

9.2.2 Vypočítajte súčin rozpustnosti chrómanu strieborného, ak jeho rozpustnosť je $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie:

Rozpúšťanie málo rozpustného Ag_2CrO_4 vyjadruje rovnica



Podľa (9.5) platí

$$[\text{Ag}^+] = 2s_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) \quad [\text{CrO}_4^{2-}] = s_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$$

Dosadením do vzťahu (9.2) pre súčin rozpustnosti dostaneme

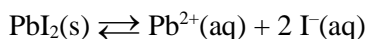
$$\begin{aligned} K_s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) &= [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}] = [2s_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)]^2 s_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 4 [s_r(\text{PbF}_2)]^3 = \\ &= 4 \cdot (6,5 \cdot 10^{-5})^3 = 1,1 \cdot 10^{-12} \end{aligned}$$

☑ Súčin rozpustnosti Ag_2CrO_4 je $1,1 \cdot 10^{-12}$.

9.2.3 Súčin rozpustnosti jodidu olovnatého je $K_s(\text{PbI}_2) = 9,8 \cdot 10^{-9}$. Vznikne zrazenina jodidu olovnatého PbI_2 , ak zmiešame rovnaké objemy roztoku dusičnanu olovnatého s $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ a roztoku jodidu sodného NaI s $c(\text{NaI}) = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$?

Riešenie:

Rozpúšťanie málo rozpustného PbI_2 vyjadruje rovnica



Pretože zmiešame dva rovnaké objemy, vo výslednom roztoku koncentrácia olovnatých iónov bude polovičná, tj. $c(\text{Pb}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{I}^-) = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$. Potom

$$Q_c = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2 = 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot (1,0 \cdot 10^{-4})^2 = 1,0 \cdot 10^{-12} < K_s(\text{PbI}_2)$$

Keďže $Q_c < K_s(\text{PbI}_2)$, zrazenina PbI_2 nevznikne.

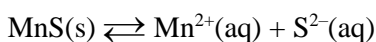
☑ Po zmiešaní uvedených roztokov zrazenina PbI_2 nevznikne.

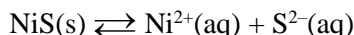
9.2.4 V roztoku sú rovnaké koncentrácie chloridu mangánatého a chloridu nikelnatého $c(\text{MnCl}_2) = c(\text{NiCl}_2) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte, v akom rozmedzí pH sa bude selektívne zrážať sulfid nikelnatý nasýteným roztokom sírovodíka H_2S , ak $c(\text{H}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$.

$K_s(\text{MnS}) = 1,4 \cdot 10^{-15}$, $K_s(\text{NiS}) = 1,4 \cdot 10^{-24}$ a celková ionizačná konštanta sírovodíka $K(\text{H}_2\text{S}) = 6,8 \cdot 10^{-23}$.

Riešenie:

Rozpúšťanie málo rozpustných MnS a NiS vyjadrujú rovnice





Zo súčinu rozpustnosti sulfidu nikelnatého môžeme vypočítať relatívnu rovnovážnu koncentráciu sulfidových aniónov, potrebnú na zrážanie sulfidu nikelnatého pri danej koncentrácii ich nikelnatých katiónov.

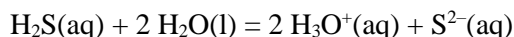
Keďže

$$K_s(\text{NiS}) = [\text{Ni}^{2+}][\text{S}^{2-}]$$

potom

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_s(\text{NiS})}{[\text{Ni}^{2+}]} = \frac{1,4 \cdot 10^{-24}}{1,0 \cdot 10^{-2}} = 1,4 \cdot 10^{-22}$$

Celkovú ionizáciu sírovodíka vyjadruje rovnica



Z celkovej ionizačnej konštanty sírovodíka môžeme vypočítať relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových katiónov, pri ktorej koncentrácia sulfidových aniónov nadobúda vyžadovanú hodnotu $1,4 \cdot 10^{-22}$. Sírovodík je však veľmi slabá kyselina, tj. neochotne ionizuje, takže platí $[\text{H}_2\text{S}] \approx c_{r,0}(\text{H}_2\text{S})$. Potom

$$K(\text{H}_2\text{S}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} \approx \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 [\text{S}^{2-}]}{c_{r,0}(\text{H}_2\text{S})}$$

z čoho

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{\frac{K(\text{H}_2\text{S}) c_{r,0}(\text{H}_2\text{S})}{[\text{S}^{2-}]}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-23} \cdot 0,10}{1,4 \cdot 10^{-22}}} = 0,220$$

$$\text{pH} = -\log 0,220 = 0,66$$

Rovnakým spôsobom vypočítame pH, pri ktorom už nastáva zrážanie sulfidu mangánatého. Keďže

$$K_s(\text{MnS}) = [\text{Mn}^{2+}][\text{S}^{2-}]$$

potom

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_s(\text{MnS})}{[\text{Mn}^{2+}]} = \frac{1,4 \cdot 10^{-15}}{1,0 \cdot 10^{-2}} = 1,4 \cdot 10^{-13}$$

z čoho

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{\frac{K(\text{H}_2\text{S}) c_{r,0}(\text{H}_2\text{S})}{[\text{S}^{2-}]}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-23} \cdot 0,10}{1,4 \cdot 10^{-13}}} = 6,97 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pH} = -\log 6,97 \cdot 10^{-6} = 5,16$$

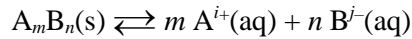
Z princípu pohyblivej rovnováhy, ako aj z odvodeného vzorca vyplýva, že čím kyslejší bude roztok, tým menej sulfidových aniónov bude prítomných v roztoku. Keďže na vyzrážanie NiS je treba veľmi málo sulfidových aniónov, bude sa NiS zrážať už v kyslejších roztokoch ($\text{pH} > 0,66$). Aby sa však začal zrážať MnS, ktorý potrebuje oveľa viac

sulfidových aniónov, musí byť roztok oveľa menej kyslý (pH > 5,16). V rozmedzí pH od 0,66 do 5,16 sa teda pri daných podmienkach bude zrážať iba NiS.

■ Sulfid nikelnatý sa bude selektívne zrážať v rozmedzí pH od 0,66 až 5,16.

Poznámka: Uvedená metóda selektívneho zrážania a následného odfiltrovania jednotlivých vyzrážaných kationov zo spoločného roztoku s rôznym pH sa v praxi využíva na separáciu jednotlivých kationov kovov. Známa je pod názvom „sírovodíkové delenie kovov“.

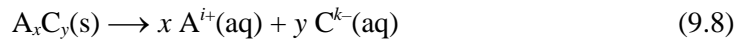
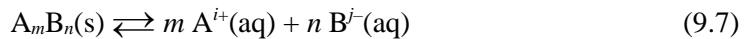
9.3 Rozpustnosť v roztoku so spoločným iónom



Ak pridáme do roztoku, ktorý obsahuje málo rozpustnú látku $A_m B_n$, určité množstvo dobre rozpustnej látky $A_x C_y$, ktorá má so zrazeninou spoločný kation A^{i+} , a ak v sústave neprebiehajú žiadne chemické reakcie, rozpustnosť zrazeniny sa zníži.

Poznámka: V ďalšom texte budeme rozlišovať rozpustnosť s látky v čistom rozpúšťadle od jej rozpustnosti s' v roztoku so spoločným iónom.

