

Výpočty v anorganickej chémii

Anna Mašlejová
Adela Kotočová
Iveta Ondrejkočová
Blažena Papánková
Dušan Valigura



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ
UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA CHEMICKEJ
A POTRAVINÁRSKEJ TECHNOLOGIE

Výpočty v anorganickej chémii

Anna Mašlejová
Adela Kotočová
Iveta Ondrejkočiová
Blažena Papánková
Dušan Valigura

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, CSc.,
doc. Ing. Iveta Ondrejkočová, PhD., doc. Ing. Blažena Papánková, PhD.,
doc. Ing. Dušan Valigura, PhD.

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

Schválilo Vedenie Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave.

ISBN 978-80-227-4766-0

O

Predhovor

Súčasťou výučby v 1. ročníku na Chemickotechnologickej fakulte STU je anorganická chémia, ktorá sa vyučuje formou prednášok, seminárov a laboratórneho cvičenia. Úlohou seminárov a laboratórnych cvičení je ozrejmiť preberané učivo na konkrétnych príkladoch. Neoddeliteľnou súčasťou týchto foriem výučby sú aj základné chemické výpočty nutné pre kvantitatívne pochopenie základov chemických dejov. Zaradenie výpočtov do jednotlivých foriem výučby prešlo v ostatnom období výraznou reštrukturalizáciou a tiež sa významne zmenil časový priestor vyhradený pre výpočty. Toto bolo jednou z príčin, ktoré viedli k potrebe pripraviť nové skriptá pokrývajúce výpočty pre oba predmety – Anorganická chémia I a Anorganická chémia II.






Tieto skriptá majú dvojitú úlohu – pedagogickú a praktickú. Autori chcú poskytnúť študentom v pedagogickej rovine podrobnejší návod k základom chemických výpočtov a tiež im chcú v praktickej rovine ponúknuť dostatok materiálu k samostatnému precvičovaniu príkladov. Opakovaním výpočtov určitého typu sa upevňujú potrebné myšlienkové postupy, na základe ktorých je možné riešiť aj ďalšie úlohy a súčasne sa tým upevňuje znalosť niektorých teoretických základov anorganickej chémie a na ňu nadväzujúcich disciplín.

Skriptá obsahujú bežné výpočtové úlohy, ktoré sú potrebné v rôznom rozsahu pri štúdiu chémie. Základný cieľ týchto skript je v tom, že chemické výpočty, ktorými sa zaoberáme, pomáhajú zvládnuť a správne pochopiť základné chemické zákony a vzťahy, čo umožňuje ich aplikáciu pri riešení bežných laboratórnych, ale aj prevádzkových chemických problémov.

Náplň tejto učebnej pomôcky zhruba odpovedá osnovám seminárov a laboratórneho cvičenia z anorganickej chémie pre základné štúdium na vysokých školách chemicko-technologických a umožňuje študentom zvládnuť každý zadaný experiment z hľadiska potrebných výpočtov. Zvládnutie učebnej látky umožní študentovi riešenie nových, v skriptách nezahrnutých typov úloh, ktoré možno vypočítať na základe princípov a vzťahov vysvetlených v jednotlivých kapitolách.

V úvodnej prvej kapitole skript sú uvedené najnutnejšie základy potrebné pre uľahčenie zvládnutia výpočtov – základy korektného spracovania číselných údajov (platné číslice, zaokrúhľovanie a pod.), tabuľky jednotiek sústavy SI, bežne používaných v anorganickej chémii, tabuľky najnutnejších hodnôt konštánt a iných údajov potrebných k výpočtom. Druhá kapitola sa venuje vyjadrovaniu množstva čistých látok a tretia kapitola na ňu nadväzuje tým, že sa venuje vyjadrovaniu zloženia sústav látok. V štvrtej kapitole sa preberajú základné bilančné výpočty zamerané na sústavy, v ktorých neprebiehajú chemické deje. V piatej kapitole sa venuje pozornosť chemickej reakcii z jej kvalitatívnej stránky, t. j. venuje sa pozornosť tvorbe zápisu chemických dejov – chemickej rovnici, doplňovanie predpokladaných reaktantov, príp. produktov a určovaniu stechiometrických koeficientov. Nadväzujúca šiesta kapitola zameraná na stechiometrické výpočty a venuje sa kvantitatívnej stránke chemického deja – rozsahu reakcie v rôznych sústavách. Siedma kapitola predstavuje spoločný úvod do bloku výpočtov venovaných rovnováham. Nasledu-

júca ôsma kapitola sa venuje protolytickým rovnováham, deviatá kapitola rovnováham v prítomnosti málo rozpustných látok a nakoniec desiatá kapitola sa orientuje na základy komplexotvorných rovnováh.

V jednotlivých kapitolách sa vždy dodržiava postupnosť, že v úvode sú vysvetlené najdôležitejšie pojmy a vzťahy potrebné k výpočtu príkladov, potom nasledujú príklady s úplným riešením a záver každej kapitoly tvoria úlohy na samostatné riešenie a pre kontrolu samostatnej práce sú pri každej úlohe uvedené výsledky. Pre zlepšenie orientácie je podkapitola riešených príkladov určených na preštudovanie pri nadpise označená znakom otvorenej knihy . Vlastné riešenie sa od zadania odlišuje tým, že je uvedené kurzívou a na jeho začiatku je symbol . Aby sa medzivýsledky odlišili od konečných výsledkov je pri výsledku uvedený znak . Odpoveď zahrňujúca všetky výsledky je označená znakom . Súbor úloh na samostatné riešenie je vedľa nadpisu označený znakom .

Príručku spracoval autorský kolektív takto: A. Mašlejová (kap. 3, 8 a 9), A. Kotočová (kap. 6), I. Ondrejkočová (kap. 2 a 10), B. Papánková (kap. 1 a 5) a D. Valigura (kap. 4 a 7).

Autori ďakujú Ing. V. Joríkovi, CSc., Ing. D. Miklošovi, CSc. a Ing. P. Segľovi, CSc., spolupracovníkom z Katedry anorganickej chémie CHTF STU, za cenné pripomienky k rukopisu práce.

Ďalej autori ďakujú doc. Ing. J. Antalíkovi, CSc. a doc. Ing. A. Gatialovi, CSc. z Katedry fyzikálnej chémie CHTF STU a RNDr. P. Tarapčíkovi, CSc. z Katedry analytickej chémie CHTF STU za pripomienky ku kapitolám pojednávajúcim o chemických rovnováhach.

Uvedomujeme si, že každá vecná pripomienka môže pomôcť pri zlepšovaní úrovne tejto pomôcky a preto budeme povďační všetkým, ktorí si dajú tú námahu a oznámia nám svoje pripomienky, návrhy a pod.

Bratislava, august 1999

Autori

Predhovor k tretiemu vydaniu

Skriptá patria medzi primárne učebné texty určené študentom Fakulty chemickej a potravinárskej technológie STU. Základné chemické výpočty sú neoddeliteľnou súčasťou pre kvantitatívne pochopenie základov chemických dejov. Prvé vydanie skript „*Výpočty v anorganickej chémii*“ vyšlo v roku 1999. Odvtedy je o ne stále záujem a vypredali sa obidve predchádzajúce vydania. Budeme radi, ak aj toto tretie pomôže pri vzdelávaní vysokoškolsky vzdelaných chemikov.

Autori privítajú všetky vecné pripomienky a námety smerujúce k odstráneniu nedostatkov, ktorým sa žiadna publikácia tohto druhu nevyhne, s cieľom dosiahnuť jej ďalšie odborné i didaktické zlepšenie.

Bratislava, február 2018

Autori

1

1.1 Sústava SI, niektoré veličiny potrebné v chémii

Fyzikálna veličina vyjadruje opis nejakého javu, stavu látky alebo telesa, t.j. vyjadruje vlastnosti hmotných objektov a to súčasne zo stránky kvantitatívnej a kvalitatívnej. Fyzikálna veličina je súčinom číselnej hodnoty a jednotky. U nás platí medzinárodná sústava jednotiek SI (*Système International d'Unités*). Jednotky SI sústavy sú rozdelené do štyroch kategórií:

- základné jednotky SI, t.j. 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 | mol | mol |
| Svietivosť | I_v | kandela | cd |

Tabuľka 1.2 Odvodené jednotky SI

| Názov jednotky | Symbol jednotky | Rozmer | Veličina (symbol veličiny) |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Štvorcový meter | m^2 | m^2 | plocha (S) |
| Kubický meter | m^3 | m^3 | objem (V) |
| Kilogram na kubický meter | $kg\ m^{-3}$ | $kg\ m^{-3}$ | hustota (ρ) |
| Newton | N | $m\ kg\ s^{-2}$ | sila (F) |
| Pascal | Pa | $m^{-1}\ kg\ s^{-2} = N\ m^{-2}$ | tlak (p) |
| Joule | J | $m^2\ kg\ s^{-2}$ | energia (E) |
| Coulomb | C | A s | elektrický náboj (Q) |
| Volt | V | $m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2} = J\ C^{-1}$ | elektrické napätie (U) |

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 | 6,0221367(36) . 10 ²³ mol ⁻¹ |
| Elementárny náboj | e | 1,60217733 (49) . 10 ⁻¹⁹ C |
| Faradayova konštantá | F | 9,6485309(29) . 10 ⁴ C mol ⁻¹ |
| Molová plynová konštantá | R | 8,314510(70) J K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| Molový objem ideálneho plynu T = 273,15 K, p = 101 325 Pa | V_{mn} | 2,241410(19) . 10 ⁻² m ³ mol ⁻¹ |
| Nula Celziovej stupnice | t | 0 °C = 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, t.j. 0,1 g alebo na analytických váhach s presnosťou na desatinu miligramu, t.j. 0,0001 g, prípadne 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 cm³, 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 $E = m \cdot c^2$) 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 čísiel

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

1. Platné číslice daného čísla sú všetky číslice od prvej zľava, ktorá nie je nulová 1, 2, 3,9, po poslednú zapísanú číslicu napravo. Pritom sa nepočítajú nuly plynúce z činiteľa 10^n .
2. Nula medzi dvomi číslicami, ako aj nula na konci čísla je platnou číslicou. *Napríklad: 9,00 cm; 9,10 cm; 90,0 cm - všetky tieto čísla majú 3 platné číslice.*
3. Nula naľavo od prvej nenulovej číslice nie je platnou číslicou, určuje len, na ktorom desatinnom mieste sa prvá nenulová číslica nachádza. *Napríklad: 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, napríklad 1 kWh = 3 600 000 J (presne), alebo 3 600 000 J.

Väčšina fyzikálno-chemických konštánt sa považuje za presné čísla, ako napríklad molová plynová konštanta $R = 8,314510(70) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ alebo teplota odpovedajúca v Celziovej stupnici 0°C je $T_0 = 273,15 \text{ K}$ presne. To isté platí, ak je v zadaní výpočtu udané napr. koncentrácia látkového množstva $c(A)$ je $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ 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. Napríklad, ak číslo 785 000 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 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: jeden atóm zlata má hmotnosť $3,271 \cdot 10^{-22} \text{ g}$.

1.2.2 Zaokrúhľovanie čísiel

Zaokrúhľovanie čísiel 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:

1. V prípade, že prvá z vypúšťaných číslic (počítané zľava doprava) je menšia než 5, posledná ponechaná číslica sa nemení - zaokrúhľovanie smerom nadol. *Príklad: Zaokrúhlenie čísla 1,2143 na tri platné číslice je 1,21*
2. V prípade, ak je prvá z vypúšťaných číslic rovná 5 alebo väčšia ako 5, posledná ponechaná číslica sa zväčší o jednu - zaokrúhľovanie smerom nahor. *Príklady: Zaokrúhlením čísla 9,145 na dve 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).

Príklad: Zaokrúhlením čísla 875,46 na tri platné číslice vznikne číslo 875. Postupným zaokrúhľovaním by vzniklo: po prvom zaokrúhlení 875,5 a po druhom 876 (chybné!)

1.2.3 Platné číslice vo výpočtoch

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

- a) *Pri sčítaní a odčítaní jednotlivých čísiel výsledok sa udáva s takým počtom desiatinných miest, aký má najmenej presné číslo.*
- b) *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.
Príklad: 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.
- c) *Pri operáciach umocňovania a odmocňovania približných čísiel výsledok sa udá na rovnaký počet platných číslic, ako mal základ.*
- d) *Pri logaritmovaní sa výsledok určí na rovnaký počet desiatinných miest, aký je počet platných číslic logaritmovaného čísla (t.j počet platných číslic mantisy logaritmu a logaritmovaného čísla je rovnaký). To isté platí aj pri antilogaritmovaní - výsledok má rovnaký počet platných číslic, ako mantisa logaritmu (t.j. rovný počet desiatinných miest logaritmu).*
- e) *Vo výpočtoch pH sa zaviedla konvencia, že pH má zmysel udávať na dve desiatinné miesta, vyplýva to z experimentálnych možností merania pH.*
- f) *Pri všetkých čiastočných výsledkoch nechávame o jednu platnú číslicu navyše, ako sa požaduje podľa predchádzajúcich pravidiel; v konečnom výsledku však už túto nadbytočnú číslicu vynecháme (so zaokrúhlením predchádzajúcej číslice). Ak pri výpočte používame kalkulačku, ktorá operuje s väčším počtom desiatinných miest a nezapisujeme dielčie výsledky, urobíme všetky matematické výpočty s nezaokrúhlenými číslami a zaokrúhlime až konečný výsledok, tak ako je uvedené vyššie.*
- g) *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

1.2.1 Uskutočnite nasledujúce matematické operácie a získaný výsledok zaokrúhlite na správny počet platných číslíc.

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

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

Nakoľko 179,8 g je údaj, ktorý má najmenší počet desatinných miest, správne vyjadrený výsledok je po zaokrúhlení na jedno desatinné miesto: 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 tvare $H \cdot 10^n$
 $8,76 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 2,4528 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$

Konečný údaj podľa najmenej presného čísla $2,8 \cdot 10^{-3}$ bude udaný na dve platné číslice, po zaokrúhlení je to hodnota $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$. ✓

- c) $9,34 : 145,07 = 0,0643827$

najmenší počet platných číslíc je tri, výsledok = $6,44 \cdot 10^{-2}$. ✓

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

po zaokrúhlení na tri platné číslice ako má základ $7,40 \cdot 10^{-6}$. ✓

- e) $\log 3,42 \cdot 10^3 = 3,5340261$ (údaj z kalkulačky) = **3,534** počet platných číslíc mantisy je 3. ✓

Pretože číslo, ktoré logaritmujeme má 3 platné číslice, musí byť výsledok podľa pravidla (1.2.3 d) zaokrúhlený na tri desatinné miesta.

- f) $10^{-4,295} = 5,0699 \cdot 10^{-5}$ (údaj z kalkulačky) po zaokrúhlení na 3 platné číslice (pravidlo 1.2.3 d) bude výsledok $5,07 \cdot 10^{-5}$. ✓

- g) $156,8 + (3,48 \cdot 9,7) = 190,556 = 191$

*tu musíme urobiť dve matematické operácie - súčet a súčin, v takomto prípade je operácia násobenia prioritná na určenie počtu platných číslíc, pretože $3,48 \cdot 9,7 = 33,756$ (ak použijeme kalkulačku) a nakoľko číslo 9,7 má len dve platné číslice, tak pre uskutočnenie operácie sčítania by mali byť vstupnými údajmi čísla $34 + 156,8$, čiže výsledok musí byť po zaokrúhlení **191**. ✓*

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

Riešenie: Na výpočet objemu použijeme stavovú rovnicu ideálneho plynu

$$V = \frac{nRT}{p}$$

$$V = \frac{0,120 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 23) \text{ K}}{0,30 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = 0,9848 \text{ m}^3$$

Úlohou je zistiť správny počet platných číslic vo výsledku. Ako prvý krok môžeme urobiť analýzu každého člena danej rovnice:

číslo 0,120 má 3 platné číslice; 8,3145 má 5 platných číslic;

po sčítaní $273,15 + 23 = 296$ podľa pravidla (1.2.3 a) číslo 23 nemá žiadne desatinné miesto, čiže po sčítaní týchto dvoch čísel výsledná hodnota bude mať 3 platné číslice;

0,30 má 2 platné číslice, čo je najmenej presné číslo.

Po uskutočnení všetkých matematických úkonov na kalkulačke, konečný výsledok zaokrúhlime na 2 platné číslice - **0,98 m³**. ✓

✓ Objem 0,120 mol plynu pri teplote 23 °C a tlaku 0,30 kPa je 0,98 m³.

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

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

Na základe tohto vzťahu pre teplotu topenia a teplotu varu gália vypočítame:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad \text{po dosadení hodnôt}$$

teplota topenia: $T(\text{K}) = 29,78 + 273,15 = \mathbf{302,93}$ ✓

teplota varu: $T(\text{K}) = 2403 + 273,15 = 2676,15 = \mathbf{2676}$ ✓

výsledok musíme zaokrúhliť na najmenej presné číslo

✓ 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 °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) $3,8 \cdot 10^4$; b) $2,6 \cdot 10^{-4}$; c) $8,57 \cdot 10^8$; 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. Určite správne priemernú hodnotu hmotnosti vzorky.

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

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

[$m = 4,4$ g; pri sčítaní je jedno desatinné miesto v najmenej presnom čísle]

1.3.6 Syntézou sa pripravil jodid draselný, u ktorého bola stanovená jeho rozpustnosť. Zistili sme, že 2,299 g tejto látky sa pri teplote 20,0 °C rozpustilo v 28,39 g vody. Uvedte správny výsledok na vyjadrenie rozpustnosti (s) danej látky v 100,0 g vody.

[$s(20,0$ °C) = 8,098 g KI na 100,0 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 cm³.

[$\rho = 1,2$ g cm⁻³]

1.3.8 Na základe hodnôt relatívnych molekulových hmotností prvkov uvedených v chemických tabuľkách vypočítajte molovú hmotnosť Pb₃(PO₄)₂.

[$M(\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2) = 811,5$ g mol⁻¹]

1.3.9 Fluorid sírový je bezfarebný plyn. V nádobe s objemom 6,35 dm³ sa nachádza 1,52 mol tohto plynu pri teplote 72,5 °C. Vypočítajte, aký je tlak v nádobe.

[$p = 688$ kPa]

1.3.10 Teplota topenia ortuti je 234,3 K. Pri akej teplote v °C sa bude ortuť topiť?

[$t_{\text{top}} = -38,9$ °C]

2

MNOŽSTVO CHEMICKÝCH LÁTOK

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 čistej látky B vyjadrujú **extenzitné veličiny** (tab. 2.1):

- a) počet častíc $N(B)$,
- b) látkové množstvo $n(B)$,
- c) hmotnosť $m(B)$,
- d) objem $V(B)$.

Chemické reakcie prebiehajú medzi veľmi veľkým počtom častíc (napr. atómov, molekúl, iónov), a preto je nepraktické udávať množstvo látky pomocou počtu častíc. Z tohoto dôvodu sa zaviedla veličina **látkové množstvo**, ktorá je priamo úmerná počtu častíc a hmotnosti.