Uvedené deje môžeme zapísať



Keďže spoločná častica A^{i+} pochádza v tomto prípade z dvoch rozpustených látok ($A_m B_n$ a $A_x C_y$), pre jej celkovú relatívnu koncentráciu $[A^{i+}]$ platí

$$[A^{i+}] = [A^{i+}]_{A_m B_n} + [A^{i+}]_{A_x C_y} = m s_r'(A_m B_n) + x c_r(A_x C_y) \quad (9.9)$$

pričom podľa (9.5) je $[B^{j-}] = n s_r'(A_m B_n)$. Dosadením týchto vzťahov do (9.2) a úpravou dostaneme pre $s_r'(A_m B_n)$ polynomicke rovnicu stupňa $m + n$.

$$K_s(A_m B_n) = [m s_r'(A_m B_n) + x c_r(A_x C_y)]^m [n s_r'(A_m B_n)]^n \quad (9.10)$$

Riešenie takýchto rovníc je väčšinou veľmi náročné a ďaleko presahuje rámec tohto skripta, preto sa obmedzíme len rovnice max. 3. stupňa, tj. na látky typu AB, AB₂, resp. A₂B v roztoku so spoločným iónom A^{i+} . Rovnice (9.10) potom nadobudnú tvar

$$\begin{aligned} AB \ (m = 1, n = 1): \quad & K_s(AB) = [s_r'(AB) + x c_r(A_x C_y)] s_r'(AB) \\ AB_2 \ (m = 1, n = 2): \quad & K_s(AB_2) = [s_r'(AB_2) + x c_r(A_x C_y)] [2 s_r'(AB_2)]^2 \\ A_2B \ (m = 2, n = 1): \quad & K_s(A_2B) = [2 s_r'(A_2B) + x c_r(A_x C_y)]^2 s_r'(A_2B) \end{aligned} \quad (9.11)$$

Kvadratickú rovnicu pre AB vieme riešiť exaktne. Úpravou dostaneme

$$AB: \quad s_r'(AB)^2 + x c_r(A_x C_y) s_r'(AB) - K_s(AB) = 0$$

z čoho

$$AB: \quad s_r'(AB) = \frac{-x c_r(A_x C_y) + \sqrt{x^2 c_r(A_x C_y)^2 + 4 K_s(AB)}}{2} \quad (9.12)$$

V prípade kubických rovníc pre AB₂ a A₂B budeme predpokladať (najmä pre $K_s \rightarrow 0$), že hodnota $s_r'^3$ je natoľko malá, že kubický člen v rovniciach možno zanedbať. Úpravou dostaneme

$$AB_2: \quad 4xc_r(A_xC_y)s_r'(AB_2)^2 - K_s(AB_2) \approx 0$$

z čoho

$$AB_2: \quad s_r'(AB_2) \approx \sqrt{\frac{K_s(AB_2)}{4xc_r(A_xC_y)}} \quad (9.13)$$

resp.

$$A_2B: \quad 4xc_r(A_xC_y)s_r'(A_2B)^2 + x^2c_r(A_xC_y)^2s_r'(A_2B) - K_s(A_2B) \approx 0$$

z čoho

$$A_2B: \quad s_r'(A_2B) \approx \frac{-x^2c_r(A_xC_y)^2 + \sqrt{x^4c_r(A_xC_y)^4 + 16xc_r(A_xC_y)K_s(A_2B)}}{8xc_r(A_xC_y)} \quad (9.14)$$

Často je rozpustnosť s_r' látky oveľa menšia ako relatívna koncentrácia c_r pridanej látky so spoločným iónom. V tom prípade je $s_r'(A_mB_n) \ll c_r(A_xC_y)$, a teda v rovniciach (9.11) možno člen $s_r'(A_mB_n)$ voči $c_r(A_xC_y)$ zanedbať, čím získame ďalšie približné vzťahy pre rozpustnosť málo rozpustnej látky v roztoku so spoločným iónom A^{t+} .

$$AB (m = 1, n = 1): \quad xc_r(A_xC_y)s_r'(AB) - K_s(AB) \approx 0$$

$$AB_2 (m = 1, n = 2): \quad 4xc_r(A_xC_y)s_r'(AB_2)^2 - K_s(AB_2) \approx 0$$

$$A_2B (m = 2, n = 1): \quad x^2c_r(A_xC_y)^2s_r'(A_2B) - K_s(A_2B) \approx 0 \quad (9.15)$$

z čoho

$$AB: \quad s_r'(AB) \approx \frac{K_s(AB)}{xc_r(A_xC_y)} \quad (9.16)$$

$$AB_2: \quad s_r'(AB_2) \approx \sqrt{\frac{K_s(AB_2)}{4xc_r(A_xC_y)}} \quad (9.17)$$

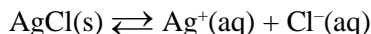
$$A_2B: \quad s_r'(A_2B) \approx \frac{K_s(A_2B)}{x^2c_r(A_xC_y)^2} \quad (9.18)$$

9.3.1 Riešené príklady

9.3.1 Vypočítajte, koľkokrát sa zníži rozpustnosť chloridu strieborného, ak k presne 1 dm³ jeho nasýteného roztoku sa pridá 1,00 · 10⁻⁴ mol chloridu sodného.
 $K_s(\text{AgCl}) = 1,10 \cdot 10^{-10}$.

Riešenie:

Rozpúšťanie málo rozpustného AgCl vyjadruje rovnica



Podľa (9.2) platí

$$K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

Najprv vypočítame relatívnu rozpustnosť $s_r(\text{AgCl})$ v čistej vode.

$$s_r(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = \sqrt{K_s(\text{AB})} = \sqrt{1,10 \cdot 10^{-11}} = 1,05 \cdot 10^{-5}$$

Potom vypočítame relatívnu koncentráciu c_r pridanej látky. Chlorid sodný sa po pridaní do nasýteného roztoku AgCl úplne rozpustí



a vzniká roztok s koncentráciou

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V'} = \frac{1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{1 \text{ dm}^3} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

Keďže $[\text{Ag}^+] = s_r'(\text{AgCl})$, relatívna rovnovážna koncentrácia chloridového aniónu je

$$[\text{Cl}^-] = [\text{Cl}^-]_{\text{AgCl}} + [\text{Cl}^-]_{\text{NaCl}} = [\text{Ag}^+] + [\text{Na}^+] = s_r'(\text{AgCl}) + c_r(\text{NaCl})$$

Dosadením do súčinu rozpustnosti dostaneme

$$K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = s_r'(\text{AgCl})[s_r'(\text{AgCl}) + c_r(\text{NaCl})]$$

Úpravou a dosadením známych údajov dostaneme kvadratickú rovnicu

$$s_r'(\text{AgCl})^2 + s_r'(\text{AgCl})c_r(\text{NaCl}) - K_s(\text{AgCl}) = 0$$

$$s_r'(\text{AgCl})^2 + 1,00 \cdot 10^{-4} s_r'(\text{AgCl}) - 1,10 \cdot 10^{-10} = 0$$

ktorej riešením je $s_r' = 1,09 \cdot 10^{-6}$.

Použitím približného vzťahu (9.15) dostaneme

$$s_r'(\text{AgCl}) \approx \frac{K_s(\text{AgCl})}{c_r(\text{NaCl})} = \frac{1,10 \cdot 10^{-10}}{1,00 \cdot 10^{-4}} = 1,10 \cdot 10^{-6}$$

Pridaním NaCl sa rozpustnosť AgCl znížila x -krát.

$$x = \frac{s_r(\text{AgCl})}{s_r'(\text{AgCl})} = \frac{1,05 \cdot 10^{-5}}{1,09 \cdot 10^{-6}} = \mathbf{9,63}$$

☑ Rozpustnosť chloridu strieborného v roztoku chloridu sodného je 9,63-krát menšia ako vo vode.

Zhrnutie

Rozpúšťanie málo rozpustných elektrolytov charakterizujú tri veličiny:

- príslušné konštanty rozpúšťania (súčinu rozpustnosti) K_s ,
- rozpustnosť s_r , tj. maximálna koncentrácia látkového množstva elektrolytu v roztoku,
- koncentrácie jednotlivých iónov, na ktoré sa elektrolyt pri rozpúšťaní štiepi.

Celkovo teda možno nájsť tri dvojice týchto veličín, z ktorých sú v tab. 9.2 uvedené vzťahy pre výpočet rozpustnosti.

Tabuľka 9.2 Vzťahy pre rozpustnosť málo rozpustných elektrolytov.