2.1 Veličiny vyjadrujúce množstvo látky

Látkové množstvo je jedna zo základných fyzikálnych veličín (tab. 2.1). Jeden mol je také množstvo látky, v ktorom je rovnaký počet entít (častíc), koľko je atómov v presne 0,012 kg uhlíka ^{12}C . Konštanta, ktorá udáva počet entít v jednom mole látky, sa nazýva **Avogadrova konštanta** N_A (tab. 1.4).

Tabuľka 2.1 Extenzitné veličiny vyjadrujúce množstvo látky

| Extenzitná veličina | Symbol | Jednotky | |
|---------------------|--------|---------------------------|----------------------------|
| | | základné | násobky |
| Počet častíc | $N(B)$ | (molekula, atóm, ión ...) | |
| Látkové množstvo | $n(B)$ | mol | kmol, mmol |
| Hmotnosť | $m(B)$ | kg | g, mg |
| Objem | $V(B)$ | m^3 | dm^3, cm^3 |

2.2 Prepočty medzi veličinami vyjadrujúcimi množstvo látky

Na vzájomný prepočet **extenzitných veličín** $m(B)$, $n(B)$, $V(B)$ a $N(B)$ sa používajú **intenzitné veličiny** $M(B)$, m_B , $\rho(B)$ a $V_m(B)$ (tab. 2.1 a 2.2) a **Avogadrova konštanta** N_A .

Medzi počtom častíc $N(B)$ v látke B a jej látkovým množstvom $n(B)$ platí vzťah

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

Ak označíme **hmotnosť jednej častice** m_B , potom pre hmotnosť $m(B)$ látky B platí vzťah

$$m(B) = m_B N(B) \quad (2.2)$$

Po dosadení $N(B)$ zo vzťahu (2.1) do vzťahu (2.2) dostaneme

$$m(B) = m_B N_A n(B) = M(B) n(B)$$

čiže

$$m_B N_A = M(B) \quad (2.3)$$

Molová hmotnosť $M(B)$ vyjadruje hmotnosť jedného molu látky B a dá sa vyjadriť ako podiel hmotnosti látky B a jej látkového množstva

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

Tabuľka 2.2 Intenzitné veličiny vyjadrujúce množstvo látky

| Intenzitná veličina | Symbol | Jednotky | |
|---------------------|-----------|------------------------------|--|
| | | základné | násobky |
| Molová hmotnosť | $M(B)$ | kg mol^{-1} | g mol^{-1} |
| Hustota | $\rho(B)$ | kg m^{-3} | g cm^{-3} |
| Molový objem | $V_m(B)$ | $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$ | $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$, $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ |

Molová hmotnosť vyjadrená jednotkou g mol^{-1} sa číselne rovná **relatívnej atómovej hmotnosti** $A_r(B)$ (v prípade prvku) alebo **relatívnej molekulovej hmotnosti** $M_r(B)$ látky B.

Hustota látky B je definovaná ako podiel hmotnosti a objemu danej látky B

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

Hustota látky B je dôležitou látkovou konštantou. Hustota je experimentálne stanovenou veličinou, ktorej hodnota sa s teplotou mení; najviac u plyných a najmenej u tuhých látok.

Molový objem látky B je definovaný ako podiel objemu látky B a jej látkového množstva

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

Ak poznáme hustotu látky B, potom môžeme jej molový objem tiež vypočítať ako podiel molovej hmotnosti látky B a jej hustoty

$$V_m(B) = \frac{M(B)}{\rho(B)} \quad (2.7)$$

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

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

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

Normálny molový objem $V_{mn}(B)$ látky B vyjadruje molový objem látky B pri **normálnych podmienkach** (teplota 273,15 K, t. j. 0 °C, a tlak 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 vo fyzikálno-chemických tabuľkách.

Po dosadení normálnej teploty a normálneho tlaku do stavovej rovnice pre ideálne plyny, t. j. do vzťahu (2.8), môžeme vypočítať hodnotu normálneho molového objemu V_{mn} ideálneho plynu (tab. 1.4); vo výpočtoch budeme používať jeho zaokrúhľenú hodnotu $V_{mn} = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Podľa Avogadrovho zákona musí byť hodnota normálneho molového objemu pre všetky plyny rovnaká.

Objem V_n plynnej látky pri normálnych podmienkach je možné vypočítať ako súčin normálneho molového objemu a látkového množstva látky B:

$$V_n(B) = V_{mn} n(B) \quad (2.9)$$



2.2.1 Riešené príklady

2.2.1 Vypočítajte látkové množstvo dikyslíka, v ktorom sa nachádza $8,820 \cdot 10^{24}$ molekúl O_2 .

Riešenie: Pri riešení úlohy vychádzame z upraveného vzťahu (2.1). Hodnota Avogadrovej konštanty N_A je v tabuľke 1.4. Vo výpočtoch budeme používať jej zaokrúhľenú hodnotu $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ alebo $6,022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$.

$$n(O_2) = \frac{N(O_2)}{N_A} = \frac{8,820 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 14,646 \text{ mol} = \mathbf{14,65 \text{ mol}} \checkmark$$

Všetky konečné výsledky budeme zaokrúhľovať podľa pravidiel uvedených v kapitole 1.2.

Látkové množstvo dikyslíka je 14,65 mol.

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

Riešenie: Pri riešení úlohy použijeme upravený vzťah (2.4).

Z tabuliek: $M(\text{SnI}_4) = 634,328 \text{ g mol}^{-1}$

$$m(\text{SnI}_4) = n(\text{SnI}_4) M(\text{SnI}_4) = 1,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 634,328 \text{ g mol}^{-1} = 9,5149 \text{ g} = \mathbf{9,51 \text{ g}} \checkmark$$

Hmotnosť vzniknutého jodidu ciničitého je 9,51 g.

2.2.3 Vypočítajte hmotnosť oxidu siričitého, ktorý obsahuje $1,22 \cdot 10^{24}$ molekúl SO_2 .

Riešenie: Na výpočet hmotnosti oxidu siričitého použijeme upravený vzťah (2.4).

$$m(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) M(\text{SO}_2)$$

Látkové množstvo $n(\text{SO}_2)$ si vyjadríme zo vzťahu (2.1)

$$n(\text{SO}_2) = \frac{N(\text{SO}_2)}{N_A}$$

a podosadení dostaneme

$$m(\text{SO}_2) = \frac{N(\text{SO}_2)}{N_A} M(\text{SO}_2)$$

Z tabuliek: $M(\text{SO}_2) = 64,065 \text{ g mol}^{-1}$

$$m(\text{SO}_2) = \frac{1,22 \cdot 10^{24}}{6,0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \cdot 64,065 \text{ g mol}^{-1} = 129,79 \text{ g} = \mathbf{130 \text{ g}} \checkmark$$

Hmotnosť oxidu siričitého je 130 g.

2.2.4 Vypočítajte hmotnosť jedného atómu platiny.

Riešenie: Po úprave vzťahu (2.3) dostaneme pre hmotnosť jedného atómu platiny vzťah

$$m_{\text{Pt}} = \frac{M(\text{Pt})}{N_A}$$

Z tabuliek: $M(\text{Pt}) = 195,08 \text{ g mol}^{-1}$

$$m_{\text{Pt}} = \frac{195,08 \text{ g mol}^{-1}}{6,0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 3,23940 \cdot 10^{-22} \text{ g} = \mathbf{3,2394 \cdot 10^{-22} \text{ g}} \checkmark$$

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

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

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

Riešenie:

a) Vzhľadom na zanedbateľnú hmotnosť elektrónu voči hmotnosti jadra môžeme napísať:

$$M(\text{Na}^+) = M(\text{Na})$$

Z tabuliek: $M(\text{Na}) = 22,9898 \text{ g mol}^{-1}$

Po dosadení údajov do upraveného vzťahu (2.4) dostaneme hmotnosť sodných katiónov

$$m(\text{Na}^+) = n(\text{Na}^+) M(\text{Na}^+) = 2,282 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 22,9898 \text{ g mol}^{-1} = 0,52463 \text{ g} \\ = \mathbf{0,5246 \text{ g}} \checkmark$$

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



Z uvedenej chemickej rovnice vyplýva, že $n(\text{Na}^+) = 2 n(\text{SO}_4^{2-})$

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

Molovú hmotnosť $M(\text{SO}_4^{2-})$ vypočítame ako súčet molových hmotností jednotlivých prvkov, pričom zanedbáme hmotnosť dvoch elektrónov.

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

Hmotnosť síranových aniónov vypočítame podľa upraveného vzťahu (2.4).

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

c) Látkové množstvo síranových aniónov a síranu sodného má rovnakú hodnotu:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_4^{2-})$$

Z tabuliek: $M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,043 \text{ g mol}^{-1}$

Hmotnosť Na_2SO_4 vypočítame pomocou vzťahu 2.4.

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,141 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 142,043 \text{ g mol}^{-1} = 1,6207 \text{ g} = 1,621 \text{ g} \checkmark$$

a) Hmotnosť sodných katiónov vo vodnom roztoku je 0,5246 g.

b) Síranové anióny majú hmotnosť 1,096 g. c) Hmotnosť síranu sodného je 1,621 g.

2.2.6 Hmotnosť kryštálu chloridu sodného je 0,05238 g. Vypočítajte:

a) objem kryštálu, ak hustota $\rho(\text{NaCl})$ pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ je 2160 kg m^{-3} ,

b) molový objem chloridu sodného.

Riešenie:

a) Pri riešení úlohy vychádzame z upraveného vzťahu (2.5). Keďže hmotnosť chloridu sodného je zadaná v gramoch, tak musíme premeniť jednotky hustoty $\rho(\text{NaCl})$ udané v kg m^{-3} na g cm^{-3} : $\rho(\text{NaCl}) = 2160 \text{ kg m}^{-3} = 2,160 \text{ g cm}^{-3}$

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

b) Molový objem chloridu sodného vypočítame podľa vzťahu (2.6) alebo (2.7).

Látkové množstvo chloridu sodného si vyjadríme zo vzťahu (2.4) a potom dosadíme do vzťahu (2.6):

$$\begin{aligned} V_m(\text{NaCl}) &= \frac{V(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl})} = \frac{V(\text{NaCl}) M(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl})} = \\ &= \frac{0,02425 \text{ cm}^3 \cdot 58,443 \text{ g mol}^{-1}}{0,05238 \text{ g}} = \\ &= 27,057 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} = 27,06 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} \checkmark \end{aligned}$$

alebo podľa vzťahu (2.7)

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

a) Objem kryštálu chloridu sodného pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je $0,02425 \text{ cm}^3$.

b) Molový objem chloridu sodného je $27,06 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

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

a) za normálnych podmienok,

b) pri teplote 20,0 °C a tlaku 102,5 kPa.

Riešenie:

a) Pri výpočte objemu plynnej látky (Cl_2) za normálnych podmienok vychádzame zo vzťahu (2.9) a zo zaokrúhlenej hodnoty normálneho molového objemu ideálneho plynu $V_{mn} = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

$$V_n(\text{Cl}_2) = V_{mn} n(\text{Cl}_2) = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \cdot 1,95 \cdot 10^3 \text{ mol} = 4,369 \cdot 10^4 \text{ dm}^3 = 43,7 \text{ m}^3 \checkmark$$

b) Pri výpočte objemu chlóru za uvedených stavových podmienok vychádzame zo stavovej rovnice ideálneho plynu (vzťah 2.8).

$$V(\text{Cl}_2) = \frac{n(\text{Cl}_2) R T}{p} = \frac{1,95 \cdot 10^3 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 + 20,0) \text{ K}}{102,5 \cdot 10^3} = 46,37 \text{ m}^3 = 46,4 \text{ m}^3 \checkmark$$

$$V(\text{Cl}_2) = 46,37 \text{ m}^3 = 46,4 \text{ m}^3 \checkmark$$

a) Objem chlóru za normálnych podmienok je 43,7 m³.

b) Objem chlóru za daných stavových podmienok je 46,4 m³.

2.2.8 Reakčná nádoba obsahuje 2,50 cm³ kvapalného brómu pri teplote 20,0 °C. Vypočítajte:

a) tlak brómu v nádobe s objemom 3,00 dm³, ak reakčnú nádobu zohrejeme na teplotu 100,0 °C,

b) hustotu brómu v reakčnej nádobe pri teplote 100,0 °C.

Hustota brómu pri teplote 20,0 °C je 3,123 g cm⁻³.

Riešenie:

a) Tlak plyného brómu vypočítame zo stavovej rovnice ideálneho plynu (vzťah 2.8). Najprv si vypočítame látkové množstvo brómu, ktoré sa nachádza v reakčnej nádobe. (Poznámka: látkové množstvo brómu sa zmenou skupenstva nemení. Úpravou vzťahov (2.4) a (2.5) dostaneme

$$n(\text{Br}_2) = \frac{\rho(\text{Br}_2) V(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)} = \frac{3,123 \text{ g cm}^{-3} \cdot 2,50 \text{ cm}^3}{159,808 \text{ g mol}^{-1}} = 0,04886 \text{ mol}$$

Po dosadení vypočítaného látkového množstva brómu, zadaných hodnôt stavových veličín a molovej plynovej konštanty (tab.1.4) dostaneme

$$p(\text{Br}_2) = \frac{n(\text{Br}_2) R T}{V(\text{Br}_2)} = \frac{0,04886 \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot (273,15 \text{ K} + 100,0 \text{ °C})}{3,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 5,053 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 50,5 \text{ kPa} \checkmark$$

b) Ak poznáme tlak a teplotu, potom hustotu plyného brómu vypočítame podľa vzťahu, ktorý si odvodíme pomocou vzťahov (2.4), (2.5) a (2.8).

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

Po dosadení látkového množstva n do stavovej rovnice ideálneho plynu dostaneme

$$pV = nRT = \frac{\rho V}{M} RT$$

$$pM = \rho RT$$

a po úprave získame vzťah pre hustotu, do ktorého dosadíme známe hodnoty veličín

$$\rho(\text{Br}_2) = \frac{p(\text{Br}_2) M(\text{Br}_2)}{RT} = \frac{5,053 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1}}{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 373,15 \text{ K}} =$$

$$= 2603 \text{ g m}^{-3} = \mathbf{2,60 \cdot 10^3 \text{ g cm}^{-3}} \checkmark$$

a) Tlak brómu v nádobe pri teplote 100,0 °C bude 50,5 kPa.

b) Hustota plynného brómu pri teplote 100,0 °C je 2,60 10³ g cm⁻³.

2.2.9 Vypočítajte, aký počet molekúl vody a aký počet atómov obsahuje presne 1,5 cm³ vody, ak hustota vody $\rho(\text{H}_2\text{O})$ je 1000 kg m³ pri teplote 20,0 °C.

~~Riešenie:~~ Pri riešení môžeme postupovať tak, že si najprv vypočítame hmotnosť vody (vzťah 2.5), potom látkové množstvo vody (vzťah 2.4) a nakoniec počet molekúl vody (vzťah 2.1). Jednoduchšie je odvodiť si riešenie a vypočítať počet molekúl vody $N(\text{H}_2\text{O})$ podľa vzťahu, ktorý si odvodíme pomocou uvedených vzťahov.

$$N(\text{H}_2\text{O}) = N_A n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{N_A m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{N_A V(\text{H}_2\text{O}) \rho(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot 1,5 \text{ cm}^3 \cdot 1,000 \text{ g cm}^{-3}}{18,015 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{5,014 \cdot 10^{22} \text{ molekúl}} \checkmark$$

Každá molekula vody je zložená z troch atómov, t. j. dvoch atómov vodíka a jedného atómu kyslíka. Z toho vyplýva, že počet atómov vypočítame ako trojnásobok počtu molekúl vody:

$$3 \cdot N(\text{H}_2\text{O}) = 3 \cdot 5,014 \cdot 10^{22} = \mathbf{1,504 \cdot 10^{23} \text{ atómov}} \checkmark$$

V 1,5 cm³ vody sa nachádza 5,014 · 10²² molekúl vody a 1,504 · 10²³ atómov.

2.3 Úlohy



2.3.1 Vypočítajte molovú hmotnosť:

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

[a) $M[\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}] = 136,08 \text{ g mol}^{-1}$; b) $M[\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2] = 221,12 \text{ g mol}^{-1}$;
c) $M[\text{CrK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}] = 499,4 \text{ g mol}^{-1}$; d) $M[(\text{Cr}_2(\text{ac})_4(\text{H}_2\text{O})_2)] = 376,19 \text{ g mol}^{-1}$]

2.3.2 Vypočítajte látkové množstvo:

- oxidu železnatého 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,

c) draselných, hlinitých a chromitých katiónov, vody a síranových aniónov, ktoré sa nachádzajú v 44,5 mg kamenca zloženia $(Al_{0,3}Cr_{0,7})K(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

[a) 0,461 kmol FeO a 0,461 kmol TiO_2 ;

b) 6,71 mol MgO, 8,95 mol B_2O_3 a 1,12 mol $MgCl_2$;

c) $9,05 \cdot 10^{-5}$ mol K^+ , $2,71 \cdot 10^{-5}$ mol Al^{3+} , $6,33 \cdot 10^{-5}$ mol Cr^{3+} , $1,09 \cdot 10^{-3}$ mol H_2O
a $1,81 \cdot 10^{-4}$ mol SO_4^{2-}]

2.3.3 Vypočítajte látkové množstvo, ktoré zodpovedá:

a) $3,0 \cdot 10^{22}$ molekúlám ozónu,

b) 15,0 mg cyklooktasíry, S_8 ,

c) $1,00 \text{ cm}^3$ železa, ak hustota železa pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je $7874,3 \text{ kg m}^{-3}$,

d) $6,5 \text{ dm}^3$ didusíka za normálnych podmienok,

e) $8,00 \cdot 10^{21}$ uhličitanových aniónov.

[a) 0,050 mol O_3 ; b) $5,85 \cdot 10^{-5}$ mol S_8 ; c) 0,141 mol Fe; d) 0,29 mol N_2 ;

e) 0,0133 mol CO_3^{2-}]

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) 8,0 kg SO_4^{2-} ; b) 4,13 g P_4 ; c) 125 g Ar; d) 27,1 g Hg;

e) 4660 kg $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$]

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) gáliu s hmotnosťou 45,6 g pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$, ak hustota gália pri tejto teplote je 5910 kg m^{-3} ,

c) $7,5 \cdot 10^{24}$ vzorcovým jednotkám oxidu hlinitého (korundu), ak pri teplote $20 \text{ }^\circ\text{C}$ je hustota korundu 4000 kg m^{-3} ,

d) 22,25 mmol dusíka za normálnych podmienok.

[a) $39,5 \text{ m}^3$ Ne; b) $7,72 \text{ cm}^3$ Ga; c) 317 cm^3 ; d) $0,4986 \text{ dm}^3$ N_2]

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 $1,20 \cdot 10^6$ Pa,

d) $1,00 \text{ cm}^3$ dichloridu tionylu (dichlorid-oxidu siričitého), ak hustota kvapalného dichloridu tionylu $\rho(SOCl_2)$ je 1638 kg m^{-3} pri teplote $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

[a) $6,2657 \cdot 10^{18}$ atómov Ir; b) $1,445 \cdot 10^{22}$ atómov B; c) $4,06 \cdot 10^{21}$ atómov;

d) $3,32 \cdot 10^{22}$ atómov]

2.3.7 Vypočítajte hmotnosť jedného atómu vodíka a jedného atómu deutéria a porovnajte ich hmotnosti.

[$m_H = 1,674 \cdot 10^{-24} \text{ g}$; $m_D = 3,348 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Atóm deutéria je 2,00 krát ťažší ako atóm vodíka.]

2.3.8 V reaktore sa nachádza presne 1 kmol oxidu dusičitého pri teplote 20,0 °C. Vypočítajte hmotnosť a objem oxidu dusičitého. Hustota oxidu dusičitého pri teplote 20,0 °C je 1,449 kg m⁻³.

[46,0055 kg; 31,75 m³]

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

- a) objem vodíka za normálnych podmienok,
- b) objem vodíka pri teplote 400 °C a tlaku 400 kPa.

[a) 5,60 dm³; b) 3,50 dm³]

2.3.10 Vypočítajte hustotu plynného fluóru za normálnych podmienok.

[1,6955 kg m⁻³]

2.3.11 Katalytickým rozkladom peroxidu vodíka sa uvoľnilo 125,0 cm³ dikyslíka pri teplote 21,0 °C a 100 kPa. Vypočítajte:

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

[0,164 g; 1,31 · 10⁻³ g cm⁻³]

2.3.12 V nádobe sa nachádza 50,00 cm³ kvapalného bromidu kremičitého pri teplote 25,0 °C. Po ochladení na teplotu -80,0 °C sa získal tuhý bromid kremičitý. Vypočítajte:

- a) hmotnosť bromidu kremičitého,
- b) objem tuhého bromidu kremičitého,
- c) zmenu objemu po ochladení kvapalného bromidu kremičitého na teplotu -80,0 °C. Hustota bromidu kremičitého pri teplote 25,0 °C je 2,77 g cm⁻³ a pri teplote -80,0 °C je 3,20 g cm⁻³.

[a) 139 g; b) 43,3 cm³; c) zmenší sa o 6,7 cm³]

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

[48,7g Au]

2.3.14 Aký objem musí mať vzorka zlata, aby obsahovala rovnaký počet atómov, ako má vzorka ortuti o objeme 2,00 cm³ pri teplote 20,0 °C, ak hustota zlata pri tejto teplote je 19,32 g cm⁻³.

[1,38 cm³ Au]

3

SÚSTAVY LÁTOK A KVANTITATÍVNE VYJADRENIE ICH ZLOŽENIA

Sústava (systém) je časť priestoru, oddelená od okolia skutočným alebo mysleným rozhraním. V sústave môže byť látka alebo zmes chemických látok, ktoré predstavujú jej zložky. Sústava je definovaná tým, že udáme, čo do nej patrí. Napríklad sústavou je kadička s vodným roztokom chloridu sodného alebo reaktor, v ktorom prebieha syntéza amoniaku z dusíka a vodíka.

Ak rozhranie sústavy nedovoľuje látkovú výmenu s okolím, hovoríme o uzavretej sústave. Otvorená sústava môže s okolím vymieňať látku aj energiu.

Sústava, ktorá vo všetkých svojich častiach má 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 (nasýtený vodný roztok dichrómanu didraselného v rovnováhe s kryštálmi tuhého dichrómanu didraselného, zmes ľadu a vody).

Homogénna sústava (fáza), skladajúca sa z najmenej dvoch chemických zložiek, sa nazýva roztok. Poznáme plynné, kvapalné a tuhé roztoky. V kvapalných roztokoch sú zložkami roztoku rozpúšťadlo a rozpustené látky. Za rozpúšťadlo sa považuje prevládajúca zložka sústavy. Pri vodných roztokoch sa však voda konvenčne považuje vždy za rozpúšťadlo.

Podľa toho, akú veličinu použijeme na vyjadrenie množstva zložky a množstva sústavy, rozlišujeme rôzne spôsoby vyjadrenia jej zloženia.

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

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

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

Obsah nečistôt alebo prímiesí sa vyjadruje najčastejšie v ppm, napríklad v smogu je 40 objemových ppm oxidu uhoľnatého, t.j. napr. 1 dm³ smogu obsahuje 40 · 10⁻⁶ dm³ oxidu uhoľnatého.

3.1.1 Molový zlomok

Molový zlomok $x(B)$ zložky B je definovaný ako podiel látkového množstva $n(B)$ látky B a súčtu látkových množstiev n všetkých zložiek sústavy

$$x(B) = \frac{n(B)}{n} \quad (3.2)$$

Súčet molových zlomkov všetkých látok v sústave sa rovná jednej, pričom x_i je molový zlomok i -tej zložky v sústave.

$$\sum_i x_i = 1 \quad (3.3)$$

Molový zlomok sa často vyjadruje v percentách a zapisuje sa ako mol. %.

3.1.2 Hmotnostný zlomok

Hmotnostný zlomok $w(B)$ zložky B je podiel hmotnosti zložky $m(B)$ a hmotnosti sústavy m

$$w(B) = \frac{m(B)}{m} \quad (3.4)$$

Ak sústava obsahuje viac zložiek, možno podľa (3.4) vypočítať hmotnostný zlomok pre každú z nich. Súčet hmotnostných zlomkov všetkých látok v sústave sa rovná jednej

$$\sum_i w_i = 1 \quad (3.5)$$

Hmotnostný zlomok sa vyjadruje aj v hmotnostných percentách, hmotn. %. Ak hmotnostný zlomok vynásobíme stami, dostávame hmotnostné percentá. Ak pri údají zloženia sústavy je za číselným údajom uvedené iba %, v týchto skriptách sa pod číselným údajom rozumejú hmotnostné percentá.

3.1.3 Objemový zlomok

Objemový zlomok $\varphi(B)$ zložky B je určený ako podiel objemu zložky $V(B)$ a objemu sústavy V

$$\varphi(B) = \frac{V(B)}{V} \quad (3.6)$$

Pri ideálnych plynch sa objem sústavy rovná súčtu objemov jednotlivých zložiek. Pri miešaní kvapalín treba rátať s kontrakciou (zmenšením) alebo dilatáciou (zväčšením) objemu. Preto sa objemový zlomok používa najmä pri vyjadrovaní zloženia plynných sústav.

3.1.4 Hustota roztokov

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

$$m(\text{roztoku}) = \rho(\text{roztoku}) V(\text{roztoku}) \quad (3.7)$$

Hodnoty hustôt roztokov závisia od zloženia a teploty pre kvapalné sústavy (vplyv tlaku možno zanedbať), pre plynné sústavy aj od tlaku. Hustoty vodných roztokov anorganických a organických látok (roztokov vytvorených z dvoch zložiek - vody a rozpustenej látky) rôzneho zloženia pri teplote 20 °C sa uvádzajú napr. v Chemických tabuľkách (D. Valigura a kol., STU Bratislava 1997).

3.1.5 Priemerná molová hmotnosť

Pri rôznych výpočtoch sa často vyskytujú zmesi látok, ktorých zloženie sa nemení, napr. azeotropické zmesi. Tieto zmesi je výhodné považovať za zložku sústavy a priradiť jej priemernú hodnotu molovej hmotnosti \bar{M} . Ak zmes obsahuje látky A_1, A_2, \dots , s molovými hmotnosťami M_1, M_2, \dots , ktorých molové zlomky v zmesi sú x_1, x_2, \dots , je priemerná molová hmotnosť \bar{M} zmesi definovaná ako

$$\bar{M} = M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots = \sum_i M_i x_i \quad (3.8)$$

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

$$\bar{M} = \rho \frac{R T}{p} \quad (3.9)$$

3.1.6 Riešené príklady



3.1.1 Vodný plyn je zmes oxidu uhoľnatého CO a vodíka H₂, pričom obsahuje tiež malé množstvo oxidu uhličitého CO₂. Zmes obsahovala 4,4 g CO, 4,5 g H₂ a 0,50 g CO₂. Vypočítajte molové zlomky zložiek zmesi.

Riešenie: Podľa definície (3.2) platí

$$x(\text{CO}) = \frac{n(\text{CO})}{n}; \quad x(\text{H}_2) = \frac{n(\text{H}_2)}{n}; \quad x(\text{CO}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{n};$$

kde

$$n = n(\text{CO}) + n(\text{H}_2) + n(\text{CO}_2)$$

Keďže poznáme hmotnosti jednotlivých plynov, musíme podľa vzťahu (2.4) vypočítať látkové množstvá zložiek

$$n(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{M(\text{CO})}; \quad n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)}; \quad n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}$$

Z tabuliek $M(\text{CO}) = 28,010 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2) = 2,0158 \text{ g mol}^{-1}$,
 $M(\text{CO}_2) = 44,010 \text{ g mol}^{-1}$,

Potom

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

$$n(\text{H}_2) = 2,23 \text{ mol}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,0114 \text{ mol}$$

$$n = 2,4 \text{ mol}$$

Po dosadení číselných hodnôt do vzťahov pre molové zlomky

$$x(\text{CO}) = \frac{0,157 \text{ mol}}{2,4 \text{ mol}} = \mathbf{0,065} \checkmark$$

$$x(\text{H}_2) = \mathbf{0,93} \checkmark \quad x(\text{CO}_2) = \mathbf{0,0048} \checkmark$$

Molový zlomok oxidu uhoľnatého je 0,065, molový zlomok vodíka 0,93 a molový zlomok oxidu uhličitého je 0,0048.

3.1.2 Vypočítajte molové zlomky metanolu a etanolu v sústave, ktorá vznikla zmiešaním 50,0 cm³ metanolu a 100 cm³ etanolu (teplota oboch látok je 20 °C, molové hmotnosti z tabuliek).

Riešenie: Označíme metanol = M, etanol = E

Z tabuliek $M(\text{M}) = 32,04 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{E}) = 46,07 \text{ g mol}^{-1}$

Podľa (3.2)

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

Molový zlomok etanolu $x(\text{E})$ v sústave podľa (3.3)

$$x(\text{E}) = 1 - x(\text{M})$$

Platí

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

$$\begin{aligned} x(\text{M}) &= \frac{\frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})}}{\frac{V(\text{M}) \rho(\text{M})}{M(\text{M})} + \frac{V(\text{E}) \rho(\text{E})}{M(\text{E})}} = \\ &= \frac{50,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,7914 \text{ g cm}^{-3}}{32,04 \text{ g mol}^{-1}} \\ &= \frac{50,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,7914 \text{ g cm}^{-3}}{32,04 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{100 \text{ cm}^3 \cdot 0,7893 \text{ g cm}^{-3}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} \end{aligned}$$

$$x(\text{M}) = \mathbf{0,419} \checkmark$$

$$x(\text{E}) = 1 - x(\text{M}) = \mathbf{0,581} \checkmark$$

Molový zlomok metanolu v sústave je 0,419, molový zlomok etanolu 0,581.

3.1.3 Vypočítajte hmotnosť chloridu sodného NaCl a hmotnosť vody potrebných na prípravu 450 g 3,70 % roztoku.

Riešenie: $100 w(\text{NaCl}) = 3,7$ alebo $w(\text{NaCl}) = 0,0370$

Z (3.4) vyplýva

$$m(\text{NaCl}) = m w(\text{NaCl}) = 450 \text{ g} \cdot 0,037 = \mathbf{16,7 \text{ g}} \checkmark$$

$$m(\text{vody}) = m - m(\text{NaCl}) = 450 \text{ g} - 17 \text{ g} = \mathbf{433 \text{ g}} \checkmark$$

Na prípravu roztoku potrebujeme 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 (3.4) vyplýva

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

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

$$m(\text{vody}) = m - m(\text{NaNO}_3) - m(\text{KNO}_3) = 1650 \text{ g} - 188,9 \text{ g} - 294,5 \text{ g} = \mathbf{1167 \text{ g}} \checkmark$$

Na prípravu roztoku potrebujeme 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: označíme hnojivo A, neznáma hodnota je $m(A) = ?$

Ak by neboli straty

$$w(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{m^*(A)} \quad \text{z toho vyplýva} \quad m^*(A) = \frac{m(\text{N})}{w(\text{N})}$$

Množstvo hnojiva vzhľadom na straty bude

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

Do pôdy treba zapracovať 115 kg hnojiva.

3.1.6 V uzavretej nádobe za normálnych podmienok sa nachádzala zmes zložená z 1,24 mol oxidu uhoľnatého CO a 2,31 mol oxidu uhličitého CO₂. Vypočítajte zloženie zmesi v objemových zlomkoch.

Riešenie: Podľa (3.6) platí

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{V}, \quad \text{pričom } V = V(\text{CO}) + V(\text{CO}_2)$$

dalej pre normálne podmienky ideálneho plynu podľa (2.9) platí

$$V_{mn}(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{n(\text{CO})}, \quad \text{kde } V_{mn} = 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}, \quad \text{a z toho vyplýva}$$

$$V(\text{CO}) = n(\text{CO}) V_{mn} = 1,24 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = 27,8 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{CO}_2) = 2,31 \text{ mol} \cdot 22,41 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = 51,8 \text{ dm}^3$$

$$V = V(\text{CO}) + V(\text{CO}_2) = 79,6 \text{ dm}^3$$

$$\varphi(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{V} = \frac{27,8 \text{ dm}^3}{79,6 \text{ dm}^3} = 0,349 \checkmark$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = 1 - \varphi(\text{CO}) = 0,651 \checkmark$$

Objemový zlomok oxidu uhoľnatého je 0,349 a objemový zlomok oxidu uhličitého 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: $V(\text{roztok KCl}) = V = ?$

Podľa (3.7) platí

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

Nakoľko nepoznáme zloženie roztoku, nemôžeme z tabuliek zistiť jeho hustotu. Z daných údajov sa dá vypočítať hmotnostný zlomok.

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

Hustota pre $w(\text{KCl}) = 0,1600$ z tabuliek je $\rho = 1,1043 \text{ g cm}^{-3}$, potom

$$V = \frac{119,05 \text{ g}}{1,1043 \text{ g cm}^{-3}} = 107,81 = 107,8 \text{ cm}^3 \checkmark$$

Objem pripraveného roztoku je $107,8 \text{ cm}^3$.

3.1.8 Vypočítajte priemernú molovú hmotnosť vzduchu pri teplote $18,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 103 kPa , ak hustota suchého vzduchu je $\rho = 1,244 \text{ kg m}^{-3}$.

Riešenie: $\bar{M}(\text{vzduchu}) = \bar{M} = ?$

Podľa (3.9)

$$\begin{aligned} \bar{M} &= \rho \frac{RT}{p} = 1,244 \text{ kg m}^{-3} \frac{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 291,15 \text{ K}}{103000 \text{ Pa}} \\ &= 0,0292 \text{ kg mol}^{-1} = 29,2 \text{ g mol}^{-1} \checkmark \end{aligned}$$

Priemerná molová hmotnosť suchého vzduchu je $29,2 \text{ g mol}^{-1}$.

3.1.9 Vypočítajte priemernú molovú hmotnosť zmesi rozpúšťadiel benzén - toluén, v ktorej je molový zlomok benzénu $x(\text{benzénu}) = 0,250$.

Riešenie: benzén - B, toluén - T, $\bar{M} = ?$

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

Podľa (3.8)

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

Priemerná molová hmotnosť zmesi rozpúšťadiel je $88,6 \text{ g mol}^{-1}$.

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 množstvová koncentrácia 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 (koncentrácia) $c(B)$, zložky B je definovaná ako podiel látkového množstva $n(B)$ a objemu roztoku V

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

Jednotkou koncentrácie je mol m^{-3} . Pri používaní tejto jednotky v chemickej praxi by sme pracovali s neobvyklými číselnými hodnotami, preto sa používa jednotka mol dm^{-3} , $1 \text{ mol dm}^{-3} = 10^3 \text{ mol m}^{-3}$. Koncentrácia udaná v mol dm^{-3} sa bežne označuje ako molarita M . Pri vyjadrovaní koncentrácie elektrolytov podľa (3.10) sa zanedbáva ich ionizácia (elektrolytická disociácia) pri rozpúšťaní. Ide o analytickú koncentráciu látky B. Namiesto termínu analytická koncentrácia budeme používať len termín koncentrácia.

V literatúre sa často zavádza, najmä z rozmerových dôvodov, relatívna koncentrácia $c_r(B)$ zložky B, ktorá sa získa delením koncentrácie $c(B)$ štandardnou koncentráciou c^θ , teda $c_r(B) = c(B)/c^\theta$. Pre štandardnú koncentráciu c^θ sa volí hodnota $c^\theta = 1 \text{ mol dm}^{-3}$.

Pri chemických rovnováhach sa používa relatívna rovnovážna koncentrácia $[B]$ zložky B.

V chemickej praxi, kde sa pracuje s veľmi nízkymi koncentraciami sa používa matematická funkcia p , ktorá je definovaná

$$pZ = -\log Z \quad (3.11)$$

kde Z je istá bezrozmerná veličina, napr. podiel koncentrácií $c(B)/c^\theta$, rovnovážna konštanta alebo číselná hodnota veličiny.

V niektorých chemických odboroch, najmä v analytickej chémii, sa v staršej literatúre koncentrácia vyjadruje normalitou $c_n(B)$ zložky B, ktorá je určená podielom valového množstva $n_v(B)$ (počtu gramekvivalentov t.j. valov) zložky B a objemu roztoku $c_n(B) = n_v(B)/V$. Jednotkou normality je val dm^{-3} , ktorej symbol je N . Normalita je v jednoduchom vzťahu s koncentráciou, lebo platí $c_n(B) = \nu c(B)$, kde $\nu = 1, 2, 3, \dots$, má rozmer val mol^{-1} a závisí od chemického charakteru zložky B a typu chemickej reakcie.

3.2.2 Hmotnostná koncentrácia

Hmotnostná koncentrácia $\rho(B)$ zložky B je definovaná ako podiel hmotnosti zložky $m(B)$ a objemu roztoku V

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

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

$$\sum_i \rho_i = \rho \quad (3.13)$$

Podľa vzťahov (3.4), (3.7) a (3.12) možno pre pomer parciálnej hustoty látky B a hustoty roztoku odvodiť vzťah

$$w(B) = \frac{\rho(B)}{\rho} \quad (3.14)$$

3.2.3 Riešené príklady



3.2.1 Vodný roztok síranu draselného sa pripravil rozpustením 7,82 g K_2SO_4 vo vode a doplnení roztoku na objem 100 cm^3 . Vypočítajte koncentráciu látkového množstva síranu draselného $c(\text{K}_2\text{SO}_4)$ v pripravenom roztoku.