Elektrolyt	Rovnica rozpúšťania Rozpustnosť s_r v rozpúšťadle Rozpustnosť s_r' v roztoku A_xC_y (c_r), ak $s_r'^3 \approx 0$ Rozpustnosť s_r' v roztoku A_xC_y (c_r), ak $s_r' \ll c_r$
A_mB_n v rozpúšťadle	$A_mB_n(s) \rightleftharpoons m A^{i+}(aq) + n B^{j-}(aq)$ $s_r = \left[\frac{K_s}{m^m n^n} \right]^{\frac{1}{m+n}}$
AB v roztoku A_xC_y (spoločný ión A^{i+})	$AB(s) \rightleftharpoons A^{i+}(aq) + B^{j-}(aq)$ $s_r = \sqrt{K_s}$ $s_r' = \frac{-xc_r + \sqrt{x^2 c_r^2 + 4K_s}}{2}$ $s_r' \approx \frac{K_s}{xc_r}$
AB_2 v roztoku A_xC_y (spoločný ión A^{i+})	$AB_2(s) \rightleftharpoons A^{i+}(aq) + 2 B^{j-}(aq)$ $s_r = \sqrt[3]{\frac{K_s}{4}}$ $s_r' \approx \sqrt{\frac{K_s}{4xc_r}}$ $s_r' \approx \sqrt{\frac{K_s}{4xc_r}}$
A_2B v roztoku A_xC_y (spoločný ión A^{i+})	$A_2B(s) \rightleftharpoons 2 A^{i+}(aq) + B^{j-}(aq)$ $s_r = \sqrt[3]{\frac{K_s}{4}}$ $s_r' \approx \frac{-x^2 c_r^2 + \sqrt{x^4 c_r^4 + 16xc_r K_s}}{8xc_r}$ $s_r' \approx \frac{K_s}{x^2 c_r^2}$

9.4 Úlohy

9.4.1 Vypočítajte súčin rozpustnosti chloridu strieborného, ak jeho rozpustnosť je $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$.

$[K_s = 1,7 \cdot 10^{-10}]$

9.4.2 Vypočítajte súčin rozpustnosti fluoridu vápenatého, ak jeho rozpustnosť je $2,15 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_s = 3,98 \cdot 10^{-4}]$$

9.4.3 Vypočítajte súčin rozpustnosti bis(fosforečnanu) trivápenatého, ak jeho rozpustnosť je $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 1,3 \cdot 10^{-26}]$$

9.4.4 Vypočítajte súčin rozpustnosti bromidu olovnatého, ak jeho rozpustnosť je 0,392 g na 100 g vody.

$$[K_s(\text{PbBr}_2) = 4,9 \cdot 10^{-6}]$$

9.4.5 Vypočítajte $pK_s(\text{Fe}(\text{OH})_2)$, ak hmotnostná koncentrácia hydroxidu železnatého v nasýtenom roztoku je $\rho(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 6,919 \cdot 10^{-5} \text{ g dm}^{-3}$.

$$[pK_s(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 17,74]$$

9.4.6 Vypočítajte rozpustnosť chrómanu strieborného, ak jeho súčin rozpustnosti $K_s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$.

$$[s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}]$$

9.4.7 Vypočítajte rozpustnosť jodidu olovnatého, ak jeho súčin rozpustnosti $K_s(\text{PbI}_2) = 6,9 \cdot 10^{-9}$.

$$[s(\text{PbI}_2) = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}]$$

9.4.8 Súčin rozpustnosti uhličitanu bárnateho je $K_s(\text{BaCO}_3) = 5,03 \cdot 10^{-9}$. Aká je hmotnostná koncentrácia uhličitanu bárnateho v nasýtenom roztoku?

$$[\rho = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ g dm}^{-3}]$$

9.4.9 Zrazenina fluoridu strontnatého SrF_2 s hmotnosťou 1,0148 g sa dekantovala s 250 cm^3 vody. Vypočítajte hmotnosť SrF_2 po dekantácii. $K_s(\text{SrF}_2) = 2,9 \cdot 10^{-9}$.

$$[m = 0,9866 \text{ g}]$$

9.4.10 Vypočítajte pH v nasýtenom roztoku hydroxidu kademnatého. $K_s(\text{Cd}(\text{OH})_2) = 1,2 \cdot 10^{-14}$.

$$[\text{pH} = 9,46]$$

9.4.11 Pridaním 20 cm^3 roztoku dichrómanu didraselného $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ s koncentráciou $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,030 \text{ mol dm}^{-3}$ k 400 cm^3 roztoku strieborných iónov sa má zrážať dichróman distrieborný. Vypočítajte najmenšiu potrebnú koncentráciu strieborných iónov v roztoku. $K_s(\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 2,0 \cdot 10^{-7}$.

$$[c(\text{Ag}^+) = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}]$$

9.4.12 Vypočítajte, či bude vznikáť zrazenina, ak zmiešame rovnaké objemy roztoku chloridu bárnateho s $c(\text{BaCl}_2) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ a roztoku síranu sodného s $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{BaSO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$. Vypočítajte hmotnosť vzniknutej zrazeniny, ak zmiešame $50,0 \text{ cm}^3$ obidvoch roztokov.

$$[Q_c > K_s, \text{ zrazenina vzniká, } m(\text{BaSO}_4) = 0,0117 \text{ g}]$$

9.4.13 Vypočítajte látkové množstvo fluoridu strontnatého SrF_2 , ktorý sa rozpustí v $1,0 \text{ dm}^3$ roztoku fluoridu draselného s koncentráciou $c(\text{KF}) = 0,015 \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{SrF}_2) = 2,9 \cdot 10^{-9}$.
[$n(\text{SrF}_2) = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$]

9.4.14 Vypočítajte hmotnosť chloridu tálneho TlCl , ktorý sa rozpustí v presne 1 dm^3 roztoku chloridu sodného s koncentráciou $c(\text{NaCl}) = 0,20 \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{TlCl}) = 1,9 \cdot 10^{-4}$.
[$m(\text{TlCl}) = 0,23 \text{ g}$]

9.4.15 Vypočítajte, koľkokrát sa zníži rozpustnosť bromičnanu strieborného, ak v $1,0 \text{ dm}^3$ nasýteného roztoku AgBrO_3 rozpustíme $0,30 \text{ mol NaBrO}_3$, pričom objem roztoku sa nezmení. $K_s(\text{AgBrO}_3) = 5,3 \cdot 10^{-5}$.
[41-krát]

9.4.16 Vypočítajte rozpustnosť sulfidu kobaltnatého CoS vo vode a v roztoku sulfidu sodného s $c(\text{Na}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{CoS}) = 5 \cdot 10^{-22}$.
[$s(\text{Na}_2\text{S}) = 2,23 \cdot 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$, $s'(\text{Na}_2\text{S}) = 5 \cdot 10^{-21} \text{ mol dm}^{-3}$]

9.4.17 Vypočítajte rozpustnosť fluoridu vápenatého CaF_2
a) vo vode,
b) v roztoku chloridu vápenatého s $c(\text{CaCl}_2) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$,
c) v roztoku fluoridu sodného s $c(\text{NaF}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$.
 $K_s(\text{CaF}_2) = 3,9 \cdot 10^{-11}$.
[a) $s(\text{CaF}_2) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$; b) $s'(\text{CaF}_2) = 9,9 \cdot 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$; c) $s'(\text{CaF}_2) = 3,9 \cdot 10^{-9} \text{ mol dm}^{-3}$]

9.4.18 Vypočítajte hmotnosť fluoridu strontnatého, ktorý sa rozpustí
a) pri dekantácii zrazeniny SrF_2 s $1,750 \text{ dm}^3$ vody,
b) pri dekantácii zrazeniny SrF_2 s $1,750 \text{ dm}^3$ roztoku dusičnanu strontnatého, s $c(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0,550 \text{ mol dm}^{-3}$.
 $K_s(\text{SrF}_2) = 2,900 \cdot 10^{-9}$.
[a) $m(\text{SrF}_2) = 0,1975 \text{ g}$; b) $m(\text{SrF}_2) = 0,00798 \text{ g}$]

9.4.19 V roztoku sú rovnaké koncentrácie kobaltnatých a mangánatých katiónov $c(\text{Co}^{2+}) = c(\text{Mn}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte, v akom rozmedzí pH sa bude selektívne zrážať sulfid kobaltnatý nasýteným roztokom sírovodíka H_2S , ak $c(\text{H}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$? $K_s(\text{CoS}) = 5,0 \cdot 10^{-22}$, $K_s(\text{MnS}) = 1,4 \cdot 10^{-15}$, $K(\text{H}_2\text{S}) = 6,8 \cdot 10^{-23}$.
[pH = 1,93 až 5,16]

9.4.20 Vypočítajte, v akom rozmedzí koncentrácie sulfidových aniónov sa selektívne zráža sulfid meďnatý CuS v prítomnosti olovnatých katiónov. Koncentrácie katiónov sú rovnaké $c(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Pb}^{2+}) = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{CuS}) = 4 \cdot 10^{-38}$, $K_s(\text{PbS}) = 3,4 \cdot 10^{-28}$.
[$c(\text{S}^{2-}) = 2 \cdot 10^{-37} \text{ mol dm}^{-3}$ až $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ mol dm}^{-3}$]

10 KOMPLEXOTVORNÉ ROVNOVÁHY

Komplex je častica zložená z jedného alebo viacerých **centrálnych atómov** M chemicky viazaných s **ligandmi** L (atómy, molekuly alebo ióny). Podľa počtu centrálnych atómov, ktoré sa nachádzajú v komplexe, rozlišujeme **jednojadrové** a **viacjadrové komplexy**. Ligand môže obsahovať jeden alebo viac **donorových atómov**, ktoré podmieňujú jeho potenciálnu **donorovosť (funkčnosť, denticitu)** k centrálnemu atómu. Počet donorových atómov ligandov viazaných s centrálnym atómom komplexu, tj. tých, ktoré sa nachádzajú v jeho **koordináčnej sfére**, udáva **koordináčné číslo**. Zlúčeniny, ktoré obsahujú komplexné častice, sa nazývajú **koordináčné (komplexné) zlúčeniny**. Tvorbu komplexných častíc (neutrálne molekuly, katióny alebo anióny) môžeme opísať ako chemickú reakciu Lewisových zásad s Lewisovými kyselinami. Každý ligand má donorový atóm, na ktorom sa nachádza voľný elektrónový pár a používa ho na vznik **koordináčnej (donorovo-akceptorovej) väzby** s centrálnym atómom (akceptorom).

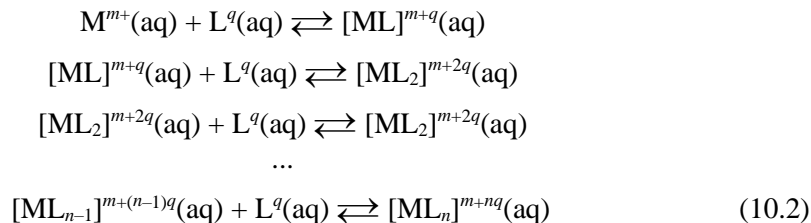
10.1 Stupňovité a celkové konštanty tvorby komplexov

Najviac meraní stálosti (stability) koordináčnych zlúčenín sa uskutočnilo vo vodných roztokoch. Pri rozpúšťaní iónových zlúčenín (solí) vo vode zvyčajne vznikajú hydratované ióny. V dôsledku hydratácie sa mnohé katióny nachádzajú v roztoku ako akvakomplexy $[M(H_2O)_n]^{m+}$ ($n = 1, 2, \dots$). Pridaním jednofunkčného ligandu L do vodného roztoku soli sa nahradí koordinovaná molekula vody ligandom, čo môžeme vyjadriť rovnicou



Postupným zvyšovaním koncentrácie ligandu v roztoku môže prebiehať substitúcia ďalších koordinovaných molekúl vody ligandom za vzniku komplexu $[ML_n]^{m+nq}$, kde n je maximálne koordináčne číslo. Pri zriedení roztoku prebieha opačný dej. Z toho vyplýva, že chemické reakcie spojené s tvorbou alebo rozkladom komplexu predstavujú hlavne substitúcie ligandov v koordináčnej sfére. V závislosti od koncentrácie reaktantov, napr. od koncentrácie katiónu M^{m+} a ligandu L^q , môžu vznikáť jednojadrové alebo viacjadrové komplexy.

Vznik jednojadrových komplexov $[ML_i]^{m+iq}$, kde L^q je jednofunkčný ligand, môžeme zjednodušene zapísať pomocou nasledujúcej sústavy chemických rovníc, v ktorých sú pre jednoduchosť vynechané molekuly vody.

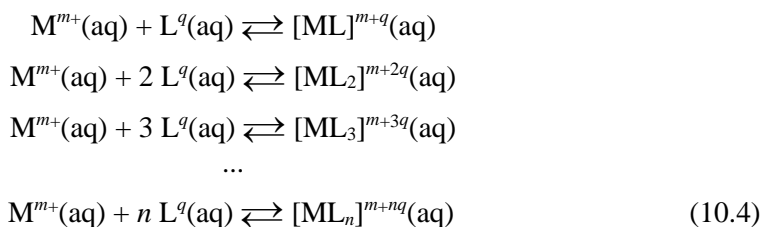


Pre rovnováhy chemických reakcií (10.2) možno zapísať rovnovážne konštanty K_i :

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{[[\text{ML}]^{m+q}]}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]} \\
 K_2 &= \frac{[[\text{ML}_2]^{m+2q}]}{[[\text{ML}]^{m+q}][\text{L}^q]} \\
 K_3 &= \frac{[[\text{ML}_3]^{m+3q}]}{[[\text{ML}_2]^{m+2q}][\text{L}^q]} \\
 &\dots \\
 K_n &= \frac{[[\text{ML}_n]^{m+nq}]}{[[\text{ML}_{n-1}]^{m+(n-1)q}][\text{L}^q]} \quad (10.3)
 \end{aligned}$$

Konštanty K_1 až K_n sú **stupňovité konštanty stálosti (stability, tvorby)** komplexov $[\text{ML}]$ až $[\text{ML}_n]$. V uvedenej sústave (napr. v roztoku) sa uštalujú rovnováhy, v ktorých sa nachádzajú všetky tieto častice s rôznou koncentráciou. Stabilitu jednotlivých komplexov porovnávame pomocou stupňovitých konštant stálosti K_1 až K_n .

Vznik jednojadrových komplexov $[\text{ML}_i]^{m+iq}$ môžeme zapísať aj pomocou nasledujúcej sústavy chemických rovníc



Pre rovnováhy chemických reakcií (10.4) možno zapísať rovnovážne konštanty β_i :

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= \frac{[[\text{ML}]^{m+q}]}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]} = K_1 \\
 \beta_2 &= \frac{[[\text{ML}_2]^{m+2q}]}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]^2} \\
 \beta_3 &= \frac{[[\text{ML}_3]^{m+3q}]}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]^3} \\
 &\dots \\
 \beta_n &= \frac{[[\text{ML}_n]^{m+nq}]}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]^n} \quad (10.5)
 \end{aligned}$$

Konštanty β_1 až β_n sú **celkové konštanty stálosti (stability, tvorby)** komplexov $[\text{ML}]$ až $[\text{ML}_n]$. Stabilitu komplexov určitého centrálného atómu M s rôznymi ligandmi alebo komplexov určitého ligandu L s rozličnými centrálnymi atómami porovnávame pomocou celkových konštant stálosti β_1 až β_n .

Poznámka: Vonkajšie hranaté zátvorky vo vzťahoch (10.3) a (10.5) označujú rovnovážne relatívne koncentrácie komplexných častíc $[\text{ML}_i]^{m+iq}$.