Riešenie: $\text{K}_2\text{SO}_4 = A$, $V = 100 \text{ cm}^3 = 0,100 \text{ dm}^3$, $c(A) = ?$

Z chemických tabuliek $M(A) = 174,260 \text{ g mol}^{-1}$

Podľa (3.10) a (2.4) platí

$$c(A) = \frac{n(A)}{V} = \frac{m(A)}{M(A) V} = \frac{7,82 \text{ g}}{174,260 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,100 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,449 \text{ mol dm}^{-3}} \checkmark$$

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

3.2.2 Vypočítajte hmotnosť uhličitanu sodného Na_2CO_3 , ktorá je potrebná na prípravu 500 cm^3 roztoku s koncentráciou presne $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie: $\text{Na}_2\text{CO}_3 = A$, $V = 500 \text{ cm}^3 = 0,500 \text{ dm}^3$, $m(A) = ?$

Podľa (2.4) a (3.10) platí

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

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

3.2.3 Vypočítajte, aký objem roztoku kyseliny octovej CH_3COOH s koncentráciou $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,150 \text{ mol dm}^{-3}$ možno pripraviť zriedením 115 g kyseliny octovej ($w(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,00$).

Riešenie: $\text{CH}_3\text{COOH} = A$, $M(A) = 60,05 \text{ g mol}^{-1}$, $V = ?$

Podľa (3.10) a (2.4)

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

Zo 115 g kyseliny octovej možno pripraviť $12,8 \text{ dm}^3$ roztoku kyseliny octovej s $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,150 \text{ mol dm}^{-3}$.

3.2.4 Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu chloridu sodného NaCl (v g dm⁻³) v roztoku s $w(\text{NaCl}) = 0,060$.

Riešenie: $\rho(\text{NaCl}) = ?$, z tabuliek $\rho(6\% \text{ NaCl}) = \rho = 1,0413 \text{ g cm}^{-3}$

Podľa (3.14)

$$\rho(\text{NaCl}) = w(\text{NaCl}) \rho = 0,060 \cdot 1,0413 \text{ g cm}^{-3} = 0,0625 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{62 \text{ g dm}^{-3}} \checkmark$$

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 $\underline{m}(\text{B})$ zložky B je definovaná ako podiel látkového množstva $n(\text{B})$ zložky B a hmotnosti rozpúšťadla $m(\text{S})$ (S je skratka anglického slova solvent = rozpúšťadlo)

$$\underline{m}(\text{B}) = \frac{n(\text{B})}{m(\text{S})} \quad (3.15)$$

Jednotkou molality je mol kg^{-1} .

3.3.2 Riešené príklady



3.3.1 Vypočítajte molalitu dichrómanu didraselného v roztoku, ktorý sa pripravil rozpustením 20,5 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v 150 g vody.

Riešenie: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \text{A}$, $M(\text{A}) = 294,1846 \text{ g mol}^{-1}$, $\underline{m}(\text{A}) = ?$

Podľa (3.15)

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

Molalita pripraveného roztoku je $0,465 \text{ mol kg}^{-1}$.

Úlohy **3.7.36** až **3.7.38**.

3.4 Lineárna interpolácia

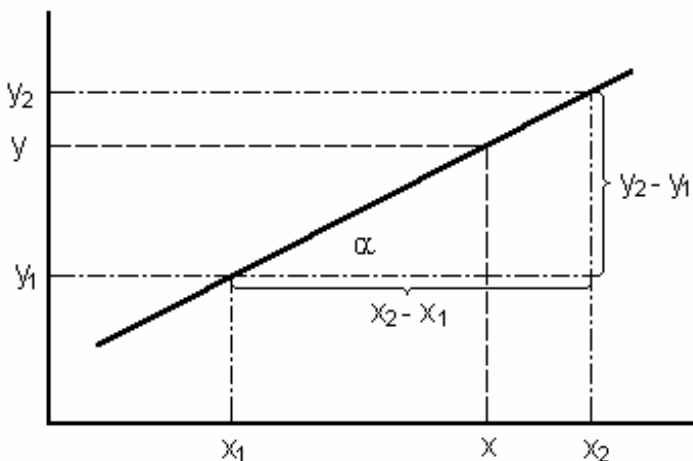
Hlavnou úlohou interpolácie je pomocou funkcie $y = F(x)$ určiť hodnotu závislej premennej y pre ľubovoľnú hodnotu x .

Pri lineárnej interpolácii predpokladáme, že krátky úsek závislosti medzi bodmi (x_1, y_1) a (x_2, y_2) predstavuje časť priamky. Ak bod (x, y) leží vo vnútri intervalu bodov (x_1, y_1) a (x_2, y_2) pre smernicu priamky platí (pozri obrázok)

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

Potom hodnota y pre nezávisle premennú x ležiacu medzi dvoma bodmi sa vypočíta zo vzťahu

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



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 $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1105$. Vypočítajte objem vzniknutého roztoku.

Riešenie: $\text{Na}_2\text{SO}_4 = A$, $m(A) = 2,625 \text{ g}$, $w(A) = 0,1105$, $V(\text{roztok } A) = V = ?$
Podľa (3.7)

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Podľa (3.4) vypočítame hmotnosť pripraveného roztoku

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

Pre hodnotu $w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1105$ nie je v tabuľkách uvedená hodnota hustoty. Pri predpoklade lineárnej závislosti hustoty ρ (závislej veličiny) od zloženia roztoku, vyjadreného napr. hmotnostným zlomkom $w(B)$ (nezávislej premennej), možno ľahko určiť jej hodnoty vo vnútri intervalu. Poznáme hodnotu hustoty pri nižšom hmotnostnom zlomku ($w_1(A) = 0,1000$, $\rho_1 = 1,0905 \text{ g cm}^{-3}$) a hodnotu hustoty pri vyššom hmotnostnom zlomku ($w_2(A) = 0,1200$, $\rho_2 = 1,1101 \text{ g cm}^{-3}$). Hodnota ρ pre $w(A)$ ležiacu medzi dvoma bodmi sa vypočíta podľa vzťahu

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

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

Objem vzniknutého roztoku síranu sodného je 21,58 cm³.

3.5 Prepočty jednotlivých spôsobov vyjadrenia zloženia roztokov

V bežnej praxi musíme často prepočítať zloženie roztoku z jedného spôsobu vyjadrenia na iný. Pri takýchto výpočtoch vychádzame vždy z príslušných definícií zadanej a hľadanej veličiny zloženia roztoku.

Prepočítavací vzťah medzi hmotnostným zlomkom a koncentráciou roztoku a opačne je uvedený aj v Chemických tabuľkách (D. Valigura a kol., STU Bratislava, 1997, str. 313).



3.5.1 Riešené príklady

3.5.1 Vypočítajte koncentráciu kyseliny chlorovodíkovej, ktorej hmotnostný zlomok $w(\text{HCl}) = 0,1245$.

Riešenie: Treba urobiť prepočet $w(\text{HCl}) \longrightarrow c(\text{HCl})$

Podľa (3.10), (2.4), (3.7) a (3.4)

$$c = \frac{n(\text{HCl})}{V} = \frac{m(\text{HCl}) \rho}{M(\text{HCl}) m} = \frac{w(\text{HCl}) \rho}{M(\text{HCl})}$$

Poznámka: Aby sme dostali koncentráciu v jednotkách mol dm⁻³, musíme dosadzovať hustotu v jednotkách g dm⁻³.

Hodnota hustoty pre uvedený $w(\text{HCl}) = 0,1245$ nie je v tabuľkách, preto ju vypočítame podľa vzťahu (3.17)

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_1 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{w_2 - w_1} (w - w_1) = \\ &= 1,0576 \text{ g cm}^{-3} + \frac{(1,0626 - 1,0576) \text{ g cm}^{-3}}{0,13 - 0,12} (0,1245 - 0,12) \\ &= 1,0599 \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,1245 \cdot 1,0599 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}}{36,461 \text{ g mol}^{-1}} = 3,619 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

Koncentrácia kyseliny chlorovodíkovej je rovná 3,619 mol dm⁻³.

3.5.2 Vypočítajte hmotnostné zlomky oxidu uhoľnatého, molekulového vodíka a oxidu uhličitého vo vodnom plyne, ak poznáme ich molové zlomky: $x(\text{CO}) = 0,067$, $x(\text{H}_2) = 0,92$ a $x(\text{CO}_2) = 0,0050$.

Riešenie: Treba urobiť prepočet $x(A) \longrightarrow w(A)$

$$w(A) = \frac{m(A)}{m}$$

Podľa (2.4) a (3.2) môžeme odvodiť

$$m(A) = n(A) M(A) = n x(A) M(A) \quad a \quad m = \sum_i m_i$$

$$w(A) = \frac{n x(A) M(A)}{n \sum_i x_i M_i}$$

a podľa (3.8)

$$w(A) = \frac{x(A) M(A)}{\bar{M}}$$

$$\bar{M} = 0,067 \cdot 28,010 \text{ g mol}^{-1} + 0,92 \cdot 2,0158 \text{ g mol}^{-1} + 0,0050 \cdot 44,010 \text{ g mol}^{-1} \\ = 3,95 \text{ g mol}^{-1}$$

$$w(\text{CO}) = \frac{0,067 \cdot 28,010 \text{ g mol}^{-1}}{3,95 \text{ g mol}^{-1}} = 0,47 \checkmark$$

$$w(\text{H}_2) = \frac{0,92 \cdot 2,0158 \text{ g mol}^{-1}}{3,95 \text{ g mol}^{-1}} = 0,47 \checkmark$$

$$w(\text{CO}_2) = \frac{0,0050 \cdot 44,010 \text{ g mol}^{-1}}{3,95 \text{ g mol}^{-1}} = 0,056 \checkmark$$

Vodný plyn má zloženie $w(\text{CO}) = 0,47$, $w(\text{H}_2) = 0,47$ a $w(\text{CO}_2) = 0,056$.

3.5.3 Vodný roztok kyseliny sírovej má hmotnostný zlomok $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,35$. Vypočítajte koncentráciu a molalitu kyseliny sírovej v tomto roztoku.

Riešenie: $\text{H}_2\text{SO}_4 = A$, treba urobiť prepočty $w(A) \longrightarrow c(A)$
 $w(A) \longrightarrow \underline{m}(A)$

Podľa (3.10), (3.7), (2.4) a (3.4) môžeme odvodiť

$$c(A) = \frac{n(A)}{V} = \frac{n(A) \rho}{m} = \frac{m(A) \rho}{m M(A)} = \frac{w(A) \rho}{M(A)}$$

Hustota roztoku kyseliny sírovej pre $w = 0,35$ nie je uvedená v tabuľkách. Môžeme ju vypočítať z rovnice pre lineárnu interpoláciu (3.17). Pretože hodnota $w = 0,35$ leží uprostred intervalu ($w_2 = 0,36$; $w_1 = 0,34$), ktorých hodnoty hustôt sú udané v tabuľkách (ρ_2 ; ρ_1), môžeme neznámu hodnotu hustoty vypočítať pomocou aritmetického priemeru

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} = \frac{(1,2685 + 1,2518) \text{ g cm}^{-3}}{2} = 1,2602 \text{ g cm}^{-3}$$

Potom

$$c(A) = \frac{0,35 \cdot 1,2602 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}}{98,079 \text{ g mol}^{-1}} = 4,5 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

Podľa (3.15)

$$\underline{m} = \frac{n(A)}{m(S)} = \frac{m(A)}{M(A) m w(\text{H}_2\text{O})} = \frac{w(A)}{M(A) (1 - w(A))} = \frac{0,35}{98,079 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,65} = \\ = 0,00549 \text{ mol g}^{-1} = 5,5 \text{ mol kg}^{-1} \checkmark$$

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

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 pravými dolnými indexmi pri symboloch prvkov, tieto indexy sú najmenšie celé čísla. Tento vzorec nevyjadruje skutočný počet atómov jednotlivých prvkov v molekule zlúčeniny. Molekulový vzorec udáva nielen pomer, ale skutočný počet atómov v molekule. Na jeho odvodenie je potrebné stanoviť molovú hmotnosť danej látky. Molekulový vzorec je alebo totožný so stechiometrickým vzorcom alebo je jeho násobkom. Stechiometrický vzorec oxidu fosforečného je P_2O_5 , kým molekulový vzorec je P_4O_{10} alebo peroxid vodíka s molekulovým vzorcom H_2O_2 má stechiometrický vzorec HO.

Ak je stechiometrický vzorec látky $A_aB_bC_c\dots P_p$, pre koeficienty a, b, c, \dots, p platí vzťah

$$a : b : c : \dots : p = n(A) : n(B) : n(C) : \dots : n(P) \quad (3.18)$$

Číselné koeficienty sú malé celé čísla.

Stechiometrický vzorec môžeme odvodiť zo známeho obsahu jednotlivých prvkov stanoveného kvantitatívnym rozborom určitej zlúčeniny. Výsledky analýz sa uvádzajú v jednotkách hmotnosti alebo v hmotnostných zlomkoch. Aby podľa týchto údajov bolo možné vypočítať stechiometrické zloženie zlúčeniny, treba údaje o hmotnosti, príp. hmotnostných zlomkov jednotlivých prvkov prepočítať na látkové množstvá.

Látkové množstvá prvkov v zlúčenine $A_aB_bC_c\dots P_p$ sa podľa (2.4) rovnajú

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)}; \quad n(B) = \frac{m(B)}{M(B)}; \quad \dots; \quad n(P) = \frac{m(P)}{M(P)};$$

Po dosadení do (3.18)

$$a : b : \dots : p = \frac{m(A)}{M(A)} : \frac{m(B)}{M(B)} : \frac{m(P)}{M(P)}; \quad (3.19)$$

Ak poznáme hmotnostné zlomky prvkov, z ktorých sa zlúčenina skladá, potom podľa (3.4) platí

$$m(A) = w(A) m; \quad m(B) = w(B) m; \quad \dots \quad m(P) = w(P) m$$

Po dosadení do vzťahu (3.19) a po úprave dostaneme

$$a : b : \dots : p = \frac{w(A)}{M(A)} : \frac{w(B)}{M(B)} : \dots : \frac{w(P)}{M(P)} \quad (3.20)$$

Symbole A, B, . . . P môžu byť aj skupiny atómov, napr. voda, oxid prvku, viacatómový anión. Potom vieme z obsahu vody, oxidov prvkov podobným spôsobom vypočítať napríklad počet molov vody v kryštallohydrátoch, počet oxidov prvku v zlúčenine.

Ak poznáme stechiometrický vzorec zlúčeniny, môžeme vypočítať zastúpenie jednotlivých zložiek v sústave. Pre hmotnostné zlomky jednotlivých zložiek v zlúčenine $A_aB_bC_c\dots P_p$ platí

$$\begin{aligned}
 w(A) &= \frac{m(A)}{m} = \frac{a M(A)}{M(A_a B_b C_c \dots P_p)} \\
 w(B) &= \frac{m(B)}{m} = \frac{b M(B)}{M(A_a B_b C_c \dots P_p)} \\
 w(P) &= \frac{m(P)}{m} = \frac{p M(P)}{M(A_a B_b C_c \dots P_p)}
 \end{aligned}
 \tag{3.21}$$



3.6.1 Riešené príklady

3.6.1 Chemickou analýzou neznámej zlúčeniny sa zistil hmotnostný zlomok draslíka $w(K) = 0,8658$, chrómu $w(Cr) = 0,3535$ a kyslíka $w(O) = 0,3807$. Vypočítajte stechiometrický vzorec zlúčeniny.

Riešenie: Nech neznáma zlúčenina má stechiometrický vzorec $K_a Cr_b O_c$, potom indexy a, b, c zistíme podľa (3.20)

$$\begin{aligned}
 a : b : c &= \frac{w(K)}{M(K)} : \frac{w(Cr)}{M(Cr)} : \frac{w(O)}{M(O)} \\
 a : b : c &= \frac{0,8658}{39,0983} : \frac{0,3535}{51,9961} : \frac{0,3807}{15,9994} \\
 a : b : c &= 6,789 \cdot 10^{-3} : 6,7799 \cdot 10^{-3} : 2,379 \cdot 10^{-3} \\
 a : b : c &= 1 : 1 : 3,5
 \end{aligned}$$

Keďže koeficienty majú byť najmenšie celé čísla

$$a : b : c = 2 : 2 : 7 \checkmark$$

Zlúčenina má stechiometrický vzorec $K_2Cr_2O_7$.

3.6.2 Vypočítajte hmotnostný zlomok vody v pentahydráte síranu meďnatého (modrej skalici) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Riešenie: $CuSO_4 \cdot 5H_2O = A$, $H_2O = B$, $w(B) = ?$

Podľa (3.21) platí

$$w(B) = \frac{b M(B)}{M(A)} = \frac{5 \cdot 18,015 \text{ g mol}^{-1}}{249,687 \text{ g mol}^{-1}} = 0,36075 \checkmark$$

Hmotnostný zlomok vody v modrej skalici 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: $(Na_2O)_a (Al_2O_3)_b (SiO_2)_c$

$$\begin{aligned}
 a : b : c &= \frac{w(Na_2O)}{M(Na_2O)} : \frac{w(Al_2O_3)}{M(Al_2O_3)} : \frac{w(SiO_2)}{M(SiO_2)} \\
 a : b : c &= \frac{0,1182}{61,979} : \frac{0,1943}{101,961} : \frac{0,6875}{60,085} \\
 a : b : c &= 1,907 \cdot 10^{-3} : 1,906 \cdot 10^{-3} : 1,144 \cdot 10^{-2}
 \end{aligned}$$

$$a : b : c = 1 : 1 : 6 \checkmark$$

Vzorec zlúčeniny je $(\text{Na}_2\text{O})(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{SiO}_2)_6$, alebo $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$. Keďže indexy majú byť najmenšie celé čísla stechiometrický vzorec je $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, čo je minerál albit.

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: $\text{C}_a\text{H}_b = ?$

$$a : b = \frac{100 w(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{100 w(\text{H})}{M(\text{H})}$$

$$a : b = \frac{92,3}{12,011 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{7,73}{1,008 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$a : b = 7,68 : 7,67$$

$$a : b = 1 : 1$$

Zlúčenine so stechiometrickým vzorcom CH zodpovedá molová hmotnosť $M(\text{CH}) = 13,019 \text{ g mol}^{-1}$. Zo stavovej rovnice ideálneho plynu (2.8) vyplýva

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad \Rightarrow \quad M = \frac{mRT}{pV}$$

$$M = \frac{3,734 \text{ g} \cdot 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 323,15 \text{ K}}{103300 \text{ Pa} \cdot 0,003730 \text{ m}^3} = 26,04 \text{ g mol}^{-1}$$

Pomer $M : M(\text{CH}) = 26,04 \text{ g mol}^{-1} : 13,019 \text{ g mol}^{-1} = 2$ čiže $\text{C}_2\text{H}_2 \checkmark$

Molekulový vzorec zlúčeniny je C_2H_2 .

Úlohy 3.7.45 až 3.7.48.