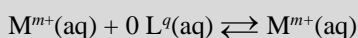
Ak vydelíme dve po sebe nasledujúce celkové konštanty stálosti β_i a β_{i-1} , dostaneme

$$\frac{\beta_i}{\beta_{i-1}} = \frac{\frac{[\text{ML}_i]^{m+iq}}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]^i}}{\frac{[\text{ML}_{i-1}]^{m+(i-1)q}}{[\text{M}^{m+}][\text{L}^q]^{i-1}}} = \frac{[\text{ML}_i]^{m+iq}}{[\text{ML}_{i-1}]^{m+(i-1)q}[\text{L}^q]} = K_i$$

teda

$$\beta_i = \beta_{i-1} K_i \quad (10.6)$$

Poznámka: Konštanty K_0 a β_0 prislúchajúce fiktívnej chemickej reakcii



sú podľa všeobecnej definície rovnovážnej konštanty jednotkové.

Vzájomné súvislosti medzi celkovými konštantami stálosti β_i a stupňovitými konštantami stálosti K_i môžeme teda vyjadriť nasledujúcimi vzťahmi

$$\begin{aligned} \beta_1 &= K_1 & \beta_2 &= K_1 K_2 & \beta_3 &= K_1 K_2 K_3 & \dots & \beta_n &= K_1 K_2 \dots K_n \\ \log \beta_1 &= \log K_1 & \log \beta_2 &= \log K_1 + \log K_2 & \log \beta_3 &= \log K_1 + \log K_2 + \log K_3 & \dots & & \\ & & \dots & \log \beta_n &= \log K_1 + \log K_2 + \dots + \log K_n & & & & \end{aligned} \quad (10.7)$$

Celková konštantá stálosti β_i je daná súčinom stupňovitých konštant stálosti K_1 až K_i , pretože každá rovnica celkovej tvorby komplexu (10.4) je súčtom príslušného počtu rovníc stupňovitej tvorby komplexov (10.2).

Prevrátené hodnoty konštant stálosti vyjadrujú rovnovážny stav chemických reakcií (10.2) a (10.4), ak tieto prebiehajú opačným smerom, čiže sprava doľava. Keďže ide vlastne o rozklad komplexov, rovnovážne konštanty β'_i sa nazývajú **konštanty nestálosti (nestability)** komplexov.

$$\beta'_i = \frac{1}{\beta_i} \quad (10.8)$$

Konštanty stálosti K_i a β_i v chémii koordinačných zlúčenín patria medzi základné charakteristické veličiny. Hodnoty konštant stálosti sú tabelované, väčšinou ako dekadické logaritmy celkových konštant stálosti $\log \beta_i$. Medzi konštantami stálosti a ich dekadickými logaritmi platí vzťah

$$K_i = 10^{\log K_i} \quad \text{alebo} \quad \beta_i = 10^{\log \beta_i} \quad (10.9)$$

Poznámka: Funkcia $y = \log x$ je monotónne rastúca na celom definičnom obore, tj. ak $x_1 < x_2$, tak $y_1 < y_2$. To znamená, že pre kvalitatívne porovnanie stability komplexov stačí porovnať logaritmy ich konštant stability.

10.1.1 Riešené príklady

10.1.1 Po pridaní vodného roztoku amoniaku do vodného roztoku chloridu nikelnatého vznikajú amminnikelnaté komplexy $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ ($i = 1$ až 6), ktoré sa nachádzajú v roztoku vo vzájomnej rovnováhe. Na základe hodnôt stupňovitých konštant stálosti zoradíte jednotlivé komplexy $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ podľa klesajúcej stability.

Stupňovité konštanty stálosti komplexných kationov sú

$$\begin{array}{ll} \log K_1([\text{Ni}(\text{NH}_3)]^{2+}) = 2,72 & \log K_2([\text{Ni}(\text{NH}_3)_2]^{2+}) = 2,17 \\ \log K_3([\text{Ni}(\text{NH}_3)_3]^{2+}) = 1,66 & \log K_4([\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 1,12 \\ \log K_5([\text{Ni}(\text{NH}_3)_5]^{2+}) = 0,67 & \log K_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = -0,03 \end{array}$$

Riešenie:

Keďže ide o komplexy s rovnakými centrálnymi atómami aj ligandmi, musíme porovnávať stupňovité konštanty stálosti. Najstálejší je ten komplex, ktorý má najväčšiu hodnotu stupňovitej konštanty stálosti; najnestálejší komplex má najmenšiu hodnotu stupňovitej konštanty stálosti. Z porovnania logaritmov stupňovitých konštant stálosti amminnikelnatých komplexov vyplýva, že stálosť komplexov sa znižuje v poradí $[\text{Ni}(\text{NH}_3)]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

☑ Poradie znižujúcej sa stálosti komplexov je: $[\text{Ni}(\text{NH}_3)]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

10.1.2 Niektoré kationy kovov M^{2+} ($\text{M} = \text{Ni}, \text{Co}, \text{Cd}$) tvoria s amoniakom vo vodnom roztoku komplexné kationy $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$. Porovnajete stabilitu amminkomplexov $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ a zoradíte ich podľa zväčšujúcej sa stálosti.

Celkové konštanty stálosti β_6 komplexných kationov sú

$$\log \beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 8,31 \quad \log \beta_6([\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 4,39 \quad \log \beta_6([\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 5,14$$

Riešenie:

Stálosť komplexov $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ s rôznymi centrálnymi atómami (Ni^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+}) a rovnakými ligandmi (NH_3) posudzujeme na základe hodnôt celkových konštant stálosti β_6 . Najmenej stály je teda kobaltnatý komplex, lebo má najmenšiu hodnotu β_6 ; najstálejší je nikelnatý komplex s najväčšou hodnotou β_6 .

☑ Stálosť amminkomplexov $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ sa zväčšuje v poradí $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

10.1.3 Chemickou reakciou zinočnatých kationov s niektorými aniónovými ligandmi L^- ($\text{L}^- = \text{NCS}^-, \text{CN}^-, \text{OH}^-$) vznikajú vo vodnom roztoku komplexné anióny $[\text{ZnL}_4]^{2-}$.

a) Porovnajete stabilitu komplexov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$.

b) Vypočítajte, koľkokrát je najstabilnejší komplexný anión stálejší ako najmenej stály komplexný anión.

Celkové konštanty stálosti β_4 komplexných aniónov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$ sú

$$\log \beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}) = 1,60 \quad \log \beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}) = 19,62 \quad \log \beta_4([\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}) = 15,51$$

Riešenie:

a) Stálosť komplexov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$ s rovnakými centrálnymi atómami (Zn^{2+}) a rôznymi ligandmi (NCS^- , CN^- , OH^-) posudzujeme na základe hodnôt celkových konštant stálosti β_4 . Najmenej stály je teda kobaltnatý komplex, lebo má najmenšiu hodnotu β_4 ; najstálejší je nikelnatý komplex s najväčšou hodnotou β_4 . Najmenej stály je teda tiokyanatanový komplex a najstálejší je kyanidový komplex.

b) Kvantitatívne posúdime stabilitu komplexov ako pomer ich celkových konštant stálosti

$$x = \frac{\beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-})}{\beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-})} = \frac{10^{19,62}}{10^{1,60}} = 10^{18,02} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{18}}$$

alebo ako rozdiel logaritmov ich celkových konštant stálosti.

$$\log x = \log \beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}) - \log \beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}) = 19,62 - 1,60 = 18,02$$

$$x = 10^{18,02} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{18}}$$

Poznámka: Pri zaokrúhľovaní konečných výsledkov sme postupovali podľa pravidla 4 (kap. 1.2.3).

☑ a) Stabilita komplexných aniónov sa zväčšuje v poradí $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$.

b) Komplex $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ je $1,0 \cdot 10^{18}$ -krát stálejší ako komplex $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$.

10.1.4 Chemickou reakciou strieborných katiónov s tiosíranom sodným vznikajú vo vodnom roztoku tiosulfátostriebornové anióny $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_i]^{1-2i}$ ($i = 1$ až 3).

Celkové konštanty stability komplexných aniónov sú

$$\log \beta_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-) = 8,82 \quad \log \beta_2([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 13,67 \quad \log \beta_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}) = 14,20$$

a) Vypočítajte stupňovité konštanty stability uvedených komplexných aniónov.

b) Vypočítajte, koľkokrát je najstabilnejší komplexný anión stálejší ako najmenej stály komplexný anión.

Riešenie:

a) Pri výpočte stupňovitých konštant stability tiosulfátostriebornových aniónov vychádzame z logaritmického tvaru vzťahu (10.7).

$$\log K_1 = \log \beta_1 = 8,82 \quad \Rightarrow \quad K_1 = 10^{8,82} = \mathbf{6,6 \cdot 10^8}$$

$$\log K_2 = \log \beta_2 - \log \beta_1 = 13,67 - 8,82 = 4,85 \quad \Rightarrow \quad K_2 = 10^{4,85} = \mathbf{7,1 \cdot 10^4}$$

$$\log K_3 = \log \beta_3 - \log \beta_2 = 14,20 - 13,67 = 0,53 \quad \Rightarrow \quad K_3 = 10^{0,53} = \mathbf{3,4}$$

Stupňovité konštanty stability môžeme vypočítať aj iným spôsobom – zo zadaných logaritmov vypočítame najprv celkové konštanty stability podľa (10.9) a dosadíme ich do (10.6).

b) Na základe vypočítaných stupňovitých konštant stability je najstabilnejším aniónom $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ a najmenej stabilným je anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$. Kvantitatívne posúdime stabilitu týchto komplexov ako pomer ich stupňovitých konštant stálosti

$$x = \frac{K_1}{K_3} = \frac{6,61 \cdot 10^8}{3,39} = \mathbf{1,9 \cdot 10^8}$$

alebo ako rozdiel logaritmov ich stupňovitých konštant stálosti.

$$\log x = \log K_1 - \log K_3 = 8,82 - 0,53 = 8,29$$

$$x = 10^{8,29} = \mathbf{1,9 \cdot 10^8}$$

☑ a) Stupňovité konštanty stability K_i striebornanových aniónov sú

$$K_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-) = 6,6 \cdot 10^8, \quad K_2([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 7,1 \cdot 10^4, \quad K_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}) = 3,4.$$

b) Komplexný anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ je $1,9 \cdot 10^8$ -krát stálejší ako anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$.

10.1.5 Železnaté a nikelnaté katióny tvoria vo vodnom roztoku s pyridínom (py) komplexné katióny $[M(\text{py})_i]^{2+}$ ($M = \text{Fe}, \text{Ni}; i = 1, 2$). Stupňovité konštanty stálosti komplexných katiónov sú

$$\begin{aligned} \log K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) &= 0,6 & \log K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) &= 1,85 \\ \log K_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}) &= 0,3 & \log K_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}) &= 1,25 \end{aligned}$$

a) Pre uvedené komplexné katióny $[M(\text{py})_i]^{2+}$ vypočítajte celkové konštanty stability a ich logaritmy.

b) Porovnajete stabilitu železnatých a nikelnatých komplexov.

Riešenie:

a) Pri výpočte hodnôt celkových konštant stálosti β_i vychádzame z logaritmickej formy vzťahu (10.7) a vzťahu (10.9).

$$\log \beta_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) = \log K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) = \mathbf{0,6}$$

$$\beta_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) = 10^{0,6} = \mathbf{4}$$

$$\log \beta_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}) = \log K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) + \log K_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}) = 0,6 + 0,3 = \mathbf{0,9}$$

$$\beta_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}) = 10^{0,9} = \mathbf{8}$$

$$\log \beta_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) = \log K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) = \mathbf{1,85}$$

$$\beta_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) = 10^{1,85} = \mathbf{71}$$

$$\log \beta_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}) = \log K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) + \log K_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}) = 1,85 + 1,25 = \mathbf{3,10}$$

$$\beta_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}) = 10^{3,10} = \mathbf{1,3 \cdot 10^3}$$

b) Vypočítané hodnoty β_i ($i = 1, 2$), príp. $\log \beta_i$, pre železnaté komplexy sú menšie ako pre nikelnaté komplexy. Z toho vyplýva, že celková stálosť železnatých komplexov je menšia ako nikelnatých komplexov.

☑ a) Celkové konštanty stálosti β_i a ich logaritmy $\log \beta_i$ pre železnaté a nikelnaté komplexné katióny sú v nasledujúcej tabuľke.

Komplex	β_i	$\log \beta_i$
$[\text{Fe}(\text{py})]^{2+}$	4	0,6
$[\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}$	8	0,9
$[\text{Ni}(\text{py})]^{2+}$	71	1,85
$[\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}$	$1,3 \cdot 10^3$	3,10

b) Železnaté komplexné katióny sú menej stálo ako nikelnaté komplexné katióny.

10.1.6 Chemickou reakciou kademnatých katiónov s kyanidovými aniónmi vznikajú vo vodnom roztoku komplexné ióny $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ ($i = 1$ až 4). Stupňovité konštanty stálosti sú

$$\begin{aligned} \log K_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+}) &= 6,01 & \log K_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{-}) &= 4,53 \\ \log K_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]) &= 5,11 & \log K_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) &= 2,27 \end{aligned}$$

Vypočítajte celkové konštanty stálosti β_i a celkové konštanty nestálosti β'_i komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$.

Riešenie:

a) Pri výpočte hodnôt celkových konštánt stálosti β_i vychádzame z logaritmickéj formy vzťahu (10.7) a vzťahu (10.9).

$$\log \beta_1 = \log K_1 = 6,01$$

$$\beta_1 = 10^{6,01} = \mathbf{1,0 \cdot 10^6}$$

$$\log \beta_2 = \log K_1 + \log K_2 = 6,01 + 5,11 = 11,12$$

$$\beta_2 = 10^{11,12} = \mathbf{1,3 \cdot 10^{11}}$$

$$\log \beta_3 = \log K_1 + \log K_2 + \log K_3 = \log \beta_2 + \log K_3 = 11,12 + 4,53 = 15,65$$

$$\beta_3 = 10^{15,65} = \mathbf{4,5 \cdot 10^{15}}$$

$$\log \beta_4 = \log \beta_3 + \log K_4 = 15,65 + 2,27 = 17,92$$

$$\beta_4 = 10^{17,92} = \mathbf{8,3 \cdot 10^{17}}$$

Hodnoty celkových konštánt nestálosti β_i' komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ vypočítame podľa vzťahu (10.8).

$$\beta_1' = 1 / \beta_1 = 10^{-6,01} = \mathbf{9,8 \cdot 10^{-7}}$$

$$\beta_2' = 1 / \beta_2 = 10^{-11,12} = \mathbf{7,6 \cdot 10^{-12}}$$

$$\beta_3' = 1 / \beta_3 = 10^{-15,65} = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-16}}$$

$$\beta_4' = 1 / \beta_4 = 10^{-17,92} = \mathbf{1,2 \cdot 10^{-19}}$$

☑ Celkové konštanty stálosti β_i a celkové konštanty nestálosti β_i' pre kadmnaté komplexy $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ ($i = 1$ až 4) sú v nasledujúcej tabuľke.