3.7 Úlohy



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

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

3.7.2 Zmes plynov obsahuje 4,032 g divodíka, 42,02 g oxidu uhoľnatého a 59,61 g amoniaku. Vypočítajte molové 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 cm³ 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 cm³ roztoku zmesi metanolu a etanolu, v ktorom je objemový zlomok etanolu $\varphi(\text{etanolu}) = 0,39$. Vypočítajte objem metanolu a objem etanolu, ktoré potrebujeme na prípravu roztoku.

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

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 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $101,325 \text{ kPa}$.

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

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

$$[w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,186]$$

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

$$[m(\text{H}_2\text{O}) = 1113 \text{ g}]$$

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

$$[m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 73,7 \text{ g}]$$

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

$$[m(\text{NaOH}) = 51 \text{ g}]$$

3.7.10 Vodný roztok chlorečnanu draselného sa pripravil rozpustením $5,81 \text{ g}$ 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.

$$[a) \text{ aj } b) w(\text{NaNO}_3) = 0,17]$$

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 .

[$w(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,0537$]

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.

[$w(\text{KNO}_3) = 0,142$]

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 $w(\text{NaCl}) = 0,125$.

[$m(\text{H}_2\text{O}) = 116 \text{ g}$]

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 %.

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

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

[$M = 44,01 \text{ g mol}^{-1}$, CO_2]

3.7.20 Vypočítajte priemernú molovú hmotnosť zmesi metanolu a etanolu, ktorá vznikla zmiešaním $500,0 \text{ cm}^3$ metanolu a $500,0 \text{ cm}^3$ etanolu (teplota východných látok je $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

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

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

$$[m(\text{BaCl}_2) = 37,2 \text{ g}]$$

3.7.22 Vypočítajte koncentraciu dusičnanu strieborného AgNO_3 v roztoku, ktorého $35,5 \text{ cm}^3$ obsahuje $2,45 \text{ g AgNO}_3$.

$$[c(\text{AgNO}_3) = 0,406 \text{ mol dm}^{-3}]$$

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 koncentraciou $c(\text{KOH}) = 2,5 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[m(\text{tech. KOH}) = 52 \text{ g}]$$

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

$$[\rho(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 132 \text{ g dm}^{-3}]$$

3.7.26 Vypočítajte hmotnostnú koncentráciu chloridu nikelnatého v roztoku, ktorý obsahuje $0,0831 \text{ mol NiCl}_2$ v 155 cm^3 roztoku.

$$[\rho(\text{NiCl}_2) = 69,5 \text{ g dm}^{-3}]$$

3.7.27 Hmotnostná koncentrácia uhličitanu sodného je $\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 64,3 \text{ g dm}^{-3}$. 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.

$$[m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}) = 79,0 \text{ g}]$$

3.7.28 Máme $96,0 \%$ roztok kyseliny sírovej. Vypočítajte hmotnosť 155 cm^3 tohto roztoku.

$$[m = 285 \text{ g}]$$

3.7.29 Vypočítajte objem 315 g $35,0 \%$ kyseliny chlorovodíkovej.

$$[V = 268 \text{ cm}^3]$$

3.7.30 Treba pripraviť 450 g roztoku hydroxidu sodného, ktorého hustota má byť $\rho = 1,1530 \text{ g cm}^{-3}$. Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného a hmotnosť vody, potrebných na prípravu roztoku.

$$[m(\text{NaOH}) = 63,0 \text{ g}, m(\text{H}_2\text{O}) = 387 \text{ g}]$$

3.7.31 Vypočítajte látkové množstvo kyseliny dusičnej, ktoré obsahuje 1755 cm³ roztoku kyseliny dusičnej, ak hustota tohto roztoku $\rho = 1,1150 \text{ g cm}^{-3}$.

$$[n(\text{HNO}_3) = 6,209 \text{ mol}]$$

3.7.32 Roztok v objeme 160 cm³ obsahuje 21,0 g hydroxidu vápenatého Ca(OH)₂. Vypočítajte koncentráciu roztoku hydroxidu vápenatého.

$$[c = 1,77 \text{ mol dm}^{-3}]$$

3.7.33 Vypočítajte koncentráciu kyseliny dusičnej v roztoku s pH = 1.

$$[c(\text{HNO}_3) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}]$$

3.7.34 Vypočítajte hmotnosť chloridu cézneho, ktorý je rozpustený v 1 litri roztoku s pCl = 2,50.

$$[m(\text{CsCl}) = 0,532 \text{ g}]$$

3.7.35 Vypočítajte hmotnosť hydroxidu draselného, ktorú treba rozpustiť tak, aby objem roztoku bol 500 cm³ a pH = 12.

$$[m(\text{KOH}) = 0,281 \text{ g}]$$

3.7.36 Vypočítajte molalitu síranu draselného v roztoku, ak sa v 250,0 g vody rozpustilo 14,78 g K₂SO₄.

$$[\underline{m}(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,339 \text{ mol kg}^{-1}]$$

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

$$[m(\text{HNO}_3) = 4,25 \text{ g}]$$

3.7.38 Treba pripraviť 2,00 kg roztoku hydroxidu sodného s molalitou $\underline{m}(\text{NaOH}) = 3,70 \text{ mol kg}^{-1}$. Vypočítajte hmotnosť hydroxidu sodného a hmotnosť vody potrebných na prípravu roztoku.

$$[m(\text{NaOH}) = 300 \text{ g}, m(\text{H}_2\text{O}) = 1700 \text{ g}]$$

3.7.39 Roztok hydroxidu sodného má koncentráciu $c(\text{NaOH}) = 3,467 \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte hmotnostný zlomok NaOH v roztoku.

$$[w(\text{NaOH}) = 0,1223]$$

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

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

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.

$$[w(\text{HNO}_3) = 0,233, \underline{m}(\text{HNO}_3) = 4,83 \text{ mol kg}^{-1}]$$

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

$$[\underline{m}(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2,814 \text{ mol kg}^{-1}, c(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2,584 \text{ mol dm}^{-3}]$$

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.

$$[c(\text{HNO}_3) = 5,727 \text{ mol dm}^{-3}, w(\text{HNO}_3) = 0,3050]$$

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.

$$[w(\text{CuSO}_4) = 0,0578, c(\text{CuSO}_4) = 0,381 \text{ mol dm}^{-3}, \underline{m}(\text{CuSO}_4) = 0,384 \text{ mol kg}^{-1}]$$

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.



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 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

$$[a) w(\text{H}_2\text{O}) = 0,4329; b) w(\text{CoSO}_4) = 0,5514; c) w(\text{Na}) = 0,3286, w(\text{Al}) = 0,1285, w(\text{F}) = 0,5430; d) w(\text{SiO}_2) = 0,4319]$$

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.



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.



4

LÁTKOVÉ BILANCIE V SÚSTAVÁCH LÁTKOK BEZ CHEMICKÉHO DEJA

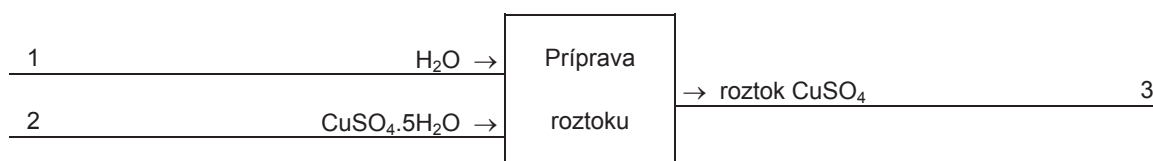
V sústavách, v ktorých neprebiehajú chemické premeny látok, ale prebiehajú len fyzikálne deje (zmiešavanie roztokov, odparovanie rozpúšťadla z roztoku), príp. fyzikálno-chemické deje (rozpúšťanie látok, kryštalizácia, zmiešavanie) sa množstvo jednotlivých látok nemení, ale ostáva nezmenené - zachováva sa. Matematickým vyjadrením skutočnosti, že množstvo jednotlivých látok sa nemení sú **rovnice látkových bilancií**. Tieto rovnice možno pre každú látku (napr. látku A) v sústave zapísať v tvare:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Množstvo látky A} \\ \text{v sústave na} \\ \text{začiatku deja} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Množstvo látky A} \\ \text{v sústave na} \\ \text{konci deja} \end{array}} \quad (4.1)$$

Keď uvedený vzťah platí pre každú látku v sústave, tak z toho vyplýva, že platí aj pre celkové množstvo látky v sústave.

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Celkové množstvo} \\ \text{všetkých látok v sú-} \\ \text{s-tave na začiatku deja} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Celkové množstvo} \\ \text{všetkých látok v sú-} \\ \text{s-tave na konci deja} \end{array}} \quad (4.2)$$

Pre osvojenie si praktických výpočtov je výhodné graficky zobrazíť 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 v sústave. Napríklad, ak sa roztok pripravil rozpúšťaním pentahydrátu síranu meďnatého vo vode, bude mať schéma vzhľad:



Poznámka: V ďalších kapitolách po zvládnutí základného aparátu bilancií je možné už schému zjednodušiť a neuvádzať v nej látky, ale požiť schému len ako grafické zobrazenie bilancie. Potom sa v schéme zvyknú uvádzať už len množstvá látok, prípadne ich zloženie (pozri použitie bilancií v kap. 6). V tejto kapitole sa schéma dôsledne stotožňuje so sústavou, v ktorej prebieha daný dej uvedený v obdĺžniku. Čísla pri jednotlivých látkach, príp. zmesiach látok v schéme sa využívajú pri označovaní symbolov v matematických vzťahoch.

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). Potom rovnice (4.1) a (4.2) budú mať v prípade hmotností látok tvar:

$$\sum_{i=1}^k m_i(A) = \sum_{j=k+1}^l m_j(A) \quad (4.3)$$

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

pričom v súlade s grafickým zobrazením m_i je hmotnosť i -tej zmesi látok vstupujúcej do sústavy, m_j je hmotnosť j -tej zmesi získanej zo sústavy po skončení deja a $m_i(A)$, príp. $m_j(A)$ 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:

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

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

Vyjadrenie množstva látky počtom častíc sa v praktickej chémii používa zriedkavo (presnejšie povedané nepriamo cez látkové množstvo - pozri definíciu mol) 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 možno využiť len za predpokladu "ideálneho správania" kvapalín a plynov, t.j. za predpokladu že platí podmienka aditivity objemov (pri zmiešavaní sústav látok nedochádza k zmenám objemu, napr. objemovej kontrakcii, a výsledný objem je súčtom objemov). Potom platí:

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

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

Rovnice (4.3) až (4.8) sa nazývajú rovnicami látkových bilancií a výpočty na ich základe sa často skrátene označujú ako **látkové bilancie**.

Pre vyššie uvedený príklad prípravy roztoku síranu meďnatého z modrej skalice a vody budú mať rovnice látkovej bilancie nasledujúci tvar. Bilancia síranu meďnatého:

$$m_1(\text{CuSO}_4) + m_2(\text{CuSO}_4) = m_3(\text{CuSO}_4) \quad (4.9)$$

Bilancia vody:

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{H}_2\text{O}) = m_3(\text{H}_2\text{O}) \quad (4.10)$$

A bilancia celkového množstva látky:

$$m_1 + m_2 = m_3 \quad (4.11)$$

Poslednú rovnicu možno interpretovať tak, že súčet hmotnosti vody a hmotnosti pentahydrátu síranu meďnatého dáva celkovú hmotnosť roztoku síranu meďnatého, čo je praktická aplikácia zákona zachovania hmotnosti látok pri príprave roztoku.

Pri bilancii jednotlivých látok sa využívajú jednotlivé spôsoby vyjadrovania zloženia sústav uvedené v predchádzajúcej časti. Napríklad pri bilancii hmotností látok je vhodné vyjadrovať množstvo jednotlivých látok na základe hmotnostných zlomkov, pre ktoré v našom príklade platí:

$$w_i(\text{CuSO}_4) = \frac{m_i(\text{CuSO}_4)}{m_i} \quad \text{pre } i = 1, 2 \text{ a } 3 \quad (4.12)$$

$$w_i(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_i(\text{H}_2\text{O})}{m_i} = 1 - w_i(\text{CuSO}_4) \quad \text{pre } i = 1, 2 \text{ a } 3 \quad (4.13)$$

Takže po dosadení za hmotnosti čistých látok do rovníc (4.9) a (4.10) dostávame rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 w_1(\text{CuSO}_4) + m_2 w_2(\text{CuSO}_4) = m_3 w_3(\text{CuSO}_4) \quad (4.14)$$

$$m_1 w_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2 w_2(\text{H}_2\text{O}) = m_3 w_3(\text{H}_2\text{O}) \quad (4.15)$$

$$m_1 + m_2 = m_3 \quad (4.16)$$

Vzťah (4.13) má závažný dopad na možnosti výpočtov. V dvojzložkovej sústave je možné nezávisle zmeniť len obsah jednej zložky a obsah druhej zložky je tým jednoznačne určený. Z toho vyplýva, že z trojice rovníc (4.14) až (4.16) sú len dve rovnice nezávislé, takže pre výpočty možno použiť len dvojicu rovníc a tretia rovnica je lineárnou kombináciou dvoch nezávislých rovníc (napr. v trojici rovníc (4.14) až (4.16) je tretia rovnica 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 máme len dve nezávislé rovnice a z nich možno vypočítať hodnoty len pre dve neznáme veličiny. Obvykle sa pre výpočty využíva bilancia celkového množstva látky a bilancia rozpustenej látky, ale nič nebráni používať bilanciu rozpúšťadla.

4.1 Príprava roztokov

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

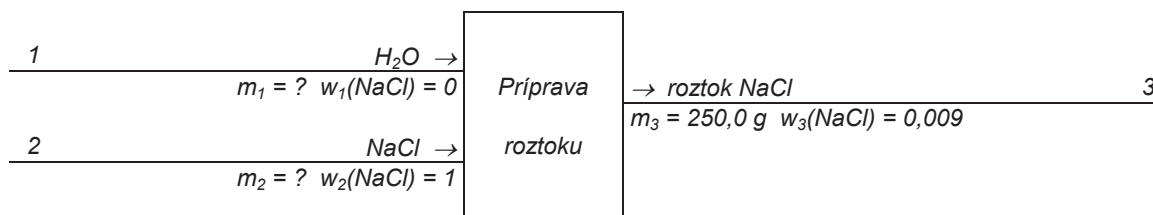
- zmiešaním čistých látok - rozpúšťadla a rozpúšťanej látky,
- zmiešaním roztokov rôzneho zloženia,
- zriedovaním koncentrovanejších roztokov,
- zvyšovaním obsahu rozpustenej látky v roztoku - pridaním látky alebo odparením časti rozpúšťadla.



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: Prípravu roztoku možno znázorniť schémou, v ktorej sú už uvedené údaje zo zadania:



Bilancia celkových množstiev látok má tvar:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Bilancia rozpustenej látky - chloridu sodného - je v tvare:

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

Po dosadení číselných údajov zo zadania dostávame:

$$m_1 + m_2 = 250,0 \text{ g}$$

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 1 = 250,0 \text{ g} \cdot 0,009$$

Z druhej rovnice získame priamo pre m_2 (prvý člen je rový nule):

$$m_2 = \frac{250,0 \text{ g} \cdot 0,009}{1} = \mathbf{2,250 \text{ g NaCl} \checkmark}$$

Po dosadení do prvej rovnice a úprave dostávame pre m_1 :

$$m_1 = 250,0 \text{ g} - 2,250 \text{ g} = \mathbf{247,8 \text{ g H}_2\text{O} \checkmark}$$

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

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

Riešenie: Zmiešanie dvoch čistých látok za vzniku ich roztoku znázorňuje schéma podobná schéme v riešení príkladu 4.1.1.

Keďže zloženie výslednej zmesi je určené hmotnostným zlomkom je výhodné bilancovať hmotnosti látok a výsledok prepočítať na objem pomocou hustôt. Podľa tabuliek je hustota metanolu $\rho(\text{MeOH}) = 0,791 \text{ g cm}^{-3}$ a hustota izopropanolu $\rho(\text{iPrOH}) = 0,785 \text{ g cm}^{-3}$. Takže pre hmotnosť metanolu platí:

$$m_1 = m(\text{MeOH}) = V(\text{MeOH}) \rho(\text{MeOH}) = 150,0 \text{ cm}^3 \cdot 0,791 \text{ g cm}^{-3} = 118,65 \text{ g}$$

Pre celkovú bilanciú látok platí:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

Pre bilanciú jednej látky, napr iPrOH platí:

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

A po dosadení číselných hodnôt dostávame sústavu dvoch rovníc:

$$118,65 \text{ g} + m_2 = m_3$$

$$118,65 \text{ g} \cdot 0 + m_2 \cdot 1 = m_3 \cdot 0,2550$$

Z prvej rovnice možno priamo za m_3 dosadiť do druhej rovnice a dostaneme:

$$118,65 \text{ g} \cdot 0 + m_2 \cdot 1 = (118,65 \text{ g} + m_2) \cdot 0,2550$$

Odtiaľ pre m_2 platí:

$$m_2 = \frac{118,65 \text{ g} \cdot 0,2550}{1 - 0,2550} = 40,61 \text{ g iPrOH}$$

Po prepočítaní pomocou hustoty na objem dostávame:

$$V_2 = V(\text{iPrOH}) = \frac{m(\text{iPrOH})}{\rho(\text{iPrOH})} = \frac{40,61 \text{ g}}{0,785 \text{ g cm}^{-3}} = 51,7 \text{ cm}^3 \text{ iPrOH} \checkmark$$

Aby sa získal roztok požadovaného zloženia treba k $150,0 \text{ cm}^3$ MeOH pridať $51,7 \text{ cm}^3$ iPrOH.

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: Po doplnení údajov zo zadania a vypočítaného w_2 má schéma tvar:

| | | | | |
|---|---|---------------------|--------------------------------------|--|
| 1 | $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ | Príprava roztoku | \rightarrow roztok CuSO_4 | 3 |
| | $m_1 = ? \quad w_1(\text{CuSO}_4) = 0$ | | | $m_3 = 450,00 \text{ g} \quad w_3(\text{CuSO}_4) = 0,0725$ |
| 2 | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ | | | |
| | $m_2 = ? \quad w_2(\text{CuSO}_4) = 0,6392$ | | | |

Hmotnostný zlomok síranu meďnatého v pentahydráte síranu meďnatého je vypočítaný podľa vzťahu (pozri kap. 3.6):

$$w_2(\text{CuSO}_4) = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{159,61 \text{ g mol}^{-1}}{249,687 \text{ g mol}^{-1}} = 0,6392$$

Na základe týchto údajov možno pre celkovú bilanciu písať rovnicu:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

a pre bilanciu síranu meďnatého rovnicu:

$$m_1(\text{CuSO}_4) + m_2(\text{CuSO}_4) = m_3(\text{CuSO}_4)$$

a po dosadení hmotnostných zlomkov v tvare:

$$m_1 w_1(\text{CuSO}_4) + m_2 w_2(\text{CuSO}_4) = m_3 w_3(\text{CuSO}_4)$$

Po dosadení číselných údajov do oboch rovníc dostávame sústavu rovníc v tvare:

$$m_1 + m_2 = 450,00 \text{ g}$$

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0,6392 = 450,00 \text{ g} \cdot 0,0725$$

Riešením z druhej rovnice dostávame:

$$m_2 = \frac{450,00 \text{ g} \cdot 0,0725}{0,6392} = 51,0 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \checkmark$$

A potom z prvej rovnice:

$$m_1 = 450,00 \text{ g} - m_2 = 450,00 \text{ g} - 51,0 \text{ g} = 399,0 \text{ g vody} \checkmark$$

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

4.1.4 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať k 350 cm^3 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 aj hodnotu objemovej kontrakcie pri tomto zmiešavaní (teplota $20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Riešenie: Zmiešavanie čistého rozpúšťadla so zmesou vyjadruje podobnú schému ako v riešení príkladu 4.1.1. Vyjadrenie zloženia roztokov hmotnostnými zlomkami, ako aj skutočnosť, že zmiešavanie roztokov nie je ideálne, vedú k tomu, že potrebné bilancie možno zostaviť nasledujúcim spôsobom. Celkovú bilanciu v tvare:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

a bilanciú etanolu v tvare:

$$m_1(\text{EtOH}) + m_2(\text{EtOH}) = m_3(\text{EtOH})$$

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

$$m_2 = m(96,0 \% \text{ EtOH}) = V(96,0 \% \text{ EtOH}) \rho(96,0 \% \text{ EtOH}) = \\ = 350 \text{ cm}^3 \cdot 0,8013 \text{ g cm}^{-3} = 280,4 \text{ g}$$

Po dosadení číselných údajov zo zadania dostávame sústavu rovníc v tvare:

$$m_1 + 280,4 \text{ g} = m_3$$

$$m_1 \cdot 0 + 280,4 \text{ g} \cdot 0,960 = m_3 \cdot 0,360$$

Riešením dostávame pre hmotnosť pridanej vody m_1 :

$$m_1 = \frac{280,4 \text{ g} \cdot (0,960 - 0,360)}{0,360} = 467,3 \text{ g} = \mathbf{467 \text{ g vody}} \checkmark$$

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:

$$V_3 = \frac{m_3}{\rho_3} = \frac{747,7 \text{ g}}{0,9431 \text{ g cm}^{-3}} = 792,8 \text{ cm}^3 \text{ 36,0 \% etanolu}$$

Hypotetický objem 36,0 % etanolu V_3' pre zmiešanie bez objemovej kontrakcie dostaneme ako súčet objemov:

$$V_3' = V_1 + V_2$$

Pre objem vody V_1 po prepočítaní pomocou hustoty z tabuliek platí:

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{467,3 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3}} = 468,1 \text{ cm}^3 = \mathbf{468 \text{ cm}^3 \text{ vody}} \checkmark$$

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

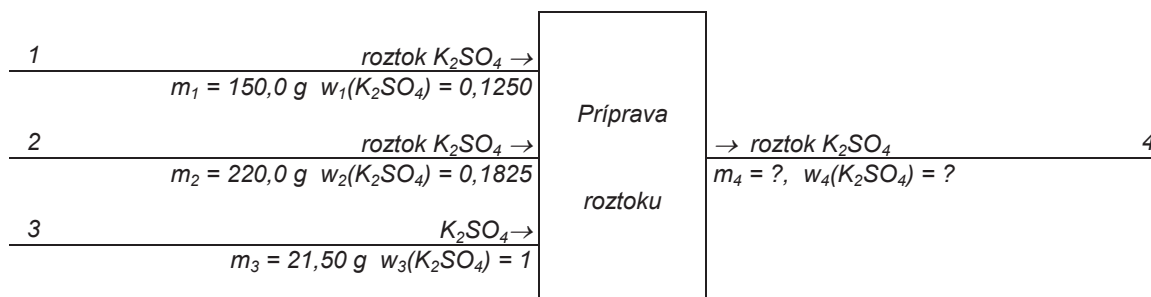
Pre objemovú kontrakciu potom platí:

$$\Delta V = V_3' - V_3 = 818,1 \text{ cm}^3 - 792,8 \text{ cm}^3 = \mathbf{25,3 \text{ cm}^3} \checkmark$$

Na zriedenie etanolu potrebujeme 468 cm³ vody a objemová kontrakcia pri tomto zmiešavaní je 25,3 cm³.

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

Riešenie: Túto prípravu roztoku znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov zo zadania má tvar:



Pre bilanciú K₂SO₄ možno písať rovnicu:

$$m_1(\text{K}_2\text{SO}_4) + m_2(\text{K}_2\text{SO}_4) + m_3(\text{K}_2\text{SO}_4) = m_4(\text{K}_2\text{SO}_4)$$

a po dosadení zo vzťahu pre hmotnostný zlomok do bilancie K_2SO_4 dostávame:

$$m_1 w_1(K_2SO_4) + m_2 w_2(K_2SO_4) + m_3 w_3(K_2SO_4) = m_4 w_4(K_2SO_4)$$

Po dosadení číselných údajov dostaneme rovnicu v tvare:

$$150,0 \text{ g} \cdot 0,1250 + 220,0 \text{ g} \cdot 0,1825 + 21,50 \text{ g} \cdot 1 = m_4 w_4(K_2SO_4)$$

Pre celkovú bilanciu platí:

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4$$

a po dosadení číselných údajov dostávame:

$$150,0 \text{ g} + 220,0 \text{ g} + 21,50 \text{ g} = m_4$$

Dve rovnice s číselnými údajmi predstavujú sústavu dvoch rovníc o dvoch neznámych, ktorej riešením dostávame:

$$m_4 = \mathbf{391,5 \text{ g roztoku } K_2SO_4} \checkmark$$

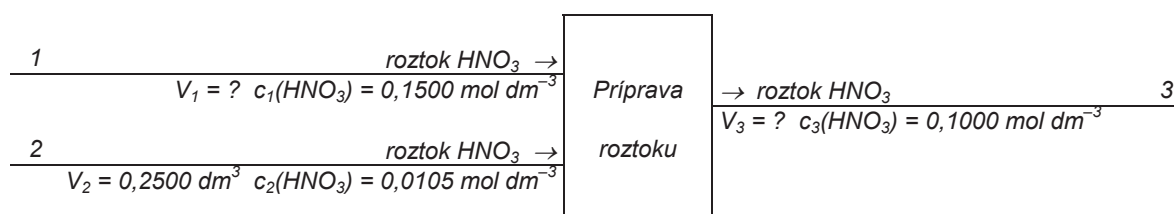
$$w_4(K_2SO_4) = \frac{150,0 \text{ g} \cdot 0,1250 + 220,0 \text{ g} \cdot 0,1825 + 21,50 \text{ g} \cdot 1}{150,0 \text{ g} + 220,0 \text{ g} + 21,50 \text{ g}} =$$

$$= \mathbf{0,2054} \checkmark$$

Po zmiešaní sa získa 391,5 g 20,54 % roztoku K_2SO_4 .

4.1.6 Vypočítajte, aké množstvo kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,1500 \text{ mol dm}^{-3}$ je treba pridať ku 250 cm^3 (presne) 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: Zo zadania, v ktorom je zloženie roztokov zadané cez koncentráciu kyseliny vyplýva, že najvýhodnejšie bude bilancovať látkové množstvo kyseliny dusičnej a celkovú bilanciu bude najjednoduchšie (pri ideálnom správaní sa roztokov) uskutočniť bilanciou objemu roztokov. Schéma s údajmi (v súlade s definíciou koncentrácie sa objem roztoku uvádza v dm^3) zo zadania má tvar:



Bilancia celkového množstva látky má tvar:

$$V_1 + V_2 = V_3$$

Bilanciu kyseliny dusičnej možno uviesť v tvare:

$$n_1(\text{HNO}_3) + n_2(\text{HNO}_3) = n_3(\text{HNO}_3)$$

Po úprave na základe definičného vzťahu (3.10) pre koncentráciu dostávame:

$$V_1 c_1(\text{HNO}_3) + V_2 c_2(\text{HNO}_3) = V_3 c_3(\text{HNO}_3)$$

Po dosadení údajov zo zadania dostávame sústavu rovníc v tvare

$$V_1 + 0,2500 \text{ dm}^3 = V_3$$

$$V_1 \cdot 0,1500 \text{ mol dm}^{-3} + 0,2500 \text{ dm}^3 \cdot 0,0105 \text{ mol dm}^{-3} =$$

$$= V_3 \cdot 0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$$

Keďže v zadaní je dôraz položený na výpočet objemu V_1 , riešenie bude viesť cez dosadenie za objem V_3 :

$$V_1 \cdot 0,1500 \text{ mol dm}^{-3} + 0,2500 \cdot 0,0105 \text{ mol dm}^{-3} =$$

$$= (V_1 + 0,2500 \text{ dm}^3) \cdot 0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$$

odkiaľ pre V_1 dostávame:

$$V_1 = \frac{0,2500 \text{ dm}^3 \cdot (0,1000 - 0,0105) \text{ mol dm}^{-3}}{(0,1500 - 0,1000) \text{ mol dm}^{-3}} = 0,4475 \text{ dm}^3 =$$

$$= 0,448 \text{ dm}^3 \text{ roztoku HNO}_3 \checkmark$$

Na prípravu roztoku je treba $0,448 \text{ dm}^3$ $0,1500 \text{ mol dm}^{-3}$ roztoku HNO_3 .

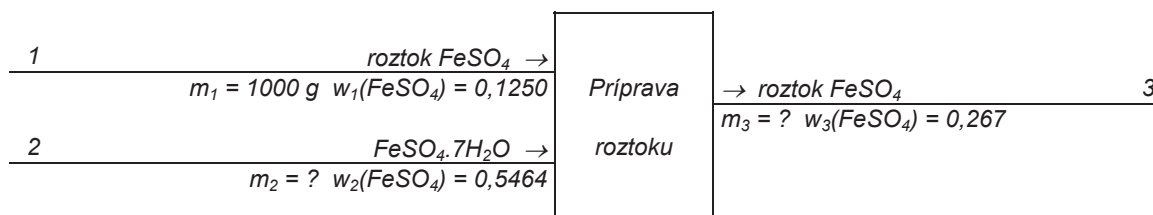
4.1.7 Vypočítajte, aké množstvo zelenej skalice $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ je potrebné pridať ku 1000 g 12,50 % roztoku síranu železnatého, aby sa získal roztok nasýtený pri 35°C , ak rozpustnosť je $s(35^\circ\text{C}) = 26,7 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie: Prípravu roztoku rozpúšťaním kryštalohydrátu v roztoku znázorňuje nasledujúca schéma. Sú v nej doplnené údaje zo zadania, pričom pre zloženie nasýteného roztoku zo zadanej rozpustnosti dostávame:

$$w_3(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{m(\text{roztoku})} = \frac{26,7 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 0,267$$

a pre hmotnostný zlomok síranu železnatého v heptahydráte síranu železnatého dostávame:

$$w_2(\text{FeSO}_4) = \frac{M(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,913 \text{ g mol}^{-1}}{278,018 \text{ g mol}^{-1}} = 0,5464$$



Rovnice látkových bilancií majú tvar:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1(\text{FeSO}_4) + m_2 w_2(\text{FeSO}_4) = m_3 w_3(\text{FeSO}_4)$$

Po dosadení číselných údajov majú tvar:

$$1000 \text{ g} + m_2 = m_3$$

$$1000 \text{ g} \cdot 0,1250 + m_2 \cdot 0,5464 = m_3 \cdot 0,267$$

Po dosadení za m_3 z prvej rovnice do druhej a úprave dostávame:

$$m_2 = \frac{1000 \text{ g} \cdot (0,267 - 0,1250)}{(0,5464 - 0,267)} = 508,2 \text{ g} = 508 \text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \checkmark$$

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 , ak rozpustnosť je $s(40^\circ\text{C}) = 318,02 \text{ g AgNO}_3$ na 100,0 g H_2O .

Riešenie: Na rozdiel od všetkých doteraz uvedených príkladov je odparovanie postup prípravy, pri ktorom sa z jedného roztoku určitého zloženia získa nový roztok a odparené rozpúšťadlo, čo znázorňuje nasledujúca schéma. Sú v nej už uvedené údaje zo zadania, pričom zloženie výsledného roztoku sa vypočítalo podľa vzťahu:

$$w_3(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{m(\text{AgNO}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{318,02 \text{ g}}{318,02 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,7608$$

| | | | | |
|---|---|---------------------|---|---|
| 1 | roztok $\text{AgNO}_3 \rightarrow$ $m_1 = 325,5 \text{ g}$ $w_1(\text{AgNO}_3) = 0,1500$ | Príprava roztoku | \rightarrow odparená voda, H_2O | 2 |
| | | | $m_2 = ?$ $w_2(\text{AgNO}_3) = 0$ | |
| | | | \rightarrow roztok AgNO_3 | 3 |
| | | | $m_3 = ?$ $w_3(\text{AgNO}_3) = 0,7608$ | |

Pre takýto systém je sústava bilančných rovníc v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{AgNO}_3) = m_2 w_2(\text{AgNO}_3) + m_3 w_3(\text{AgNO}_3)$$

A po dosadení číselných údajov dostaneme sústavu rovníc v tvare:

$$325,5 \text{ g} = m_2 + m_3$$

$$325,5 \text{ g} \cdot 0,1500 = m_2 \cdot 0 + m_3 \cdot 0,7608$$

Z druhej rovnice priamo pre m_3 dostávame:

$$m_3 = \frac{325,5 \text{ g} \cdot 0,1500}{0,7608} = 64,18 \text{ g roztoku AgNO}_3$$

Po dosadení získaného výsledku do prvej rovnice a úprave dostávame:

$$m_2 = 325,5 \text{ g} - 64,18 \text{ g} = \mathbf{261,3 \text{ g vody}} \quad \checkmark$$

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

4.1.9 Vypočítajte, aké objemy benzénu (benz) a toluénu (tol) je potrebné zmiešať, aby sa získalo 2,50 kg zmesi rozpúšťadiel, v ktorej obsah toluénu má byť $x(\text{tol}) = 0,2555$

Riešenie: V zadaní je zloženie sústavy vyjadrené molovým zlomkom $x(\text{tol})$ a množstvo látky je vyjadrené hmotnosťou sústavy. Existujú dve cesty riešenia, jedna vedie cez vyjadrenie množstva látky v sústave látkovým množstvom a druhá cesta vedie cez vyjadrenie zloženia sústavy hmotnostným zlomkom. Obidve cesty sú rovnocenné a v oboch sa objaví potreba vyjadrenia priemernej molovej hmotnosti zmesi, ktorá je definovaná vzťahom (3.8):

$$\bar{M} = \sum_i x_i M_i$$

Takže v našom prípade platí:

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

Pre látkové množstvo zmesi platí:

$$n_3 = n(\text{zmesi}) = \frac{m(\text{zmesi})}{\bar{M}} = \frac{2500 \text{ g}}{81,69 \text{ g mol}^{-1}} = 30,60 \text{ mol}$$

Pre látkové bilancie možno písať rovnice:

$$n_1 + n_2 = n_3$$

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

Po dosadení číselných údajov dostávame:

$$n_1 + n_2 = 30,60$$

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

Z druhej rovnice pre látkové množstvo toluénu dostávame:

$$n_2 = \frac{30,60 \text{ mol} \cdot 0,2555}{1} = 7,818 \text{ mol toluénu}$$

a potom pre látkové množstvo benzénu z prvej rovnice platí:

$$n_1 = 30,60 \text{ mol} - 7,818 \text{ mol} = 22,78 \text{ mol}$$

S použitím tabulkových údajov o molových hmotnostiach zložiek a ich hustotách pre výpočet objemu dostávame:

$$\begin{aligned} V(\text{tol}) &= \frac{n(\text{tol}) M(\text{tol})}{\rho(\text{tol})} = \\ &= \frac{7,818 \text{ mol} \cdot 92,14 \text{ g mol}^{-1}}{0,867 \text{ g cm}^{-3}} = 831 \text{ cm}^3 \checkmark \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V(\text{benz}) &= \frac{n(\text{benz}) M(\text{benz})}{\rho(\text{benz})} = \\ &= \frac{22,78 \text{ mol} \cdot 78,11 \text{ g mol}^{-1}}{0,874 \text{ g cm}^{-3}} = 2036 \text{ cm}^3 = 2,04 \text{ dm}^3 \text{ benzénu} \checkmark \end{aligned}$$

☑ Na prípravu zmesi rozpúšťadiel treba 2,04 dm³ benzénu a 831 cm³ toluénu.

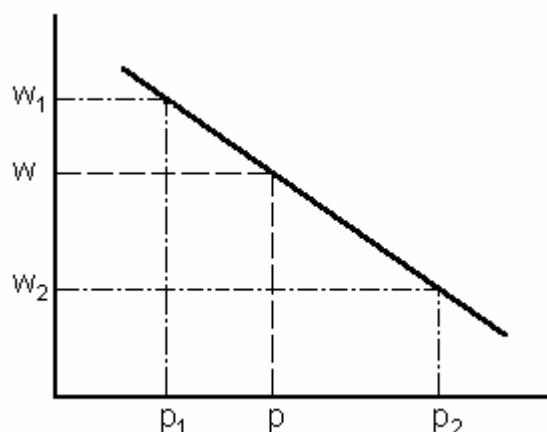
4.1.10 Vypočítajte množstvo vody a 96,0 % roztoku kyseliny sírovej potrebné na prípravu 150,0 cm³ náplne do exsikátora, v ktorom má byť pri teplote 20 °C parciálny tlak vodných pár $p(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \text{ kPa}$.

✍ **Riešenie:** Z tabuliek závislosti tlaku vodných pár nad roztokmi rôzneho zloženia pri rôznych teplotách nájdeme:

$p_1(\text{H}_2\text{O}) = 0,793 \text{ kPa}$ sa dosiahne kyselinou sírovou s $w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,50$ a

$p_2(\text{H}_2\text{O}) = 1,27 \text{ kPa}$ sa dosiahne kyselinou sírovou s $w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,40$

Pre požadovaný tlak vodnej pary určíme zloženie roztoku kyseliny sírovej lineárnou interpoláciou (pozri 3.17), pre ktorú podľa obrázku platí:



$$\text{tg } \alpha = \frac{w_2 - w_1}{p_2 - p_1} = \frac{w - w_1}{p - p_1}$$

Odkiaľ pre hľadané zloženie dostávame:

$$w = w_1 + \frac{w_2 - w_1}{p_2 - p_1} (p - p_1)$$

A po dosadení číselných údajov:

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

Keďže zmiešavanie kyseliny sírovej s vodou nie je ideálne, tak bilancie sa musia vykonať cez hmotnosť látok. Máme pripraviť 150,0 cm³ 45,7 % kyseliny a tak pre výpočet potrebujeme jej hustotu. Hustotu možno určiť z tabuľkových údajov lineárnou interpoláciou. V tabuľkách nájdeme:

hustotu $\rho_1 = 1,3386 \text{ g cm}^{-3}$ pre kyselinu s $w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4400$ a

hustotu $\rho_2 = 1,3570 \text{ g cm}^{-3}$ pre kyselinu s $w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4600$.