Komplex	β_i	β_i'
$[\text{Cd}(\text{CN})]^+$	$1,0 \cdot 10^6$	$9,8 \cdot 10^{-7}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_2]$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$7,6 \cdot 10^{-12}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_3]^-$	$4,5 \cdot 10^{15}$	$2,2 \cdot 10^{-16}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	$8,3 \cdot 10^{17}$	$1,2 \cdot 10^{-18}$

10.2 Úlohy

10.2.1 Po zmiešaní vodných roztokov chloridu kadmnatého a amoniaku sa vo výslednom roztoku tvoria komplexné katióny $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ ($i = 1$ až 6), ktoré sa nachádzajú vo vzájomnej rovnováhe. Celkové konštanty stability komplexných katiónov sú

$$\log \beta_1([\text{Cd}(\text{NH}_3)]^{2+}) = 2,55$$

$$\log \beta_4([\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 6,74$$

$$\log \beta_2([\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+}) = 4,56$$

$$\log \beta_5([\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}) = 7,02$$

$$\log \beta_3([\text{Cd}(\text{NH}_3)_3]^{2+}) = 5,90$$

$$\log \beta_6([\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 5,41$$

a) Vypočítajte stupňovité konštanty stability komplexných katiónov $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ ($i = 1$ až 6) a zorad'te komplexné katióny podľa zväčšujúcej sa stálosti.

b) Vypočítajte, koľkokrát je stálejší katión $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ ako katión $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

[a] $K_1([\text{Cd}(\text{NH}_3)]^{2+}) = 3,5 \cdot 10^2$, $K_2([\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+}) = 1,0 \cdot 10^2$, $K_3([\text{Cd}(\text{NH}_3)_3]^{2+}) = 2,2 \cdot 10^1$, $K_4([\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}) = 6,9$, $K_5([\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}) = 1,9$, $K_6([\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 2,5 \cdot 10^{-2}$. Stálosť

komplexných kationov sa zväčšuje v poradí $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)]^{2+}$; b) Kation $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ je 78-krát stálejší ako kation $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

10.2.2 Chemickou reakciou meďných kationov s tiosíranom sodným vznikajú vo vodnom roztoku tiosulfátomeďnanové anióny, ktoré sú vo vzájomnej rovnováhe. Stupňovité konštanty stability K_i komplexných aniónov sú

$$\log K_1([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-) = 10,35 \quad \log K_2([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 1,92 \quad \log K_3([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}) = 1,44$$

a) Zoradte komplexné anióny podľa klesajúcej stálosti.

b) Vypočítajte celkové konštanty stability uvedených komplexných aniónov.

[a) Stálosť komplexných aniónov sa zmenšuje v poradí $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$, $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$, $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$;

b) $\beta_1([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-) = 2,2 \cdot 10^{10}$; $\beta_2([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 1,9 \cdot 10^{12}$; $\beta_3([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}) = 5,1 \cdot 10^{13}$

10.2.3 Niektoré kationy kovov M^{2+} ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Mn}$) tvoria s 2,2'-bipyridínom komplexné kationy $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$. Stupňovité konštanty stability komplexných kationov sú

$$\log K_1([\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 4,36 \quad \log K_2([\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 3,54$$

$$\log K_1([\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 5,80 \quad \log K_2([\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 5,44$$

$$\log K_1([\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 2,62 \quad \log K_2([\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 2,00$$

a) Vypočítajte celkové konštanty stability β_2 komplexných kationov $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Mn}$).

b) Vypočítajte, koľkokrát je stálejší kation $[\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ako kation $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Mn}$).

[a) $\beta_2([\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 7,9 \cdot 10^7$, $\beta_2([\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 1,7 \cdot 10^{11}$, $\beta_2([\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 4,2 \cdot 10^4$;

b) Kation $[\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}$ je $2,2 \cdot 10^3$ -krát stálejší ako $[\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}$ a $4,2 \cdot 10^6$ -krát stálejší ako kation $[\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}$.

10.2.4 Chemickou reakciou ortuťnatých kationov s kyanidmi a tiokyanatanmi vznikajú vo vodnom roztoku komplexy $[\text{HgL}_i]^{2-i}$ ($\text{L}^- = \text{NCS}^-, \text{CN}^-$; $i = 1$ až 4), ktoré sú vo vzájomnej rovnováhe. Stupňovité konštanty stálosti K_i jednotlivých komplexov sú

$$\log K_1([\text{Hg}(\text{CN})]^+) = 17,00 \quad \log K_1([\text{Hg}(\text{NCS})]^+) = 9,08$$

$$\log K_2([\text{Hg}(\text{CN})_2]) = 15,75 \quad \log K_2([\text{Hg}(\text{NCS})_2]) = 8,18$$

$$\log K_3([\text{Hg}(\text{CN})_3]^-) = 3,56 \quad \log K_3([\text{Hg}(\text{NCS})_3]^-) = 2,01$$

$$\log K_4([\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}) = 2,66 \quad \log K_4([\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}) = 2,53$$

a) Zoradte tiokyanátoortuťnaté komplexy $[\text{Hg}(\text{NCS})_i]^{2-i}$ podľa zväčšujúcej sa stability.

b) Zoradte kyanoortuťnaté komplexy $[\text{Hg}(\text{CN})_i]^{2-i}$ podľa zväčšujúcej sa stability.

c) Vypočítajte celkové konštanty stálosti β_4 komplexných aniónov $[\text{HgL}_4]^{2-}$.

d) Porovnajte stabilitu komplexných aniónov $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ a $[\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}$.

[a) $[\text{Hg}(\text{NCS})_3]^-$, $[\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}$, $[\text{Hg}(\text{NCS})_2]$, $[\text{Hg}(\text{NCS})]^+$;

b) $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$, $[\text{Hg}(\text{CN})_3]^-$, $[\text{Hg}(\text{CN})_2]$, $[\text{Hg}(\text{CN})]^+$;

c) $\beta_4([\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}) = 9,3 \cdot 10^{38}$, $\beta_4([\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}) = 6,3 \cdot 10^{21}$;

d) Anión $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ je $1,5 \cdot 10^{17}$ -krát stálejší ako anión $[\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}$.

10.2.5 Kationy kovov M^{2+} ($\text{M} = \text{Cd}, \text{Hg}$) tvoria s jodidovými aniónmi komplexné ióny $[\text{MI}_i]^{2-i}$ ($i = 1$ až 4). Celkové konštanty stálosti komplexných kationov sú

$$\log \beta_1([\text{CdI}]^+) = 2,28 \quad \log \beta_1([\text{HgI}]^+) = 12,87$$

$$\log \beta_2([\text{CdI}_2]) = 3,92 \quad \log \beta_2([\text{HgI}_2]) = 23,82$$

$$\log \beta_3([\text{CdI}_3]^-) = 5,04 \quad \log \beta_3([\text{HgI}_3]^-) = 27,60$$

$$\log \beta_4([\text{CdI}_4]^{2-}) = 6,03 \quad \log \beta_4([\text{HgI}_4]^{2-}) = 29,83$$

a) Porovnajte navzájom celkovú stabilitu kadmátých a ortuťnatých komplexov.

- b) Určite, ktorý anión $[MI_4]^{2-}$ ($M = Cd, Hg$) je stálejší a vypočítajte, koľkokrát je stálejší ako menej stály anión.
- c) Vypočítajte celkové konštanty nestálosti β_4' komplexných aniónov $[MI_4]^{2-}$.
- d) Vypočítajte stupňovité konštanty stálosti K_4 komplexných aniónov $[MI_4]^{2-}$.
- [a] Kademnaté komplexy sú menej stále ako ortuťnaté komplexy;
 b) Anión $[HgI_4]^{2-}$ je $6,3 \cdot 10^{23}$ -krát stálejší ako anión $[CdI_4]^{2-}$;
 c) $\beta_4'([CdI_4]^{2-}) = 9,3 \cdot 10^{-7}$, $\beta_4'([HgI_4]^{2-}) = 1,5 \cdot 10^{-30}$; d) $K_4([CdI_4]^{2-}) = 9,8$; $K_4([HgI_4]^{2-}) = 1,7 \cdot 10^2$

10.2.6 Niektoré katióny kovov M^{3+} ($M = Al, Ga, In$) vo vodnom roztoku reagujú s hydroxidmi alkalických kovov za vzniku hydroxidokomplexov. Celkové konštanty nestálosti β_4' komplexov $[M(OH)_4]^-$ sú

$$\beta_4'([Al(OH)_4]^-) = 1,0 \cdot 10^{-33} \quad \beta_4'([Ga(OH)_4]^-) = 4,0 \cdot 10^{-40} \quad \beta_4'([In(OH)_4]^-) = 1,3 \cdot 10^{-34}$$

- a) Vypočítajte celkové konštanty stálosti β_4 komplexných aniónov $[M(OH)_4]^-$.
- b) Porovnajte navzájom stabilitu komplexných aniónov $[M(OH)_4]^-$.
- [a] $\beta_4([Al(OH)_4]^-) = 1,0 \cdot 10^{33}$, $\beta_4([Ga(OH)_4]^-) = 2,5 \cdot 10^{39}$, $\beta_4([In(OH)_4]^-) = 7,7 \cdot 10^{33}$;
 b) Stálosť komplexných aniónov sa znižuje v poradí $[Ga(OH)_4]^-$, $[In(OH)_4]^-$, $[Al(OH)_4]^-$.