Podľa (3.17) sa potom pre lineárnu interpoláciu využije vzťah:

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

Po dosadení číselných údajov získame:

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

Pre hmotnosť výsledného roztoku, ktorý sa má pripraviť platí:

$$m_3 = V \rho = 150,0 \text{ cm}^3 \cdot 1,3542 \text{ g cm}^{-3} = 203,1 \text{ g roztoku H}_2\text{SO}_4$$

Takže teraz už možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m_2 w_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_3 w_3(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

a po dosadení číselných údajov v tvare:

$$m_1 + m_2 = 203,1 \text{ g}$$

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0,960 = 203,1 \text{ g} \cdot 0,457$$

Riešením rovníc dostávame:

$$m_2 = \frac{203,1 \text{ g} \cdot 0,457}{0,960} = \mathbf{96,7 \text{ g } 96,0 \% \text{ H}_2\text{SO}_4} \checkmark$$

$$m_1 = 203,1 \text{ g} - 96,7 \text{ g} = \mathbf{106,4 \text{ g vody}} \checkmark$$

Aj keď uvedené výsledky sú odpoveďou na úlohu zadania, pri kvapalinách je logickejšie vypočítať ich objem. S hustotami z tabuliek potom dostávame:

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{96,7 \text{ g}}{1,8355 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{52,7 \text{ cm}^3 \text{ } 96,0 \% \text{ H}_2\text{SO}_4} \checkmark$$

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{106,4 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3}} = 106,6 = \mathbf{107 \text{ cm}^3 \text{ vody}} \checkmark$$

Na prípravu roztoku kyseliny sírovej potrebujeme 52,7 cm³ 96,0 % H₂SO₄ a 107 cm³ vody.

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 udržuje rovnovážny stav (podrobnejšie o kryštalizácii pozri učebnicu J. Kohout, M. Melník, Anorganická chémia I, STU Bratislava 1997, str. 74). Z hľadiska podstaty sa vynútenie kryštalizácie látok z roztokov dá dosiahnuť tromi odlišnými spôsobmi:

- Zmenšením rozpustnosti látky (podrobnejšie o rozpustnosti látky a spôsoboch jej vyjadrovania pozri učebnicu J. Kohout, M. Melník, Anorganická chémia I, STU Bratislava 1997, str. 72) v danom rozpúšťadle zmenou teploty roztoku - neizotermická kryštalizácia.
- Zmenšením množstva rozpúšťadla v systéme pri konštantnej teplote a tým aj konštantnej rozpustnosti - izotermická kryštalizácia.
- Zmenou rozpustnosti látky zmenou zloženia použitého rozpúšťadla tým, že sa k roztoku pridá iné rozpúšťadlo, 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:

$s(50\text{ °C}) = 42,6\text{ g KCl na } 100\text{ g H}_2\text{O}$ a

$s(20\text{ °C}) = 34,1\text{ g KCl na } 100\text{ g H}_2\text{O}$.

Riešenie: Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov zo zadania má tvar:

| | | | | |
|---|---|---------------|------------------------------------|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 50 °C → $m_1 = 250,0\text{ g } w_1(\text{KCl}) = 0,2987$ | Kryštalizácia | → kryštalický KCl | 2 |
| | | | $m_2 = ? w_2(\text{KCl}) = 1$ | |
| | | | → roztok nasýtený pri 20 °C | 3 |
| | | | $m_3 = ? w_3(\text{KCl}) = 0,2543$ | |

Prítom hmotnostné zlomky boli vypočítané zo zadaných rozpustností podľa definície hmotnostného zlomku (3.4) nasledovne:

$$w_1(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{42,6\text{ g}}{42,6\text{ g} + 100,0\text{ g}} = 0,2987$$

$$w_3(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{34,1\text{ g}}{34,1\text{ g} + 100,0\text{ g}} = 0,2543$$

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

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

A po dosadení číselných hodnôt dostávame:

$$250,0 \text{ g} = m_2 + m_3$$

$$250,0 \text{ g} \cdot 0,2987 = m_2 \cdot 1 + m_3 \cdot 0,2543$$

Keďže potrebujeme zistiť hmotnosť m_2 , dosadíme do druhej rovnice z prvej rovnice:

$$m_3 = 250,0 \text{ g} - m_2$$

A po úprave dostávame:

$$m_2 = \frac{250,0 \text{ g} \cdot (0,2987 - 0,2543)}{1 - 0,2543} = 14,9 \text{ g KCl} \checkmark$$

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 sú:

$s(70 \text{ °C}) = 20,0 \text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H_2O a $s(20 \text{ °C}) = 11,1 \text{ g K}_2\text{SO}_4$ na 100 g H_2O .

Riešenie: Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov zo zadania má tvar:

| | | | | |
|---|--|---------------|---|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 70 °C → $m_1 = ? \quad w_1(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,1667$ | Kryštalizácia | → kryštalický K_2SO_4 $m_2 = 250,0 \text{ g} \quad w_2(\text{K}_2\text{SO}_4) = 1$ | 2 |
| | | | → roztok nasýtený pri 20 °C $m_3 = ? \quad w_3(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,0999$ | 3 |

Hmotnostné zlomky boli vypočítané zo zadaných rozpustností:

$$w_1(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_4)}{m(\text{K}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{20,0 \text{ g}}{20,0 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,1667$$

$$w_3(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_4)}{m(\text{K}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{11,1 \text{ g}}{11,1 \text{ g} + 100,0 \text{ g}} = 0,0999$$

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{K}_2\text{SO}_4) = m_2 w_2(\text{K}_2\text{SO}_4) + m_3 w_3(\text{K}_2\text{SO}_4)$$

A po dosadení číselných hodnôt dostávame:

$$m_1 = 250,0 \text{ g} + m_3$$

$$m_1 \cdot 0,1667 = 250,0 \text{ g} \cdot 1 + m_3 \cdot 0,0999$$

Potrebujeme zistiť hmotnosť m_1 a tak dosadíme do druhej rovnice za m_3 z prvej rovnice:

$$m_3 = m_1 - 250,0 \text{ g}$$

Po úprave dostávame:

$$m_1 = \frac{250,0 \text{ g} \cdot (1,0000 - 0,0999)}{0,1667 - 0,0999} = 3371 \text{ g K}_2\text{SO}_4 \checkmark$$

Ochladením 3370 g roztoku nasýteného pri 70 °C na 20 °C získame 250 g K_2SO_4 .

4.2.3 Vypočítajte, aké množstvo heptahydrátu síranu zinočnatého $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 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 a $s(0\text{ °C}) = 29,1\text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

 **Riešenie:** Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma s údajmi:

| | | | | |
|---|---|---------------|---|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 35 °C → | Kryštalizácia | → kryštalický $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 2 |
| | $m_1 = 125,0\text{ g}$ $w_1(\text{ZnSO}_4) = 0,396$ | | $m_2 = ?$ $w_2(\text{ZnSO}_4) = 0,5614$ | |
| | | | → roztok nasýtený pri 0 °C | 3 |
| | | | $m_3 = ?$ $w_3(\text{ZnSO}_4) = 0,291$ | |

Hmotnostné zlomky boli vypočítané z rozpustností a zo zloženia kryštalohydrátu nasledovne:

$$w_1(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{m(\text{roztoku})} = \frac{39,6\text{ g}}{100,0\text{ g}} = 0,396$$

$$w_2(\text{ZnSO}_4) = \frac{M(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{161,45\text{ g mol}^{-1}}{287,56\text{ g mol}^{-1}} = 0,5614$$

$$w_3(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{m(\text{roztoku})} = \frac{29,1\text{ g}}{100,0\text{ g}} = 0,291$$

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{ZnSO}_4) = m_2 w_2(\text{ZnSO}_4) + m_3 w_3(\text{ZnSO}_4)$$

A po dosadení číselných hodnôt dostávame:

$$125,0\text{ g} = m_2 + m_3$$

$$125,0\text{ g} \cdot 0,396 = m_2 \cdot 0,5614 + m_3 \cdot 0,291$$

Potrebujeme zistiť hmotnosť m_2 , takže dosadíme do druhej rovnice z prvej rovnice:

$$m_3 = 125,0\text{ g} - m_2$$

A po úprave dostávame:

$$m_2 = \frac{125,0\text{ g} \cdot (0,396 - 0,291)}{0,5614 - 0,291} = 48,5\text{ g ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \checkmark$$

 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 a $s(10\text{ °C}) = 17,1\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

 **Riešenie:** Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma:

| | | | | |
|---|--|---------------|---|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 55 °C → | Kryštalizácia | → kryštalický $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 2 |
| | $m_1 = ?$ $w_1(\text{FeSO}_4) = 0,342$ | | $m_2 = 25,0\text{ g}$ $w_2(\text{FeSO}_4) = 0,5464$ | |
| | | | → roztok nasýtený pri 10 °C | 3 |
| | | | $m_3 = ?$ $w_3(\text{FeSO}_4) = 0,171$ | |

Hmotnostné zlomky boli vypočítané zo zadania podobne ako v predchádzajúcom príklade. Na základe uvedeného možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{FeSO}_4) = m_2 w_2(\text{FeSO}_4) + m_3 w_3(\text{FeSO}_4)$$

A po dosadení číselných hodnôt dostávame:

$$m_1 = 25,0 \text{ g} + m_3$$

$$m_1 \cdot 0,342 = 25,0 \text{ g} \cdot 0,5464 + m_3 \cdot 0,171$$

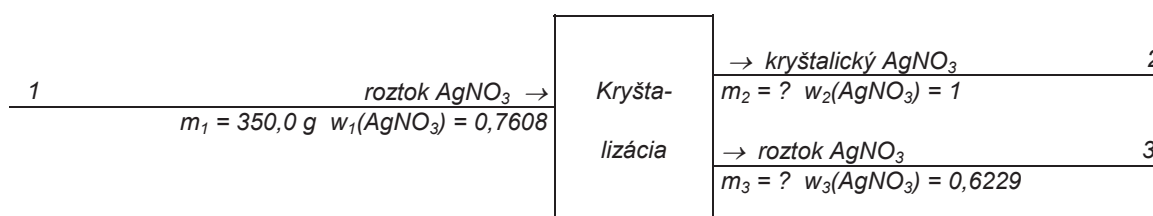
Po dosadení a úprave dostávame:

$$m_1 = \frac{25,0 \text{ g} \cdot (0,5464 - 0,171)}{0,342 - 0,171} = 54,9 \text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \checkmark$$

Ochladením 54,9 g nasýteného roztoku síranu železnatého 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 často 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 a $s(10 \text{ °C}) = 165,17 \text{ g AgNO}_3$ na 100,0 g H_2O .

Riešenie: Kryštalizáciu znázorňuje schéma:



Pre takýto systém je sústava bilančných rovníc v tvare:

$$350,0 \text{ g} = m_2 + m_3$$

$$350,0 \text{ g} \cdot 0,7608 = m_2 \cdot 1 + m_3 \cdot 0,6229$$

Po úprave

$$m_3 = \frac{350,0 \text{ g} \cdot (1,0000 - 0,7608)}{1,0000 - 0,6229} = 225,66 \text{ g roztoku AgNO}_3$$

Z toho pre možnú stratu pri vylíati matečného lúhu dostávame

$$m_3(\text{AgNO}_3) = m_3 w_3(\text{AgNO}_3) = 225,66 \text{ g} \cdot 0,6229 = 140,6 \text{ g} \checkmark$$

Vylíatím 225,7 g roztoku po kryštalizácii dusičnanu strieborného by sa stratilo 140,6 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, realizovanej 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.

Riešenie: Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma s údajmi:

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1(\text{NaCl}) = m_2 w_2(\text{NaCl}) + m_3 w_3(\text{NaCl}) + m_4 w_4(\text{NaCl})$$

A po dosadení číselných hodnôt dostávame:

$$500,0 \text{ g} = m_2 + 100,0 + m_4$$

$$500,0 \text{ g} \cdot 0,2711 = m_2 \cdot 0 + 100,0 \text{ g} \cdot 1 + m_4 \cdot 0,2711$$

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 70 °C → | Izoter- mická kryšťa- lizácia | → odparená H ₂ O | 2 |
| | m ₁ = 500,0 g w ₁ (NaCl) = 0,2711 | | m ₂ = ? w ₂ (NaCl) = 0 | |
| | | | → kryštalický NaCl | 3 |
| | | | m ₃ = 100,0 g w ₃ (NaCl) = 1 | |
| | | | → roztok nasýtený pri 70 °C | 4 |
| | | | m ₄ = ? w ₄ (NaCl) = 0,2711 | |

Z nich po úprave dostávame:

$$m_2 = \frac{100,0 \text{ g} \cdot (1,0000 - 0,2711)}{0,2711 - 0,0000} = 269 \text{ g H}_2\text{O} \quad \checkmark$$

Poznámka: Všimnite si, že výsledok je nezávislý na začiatočnom množstve použitého roztoku.

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

4.2.7 Vypočítajte, aké množstvo modrej skalice CuSO₄·5H₂O vykryštalizuje pri izotermickej kryštalizácii z roztoku síranu meďnatého nasýteného pri teplote 20 °C, keď sa počas izotermickej kryštalizácie odparilo 200,0 g vody. Rozpustnosť síranu meďnatého je s(20 °C) = 17,2 g CuSO₄ na 100 g roztoku.

Riešenie: Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma s údajmi:

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| 1 | roztok nasýtený pri 20 °C → | Izoter- mická kryšťa- lizácia | → odparená H ₂ O | 2 |
| | m ₁ = ? w ₁ (CuSO ₄) = 0,172 | | m ₂ = 200,0 g w ₂ (CuSO ₄) = 0 | |
| | | | → kryštalický CuSO ₄ ·5H ₂ O | 3 |
| | | | m ₃ = ? w ₃ (CuSO ₄) = 0,6392 | |
| | | | → roztok nasýtený pri 20 °C | 4 |
| | | | m ₄ = ? w ₄ (CuSO ₄) = 0,172 | |

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1(\text{CuSO}_4) = m_2 w_2(\text{CuSO}_4) + m_3 w_3(\text{CuSO}_4) + m_4 w_4(\text{CuSO}_4)$$

Po dosadení číselných hodnôt do rovníc, ich úprave dostávame:

$$m_3 = \frac{200,0 \text{ g} \cdot (0,172 - 0,0000)}{0,6392 - 0,172} = 73,6 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad \checkmark$$

Poznámka: Všimnite si, že sa príklad vyriešil aj bez údajov o začiatočnom množstve použitého roztoku.

Izotermickou kryštalizáciou z daného nasýteného roztoku získame 73,6 g CuSO₄·5H₂O.

4.2.8 Vypočítajte, aká je rozpustnosť síranu draselného v zmesi etanol - voda, keď po pridaní 100,0 g etanolu k 150,0 g roztoku K_2SO_4 nasýteného pri teplote $20\text{ }^\circ\text{C}$, sa získalo 12,00 g kryštalického K_2SO_4 . Rozpustnosť síranu draselného vo vode je $s(20\text{ }^\circ\text{C}) = 11,1\text{ g } K_2SO_4$ na $100\text{ g } H_2O$.

Riešenie: Uvedenú kryštalizáciu znázorňuje schéma, ktorá po doplnení údajov zo zadania má tvar:

| | | | | |
|---|--|---------------|--|---|
| 1 | roztok nasýtený pri $20\text{ }^\circ\text{C}$ → | Kryštalizácia | → kryštalický K_2SO_4 | 3 |
| | $m_1 = 150,0\text{ g}$ $w_1(K_2SO_4) = 0,0999$ | | $m_3 = 12,00\text{ g}$ $w_3(K_2SO_4) = 1$ | |
| 2 | etanol | | → roztok nasýtený pri $20\text{ }^\circ\text{C}$ | 4 |
| | $m_2 = 100,0\text{ g}$ $w_2(K_2SO_4) = 0$ | | $m_4 = ?$ $w_4(K_2SO_4) = ?$ | |

Na základe toho možno písať rovnice látkových bilancií v tvare:

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4$$

$$m_1 w_1(K_2SO_4) + m_2 w_2(K_2SO_4) = m_3 w_3(K_2SO_4) + m_4 w_4(K_2SO_4)$$

Po dosadení číselných hodnôt a úprave dostávame:

$$w_4(K_2SO_4) = \frac{(150,0 \cdot 0,0999 + 100,0 \cdot 0 - 12,00 \cdot 1)\text{ g}}{(150,0 + 100,0 - 12,00)\text{ g}} = 0,0125$$

Z uvedeného výsledku vyplýva, že v matečnom lúhu ostalo

$$m_4(K_2SO_4) = m_4 w_4(K_2SO_4) = 238,0\text{ g} \cdot 0,0125 = 2,98\text{ g } K_2SO_4$$

Pre množstvo zmesného rozpúšťadla platí:

$$m_4(\text{rozp}) = m_4 - m_4(K_2SO_4) = 238,0\text{ g} - 2,98\text{ g} = 235,0\text{ g}$$

Z toho pre rozpustnosť vyjadrenú na 100 g zmesného rozpúšťadla dostávame

$$s' = \frac{2,98\text{ g}}{235\text{ g}} \cdot 100\text{ g} = 1,27\text{ g } K_2SO_4 \text{ na } 100\text{ g zmesného rozpúšťadla} \checkmark$$

Rozpustnosť K_2SO_4 vo výslednej zmesi rozpúšťadiel je 1,27 g K_2SO_4 na 100 g zmesi rozpúšťadiel.

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 sa jedná o kombinácie prípravy roztokov požadovaného zloženia a následnej kryštalizácie, prípadne 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 potom 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 $60\text{ }^\circ\text{C}$ a vypočítajte, aký bude výťažok kryštalizácie, keď takto získaný roztok ochladíme na teplotu $20\text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosti dichrómanu didraselného sú: $s(20\text{ }^\circ\text{C}) = 12,1\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 100 g roztoku a $s(60\text{ }^\circ\text{C}) = 30,0\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ na 100 g roztoku.