Zoznam použitej literatúry

- Hájek B., Jenšovský L., Klimešová V.: *Příklady z obecní a anorganické chemie*, SNTL, Praha 1967.
- Langfelderová H., Kotočová A., Klas J., Kordík D., Sirota A., Valigura D.: *Anorganická chemia. Příklady a úlohy v anorganické chemii*, Alfa, Bratislava 1990.
- Gažo J., Horváth E., Kohout J., Serátor M., Šramko T., Toušková A., Valtr Z.: *Anorganická chemia. Laboratorne cvičenia a výpočty*, Alfa, Bratislava 1977.
- Kohout J., Melník M.: *Anorganická chemia. Základy anorganické chemie*, STU, Bratislava 1997.
- Gillespie R. J., Humphreys D. A., Baird N. C., Robinson E. A.: *Chemistry*, Prentice Hall, New Jersey 1988.
- Ulická E., Ulický L.: *Příklady zo všeobecnej a anorganickej chémie*, Alfa, Bratislava 1987.
- Chang R.: *Chemistry*, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- Valigura D. a kol.: *Chemické tabuľky*, STU, Bratislava 1997.
- Lide D. R.: *CRC Handbook of chemistry and physics, 78th Edition*, CRC Press, Inc., Boca Raton, New York 1997 – 1998.
- STN ISO 31-0 (01 1301): *Veličiny a jednotky, 0. časť: Všeobecné zásady*, 1997.
- STN ISO 31-8 (01 1301): *Veličiny a jednotky, 8. časť: Fyzikálna chémia a molekulová fyzika*, 1997.

Obsah

1 ÚVOD	3
1.1 Sústava SI, niektoré veličiny potrebné v chémii.....	3
1.2 Presnosť meraní a platné číslice	4
1.2.1 Zapisovanie čísel.....	5
1.2.2 Zaokrúhľovanie čísel.....	5
1.2.3 Platné číslice vo výpočtoch	6
1.2.4 Riešené príklady.....	7
1.3 Úlohy.....	9
2 MNOŽSTVO CHEMICKÝCH LÁTKO	10
2.1 Veličiny vyjadrujúce množstvo látky	10
2.2 Prepočty medzi veličinami vyjadrujúcimi množstvo látky	10
2.2.1 Riešené príklady.....	13
2.3 Úlohy.....	17
3 VYJADRENIE ZLOŽENIA SÚSTAV	20
3.1 Vyjadrenie zloženia sústav pomocou pomerného zastúpenia zložiek.....	20
3.1.2 Hmotnostný zlomok.....	21
3.1.3 Objemový zlomok.....	21
3.1.1 Mólový zlomok.....	21
3.1.4 Hustota roztokov	22
3.1.5 Priemerná mólová hmotnosť.....	22
3.1.6 Riešené príklady.....	22
3.2 Vyjadrenie zloženia sústav pomocou koncentrácií	26
3.2.1 Koncentrácia látkového množstva.....	26
3.2.2 Hmotnostná koncentrácia	27
3.2.3 Riešené príklady.....	27
3.3 Vyjadrenia zloženia sústav iným spôsobom	28
3.3.1 Molalita.....	28
3.3.2 Riešené príklady.....	29
3.4 Lineárna interpolácia	30
3.4.1 Riešené príklady.....	30
3.5 Prepočty veličín vyjadrujúcich zloženie zmesi	31
3.5.1 Riešené príklady.....	33
3.6 Stechiometrický vzorec.....	35
Výpočet stechiometrického vzorca z obsahu jednotlivých zložiek	35
Výpočet obsahu jednotlivých zložiek z chemického vzorca	36
3.6.1 Riešené príklady.....	36
3.7 Úlohy.....	38
4 LÁTKOVÉ BILANCIE BEZ CHEMICKÉHO DEJA	43
4.1 Príprava roztokov	46
4.1.1 Riešené príklady.....	47
4.2 Kryštalizácia látok z roztokov	58
4.2.1 Riešené príklady.....	58
4.3 Kombinované látkové bilancie.....	69
4.3.1 Riešené príklady.....	69
4.4 Úlohy.....	75

5 CHEMICKÉ ROVNICE.....	80
5.1 Acidobázické reakcie.....	82
5.1.1 Riešené príklady.....	82
5.2 Vylučovacie reakcie.....	83
5.2.1 Riešené príklady.....	84
5.3 Redoxné reakcie.....	85
5.3.1 Pravidlá pre určovanie oxidačných čísel.....	86
5.3.2 Riešené príklady.....	86
5.3.3 Bilancovanie redoxných rovníc	87
5.3.4 Riešené príklady.....	88
5.4 Úlohy.....	96
6 LÁTKOVÉ BILANCIE S CHEMICKÝM DEJOM	105
6.1 Rozsah reakcie.....	105
6.1.1 Riešené príklady.....	106
6.2 Stechiometrické výpočty pre čisté látky	107
6.2.1 Riešené príklady.....	107
6.3 Stechiometrické výpočty pre systavy látok	109
6.3.1 Riešené príklady.....	109
6.4 Nestechiometrické množstvá reagujúcich látok.....	113
6.4.1 Riešené príklady.....	113
6.5 Stechiometrické výpočty pre nadväzujúce chemické reakcie.....	116
6.5.1 Riešené príklady.....	117
6.6 Stechiometrické výpočty spojené s fyzikálnymi dejmi	120
6.6.1 Riešené príklady.....	120
6.7 Úlohy.....	128
7 CHEMICKÁ ROVNOVÁHA.....	139
7.1 Rovnovážna konštanta a zloženie rovnovážnych sústav	139
7.1.1 Riešené príklady.....	141
7.2 Úlohy.....	144
8 PROTOLYTICKÉ ROVNOVÁHY	146
8.1 Autoprotolýza a iónový súčin látky.....	146
8.1.1 Riešené príklady.....	147
8.2 Silné kyseliny a silné zásady	148
8.2.1 Riešené príklady.....	149
8.3 Slabé kyseliny a slabé zásady.....	150
8.3.1 Riešené príklady.....	154
8.4 Hydrolýza solí	156
8.4.1 Riešené príklady.....	158
Zhrnutie	160
8.5 Úlohy.....	162
9 ROVNOVÁHY MÁLO ROZPUSTNÝCH ELEKTROLYTOV	167
9.1 Nábojová bilancia v roztokoch elektrolytov.....	168
9.1.1 Riešené príklady.....	168
9.2 Súčin rozpustnosti a rozpustnosť.....	169
9.2.1 Riešené príklady.....	169
9.3 Rozpustnosť v roztoku so spoločným iónom.....	172
9.3.1 Riešené príklady.....	173
Zhrnutie	174
9.4 Úlohy.....	175

10 KOMPLEXOTVORNÉ ROVNOVÁHY	179
10.1 Stupňovité a celkové konštanty tvorby komplexov	179
10.1.1 <i>Riešené príklady</i>	182
10.2 Úlohy	185
Zoznam použitej literatúry	188