Riešenie: Prvú časť výpočtu zobrazuje schéma

| | | | | |
|---|--|---------------------|---|---|
| 1 | roztok $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow$ $m_1 = 255,0\text{ g}$ $w_1(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,1755$ | Príprava roztoku | \rightarrow odparená voda, H_2O | 2 |
| | | | $m_2 = ?$ $w_2(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0$ | |
| | | | \rightarrow roztok $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 3 |
| | | | $m_3 = ?$ $w_3(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,3000$ | |

a sústava bilančných rovníc v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = m_2 w_2(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) + m_3 w_3(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

Po dosadení dostávame sústavu rovníc, ktorej riešením získame:

$$m_2 = 105,8\text{ g} = \mathbf{106\text{ g vody odpariť}} \checkmark$$

$$m_3 = 149,2\text{ g roztoku nasýteného pri } 60\text{ }^\circ\text{C}$$

Pre druhú časť riešenia platí schéma

| | | | | |
|---|--|---------------|--|---|
| 3 | roztok nasýtený pri $60\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$ $m_3 = 149,2\text{ g}$ $w_3(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,3000$ | Kryštalizácia | \rightarrow kryštalický $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 4 |
| | | | $m_4 = ?$ $w_4(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1$ | |
| | | | \rightarrow roztok nasýtený pri $20\text{ }^\circ\text{C}$ | 5 |
| | | | $m_5 = ?$ $w_5(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,121$ | |

a rovnice v tvare

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = m_4 w_4(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) + m_5 w_5(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

Po dosadení riešením rovníc získame:

$$m_4 = \mathbf{30,4\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ vykryštalizuje}} \checkmark$$

Z roztoku $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ je treba odpariť 106 g vody a následnou kryštalizáciou sa získa 30,4 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

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 $40\text{ }^\circ\text{C}$ a 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 $10\text{ }^\circ\text{C}$. Rozpustnosti síranu horečnatého sú: $s(10\text{ }^\circ\text{C}) = 21,8\text{ g MgSO}_4$ na 100 g roztoku a $s(40\text{ }^\circ\text{C}) = 30,6\text{ g MgSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie: Prvú časť výpočtu zobrazuje schéma

| | | | | |
|---|--|---------------------|---|---|
| 1 | roztok $\text{MgSO}_4 \rightarrow$ $m_1 = 300,0 \text{ g}$ $w_1(\text{MgSO}_4) = 0,255$ | Príprava roztoku | \rightarrow odparená voda, H_2O | 2 |
| | | | $m_2 = ?$ $w_2(\text{MgSO}_4) = 0$ | |
| | | | \rightarrow roztok MgSO_4 | 3 |
| | | | $m_3 = ?$ $w_3(\text{MgSO}_4) = 0,306$ | |

a sústava bilančných rovníc v tvare:

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$m_1 w_1(\text{MgSO}_4) = m_2 w_2(\text{MgSO}_4) + m_3 w_3(\text{MgSO}_4)$$

Po dosadení číselných údajov riešením sústavy rovníc získame:

$$m_2 = 50,0 \text{ g vody odpariť}$$

$$m_3 = 250,0 \text{ g roztoku nasýteného pri } 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Pre druhú časť riešenia platí schéma

| | | | | |
|---|---|---------------|---|---|
| 3 | roztok nasýtený pri $40 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$ $m_3 = 250,0 \text{ g}$ $w_3(\text{MgSO}_4) = 0,306$ | Kryštalizácia | \rightarrow kryštalický MgSO_4 | 4 |
| | | | $m_4 = ?$ $w_4(\text{MgSO}_4) = 0,4884$ | |
| | | | \rightarrow roztok nasýtený pri $10 \text{ }^\circ\text{C}$ | 5 |
| | | | $m_5 = ?$ $w_5(\text{MgSO}_4) = 0,218$ | |

a rovnice v tvare

$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3(\text{MgSO}_4) = m_4 w_4(\text{MgSO}_4) + m_5 w_5(\text{MgSO}_4)$$

Po dosadení číselných údajov riešením získame:

$$m_4 = 81,4 \text{ g } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \text{ vykryštalizuje } \checkmark$$

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 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ potrebujeme použiť na rekryštalizáciu (ochladením roztoku nasýteného pri teplote $40 \text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $20 \text{ }^\circ\text{C}$), ktorej výsledkom má byť 25,0 g rekryštalizovaného $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Rozpustnosti síranu meďnatého sú: $s(20 \text{ }^\circ\text{C}) = 18,1 \text{ g } \text{CuSO}_4$ na 100 g roztoku a $s(40 \text{ }^\circ\text{C}) = 22,2 \text{ g } \text{CuSO}_4$ na 100 g roztoku.

Riešenie: Prvú časť výpočtu zobrazuje schéma

| | | | | |
|---|---|---------------|---|---|
| 3 | roztok nasýtený pri $40 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$ $m_3 = ?$ $w_3(\text{CuSO}_4) = 0,222$ | Kryštalizácia | \rightarrow kryštalický $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 4 |
| | | | $m_4 = 25,0 \text{ g}$ $w_4(\text{CuSO}_4) = 0,6392$ | |
| | | | \rightarrow roztok nasýtený pri $20 \text{ }^\circ\text{C}$ | 5 |
| | | | $m_5 = ?$ $w_5(\text{CuSO}_4) = 0,181$ | |

a rovnice v tvare

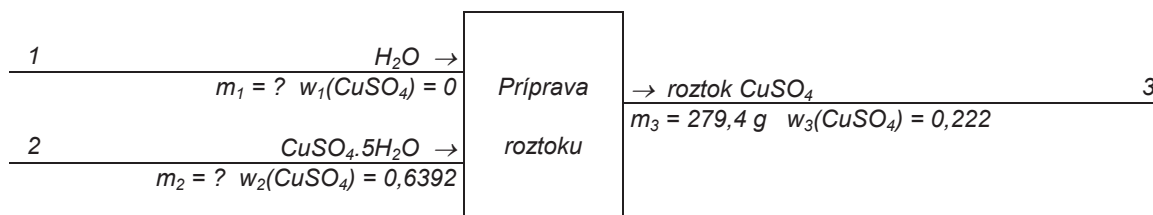
$$m_3 = m_4 + m_5$$

$$m_3 w_3(\text{CuSO}_4) = m_4 w_4(\text{CuSO}_4) + m_5 w_5(\text{CuSO}_4)$$

Po dosadení, úprave a riešení dostávame:

$$m_3 = 279,4 \text{ g roztoku } \text{CuSO}_4 \text{ treba na kryštalizáciu}$$

Pre druhú časť riešenia platí schéma



Bilancie možno písať v tvare:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 w_1(CuSO_4) + m_2 w_2(CuSO_4) = m_3 w_3(CuSO_4)$$

Po dosadení číselných údajov do oboch rovníc, úprave a riešení dostávame:

$$m_2 = 97,0 \text{ g } CuSO_4 \cdot 5H_2O \quad \checkmark$$

$$m_1 = 182 \text{ g vody} \quad \checkmark$$

Na prípravu roztoku $CuSO_4$ pre rekryštalizáciu treba 97,0 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a 182 g vody.

Úlohy 4.4.29 až 3.7.31.

4.4 Úlohy



4.4.1 Vypočítajte, aké množstvá látok treba:

- na prípravu 750,0 g 7,90 % vodného roztoku chloridu lítneho $LiCl$
- na prípravu 1550 g 25,5 % vodného roztoku uhličitanu draselného K_2CO_3
- na prípravu 550,0 g roztoku kyseliny trihydrogenboritej s $w(H_3BO_3) = 0,0300$
- na prípravu 225,0 g roztoku hydrogensíranu draselného s $w(KHSO_4) = 0,0150$.

[a) 59,2 g $LiCl$ a 691 g vody; b) 395 g K_2CO_3 a 1160 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:

- k 25,00 g Na_2SO_4 , aby vznikol roztok s $w(Na_2SO_4) = 0,1200$
- k 42,5 g K_2CO_3 , aby vznikol roztok s $w(K_2CO_3) = 0,1000$
- k 65,0 g KBr , aby vznikol roztok s $w(KBr) = 0,2550$.

[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, aby:

- vznikol roztok s $w(Na_2SO_4) = 0,1200$
- vznikol roztok s $w(K_2CO_3) = 0,1000$
- vznikol roztok s $w(KBr) = 0,2550$.

[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 $w(iPrOH) = 0,3500$.

$[V(\text{MeOH}) = 1,23 \text{ dm}^3, V(\text{iPrOH}) = 669 \text{ cm}^3.]$

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 $w(\text{LiClO}_4) = 0,1255$.

$[a) 49,16 \text{ g vody; b) 192 g vody; c) 278 g vody}]$

4.4.7 Vypočítajte, aké množstvo látky L treba rozpustiť v 150,0 g vody, aby:

a) 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) 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) vznikol roztok s $w(\text{CaCl}_2) = 0,2550$, ak $L = \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$[a) 71,88 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}; b) 32,06 \text{ g Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}; c) 152,0 \text{ g CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$

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 $L = \text{BaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$[a) 73,84 \text{ g AuCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ a } 476,2 \text{ g vody; b) } 146,1 \text{ g Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} \text{ a } 603,9 \text{ g vody; c) } 357,4 \text{ g BaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ a } 892,6 \text{ g vody}]$

4.4.9 Vypočítajte, aké množstvo vody treba pridať k 1,500 dm³ 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 hodnotu objemovej kontrakcie pri tomto zmiešavaní.

$[3,41 \text{ kg vody, kontrakcia objemu } \Delta V \text{ je } 115 \text{ cm}^3]$

4.4.10 Vypočítajte, aké množstvo vody a 96,0 % vodného roztoku etanolu (EtOH) je potrebné odmerať odmerným valcom pri príprave 500,0 cm³ vodného roztoku, v ktorom $w(\text{EtOH}) = 0,2000$. Vypočítajte, aká bude hodnota objemovej kontrakcie pri príprave uvedeného roztoku.

$[V(\text{EtOH}) = 126 \text{ cm}^3, V(\text{H}_2\text{O}) = 384 \text{ cm}^3, \Delta V = 9,3 \text{ cm}^3.]$

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 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

$[a) 995,0 \text{ g roztoku s } w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2657;$

$b) 995,0 \text{ g roztoku s } w(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1955]$

4.4.12 Vypočítajte, aké množstvo kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,2055 \text{ mol dm}^{-3}$ je treba pridať ku 250 cm^3 (presne) 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 cm³]

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 ku 500 cm^3 (presne) 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 cm³]

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 $35 \text{ }^\circ\text{C}$, ak rozpustnosť síranu zinočnatého je: $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 37,7 \text{ g ZnSO}_4$ na 100 g roztoku.

[206 g ZnSO₄·7H₂O]

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 $35 \text{ }^\circ\text{C}$, ak rozpustnosť síranu železnatého je: $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 26,7 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[36,7 g FeSO₄·7H₂O]

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 $125,0 \text{ g}$ $18,50 \%$ roztoku síranu železnatého, aby sa z neho získal roztok nasýtený pri teplote $35 \text{ }^\circ\text{C}$, ak rozpustnosť síranu železnatého je $s(35 \text{ }^\circ\text{C}) = 26,7 \text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[38,4 g vody odpariť]

4.4.18 Vypočítajte, aké objemy benzénu (benz) a toluénu (tol) je potrebné zmiešať, aby sa získalo:

a) $500,0 \text{ g}$ zmesi rozpúšťadiel, v ktorej obsah toluénu má byť $x(\text{tol}) = 0,3333$

b) $250,0 \text{ g}$ zmesi rozpúšťadiel, v ktorej obsah toluénu má byť $x(\text{tol}) = 0,1000$

[a) $V(\text{tol}) = 213,9 \text{ cm}^3$, $V(\text{benz}) = 359,9 \text{ cm}^3$;

b) $V(\text{tol}) = 33,41 \text{ cm}^3$, $V(\text{benz}) = 252,9 \text{ cm}^3$]

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 °C) = 48,2 g KCl na 100 g H₂O, s(60 °C) = 45,8 g KCl na 100 g H₂O,
s(50 °C) = 42,6 g KCl na 100 g H₂O, s(20 °C) = 34,1 g KCl na 100 g H₂O,
s(10 °C) = 31,6 g KCl na 100 g H₂O a s(0 °C) = 28,0 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 °C) = 21,5 g K₂SO₄ na 100 g H₂O, s(60 °C) = 18,5 g K₂SO₄ na 100 g H₂O,
s(40 °C) = 14,8 g K₂SO₄ na 100 g H₂O, s(20 °C) = 11,1 g K₂SO₄ na 100 g H₂O,
s(10 °C) = 9,2 g K₂SO₄ na 100 g H₂O a s(0 °C) = 7,2 g K₂SO₄ 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 °C) = 39,6 g ZnSO₄ na 100 g roztoku,
s(30 °C) = 38,1 g ZnSO₄ na 100 g roztoku,
s(10 °C) = 31,9 g ZnSO₄ na 100 g roztoku
a s(0 °C) = 29,1 g ZnSO₄ 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
a $s(0\text{ °C}) = 13,5\text{ g FeSO}_4$ 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 a
 $s(0\text{ °C}) = 126,67\text{ g AgNO}_3$ 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

a $s(90\text{ °C}) = 38,6\text{ g NaCl}$ 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 = 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 a

$s(20\text{ °C}) = 34,9\text{ g ZnSO}_4$ 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 $s(20\text{ °C}) = 33,3\text{ g KCl na }100\text{ g H}_2\text{O}$.

[s = 1,16 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 $s(20\text{ °C}) = 35,8\text{ g NaCl na }100\text{ g H}_2\text{O}$.

[s = 1,43 g NaCl na 100 g roztoku]

4.4.29 Vypočítajte, aké množstvo vody treba odpariť z 325,0 g roztoku

a) dichrómanu didraselného $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,

b) dichrómanu disodného $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,

c) dichrómanu diamonného $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,

v ktorom $w(\text{M}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,1500$, aby sa z neho získal roztok príslušného dichrómanu nasýtený pri teplote 60 °C. Vypočítajte, aké budú výťažky kryštalizácie $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, keď takto získané roztoky ochladíme na teplotu 20 °C. Rozpustnosti príslušných dichrómanov sú:

$s(20\text{ °C}) = 12,1\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(60\text{ °C}) = 30,0\text{ g K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(20\text{ °C}) = 65,0\text{ g Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(60\text{ °C}) = 72,5\text{ g Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(20\text{ °C}) = 26,5\text{ g }(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$

a $s(60\text{ °C}) = 56,6\text{ g }(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ na }100\text{ g roztoku}$.

[a) 163 g vody odpariť, 33,1 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ vykryštalizuje;

b) 258 g vody odpariť, 22,0 g $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje;

c) 239 g vody odpariť, 35,3 g $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 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 $w(\text{MSO}_4) = 0,1250$ aby sa z neho získal roztok nasýtený pri 30 °C a vypočítajte, aký bude výťažok kryštalizácie $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, keď takto získaný roztok ochladíme na teplotu 0 °C. Rozpustnosti príslušných síranov sú:

$s(0\text{ °C}) = 18,3\text{ g MgSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(30\text{ °C}) = 28,0\text{ g MgSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(0\text{ °C}) = 12,1\text{ g CuSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(30\text{ °C}) = 19,9\text{ g CuSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(0\text{ °C}) = 29,8\text{ g ZnSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(30\text{ °C}) = 38,2\text{ g ZnSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$,

$s(0\text{ °C}) = 13,3\text{ g FeSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$

a $s(30\text{ °C}) = 24,8\text{ g FeSO}_4\text{ na }100\text{ g roztoku}$.

[a) 332 g vody odpariť, 85,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje;

- b) 223 g vody odpariť, 56,7 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje;
c) 404 g vody odpariť, 62,6 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje;
d) 298 g vody odpariť, 84,1 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ vykryštalizuje]

4.4.31 Vypočítajte, aké množstvo

- a) modrej skalice $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
b) bielej skalice $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
c) zelenej skalice $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

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 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. 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
a $s(30\text{ }^\circ\text{C}) = 24,8\text{ g FeSO}_4$ na 100 g roztoku.

[a) 103 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; b) 107 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; c) 81,6 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]

5

CHEMICKÉ REAKCIE - ZÁPIS CHEMICKÉHO DEJA

Zápis chemickej reakcie pomocou značiek chemických prvkov a vzorcov chemických zlúčenín je chemická rovnica. V chemickej rovnici je obsiahnutá kvalitatívna i kvantitatívna stránka chemického deja. Vzájomný pomer látkových množstiev látok zúčastňujúcich sa chemickej reakcie udávajú stechiometrické koeficienty - $\nu(B)$. V chemických rovniciach sa píše východiskové látky - reaktanty na ľavú stranu a reakčné produkty na pravú stranu, čiže



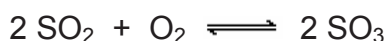
kde a, b, \dots, p, q, \dots sú absolútne hodnoty stechiometrických koeficientov reagujúcich látok A, B, \dots a vzniknutých produktov P, Q, \dots . Pre reaktanty majú stechiometrické koeficienty záporné hodnoty $\nu(A) = -a, \nu(B) = -b, \dots$, pre produkty hodnoty kladné $\nu(P) = p, \nu(Q) = q$.

Pri bežnom zápise chemickej reakcie sa uvádzajú len absolútne hodnoty stechiometrických koeficientov (v ďalšom iba koeficienty).

Reaktanty a produkty v danej chemickej rovnici sú oddelené šípkou, ktorá označuje smer priebehu deja a tiež skutočnosť, že východiskové látky pri daných podmienkach takmer úplne zreagujú na produkty, napr.



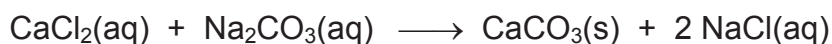
Keď sú v sústave prítomné v merateľnom množstve ako produkty reakcie, tak aj reaktanty, píšeme v chemickej rovnici symbol " \rightleftharpoons ", napr.



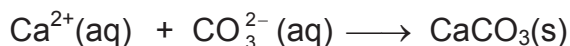
V niektorých prípadoch sa používa **stavový zápis** chemickej reakcie, v ktorom sa symbolmi v zátvorkách za prvkami alebo zlúčeninami vyjadruje skupenský stav, napr.



Časticový (iónový) zápis - vyjadruje, ktoré častice (ióny, príp. atómy alebo molekuly) sa zúčastňujú chemického deja, napr. pre reakciu



bude časticový zápis v tvare :



Údaje, ktoré popisujú podmienky reakcie, napr. použitý katalyzátor, teplota, pri ktorej daná 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 |
|----------------------|--|
| \longrightarrow | rovnovážne zloženie - prevládajú produkty reakcie |
| \rightleftharpoons | rovnovážne zloženie - merateľné množstvá ako reaktantov tak aj produktov |
| (s) | tuhé skupenstvo |
| (l) | kvapalné skupenstvo |
| (g) | plynné skupenstvo |
| (aq) | vodný roztok |
| (solv) | nevodný roztok |
| ΔT | zahrievanie |

Zápis danej chemickej rovnice neredoxných reakcií robíme v nasledujúcich základných krokoch:

1. Na základe slovného zápisu pre danú chemickú reakciu sa presvedčíme, či všetky reaktanty a produkty sú zapísané správnymi chemickými vzorcami.
2. Skontrolujeme počet prvkov, ktoré sa vyskytujú v chemickej rovnici na každej strane iba raz, ale majú rôzne koeficienty v chemickom vzorci, teda rôzny počet atómov. Upravíme koeficienty látok, v ktorých sú tieto prvky tak, aby bol počet zastúpených prvkov na každej strane rovnaký.
3. Upravíme koeficienty pre látky, v ktorých sú prvky, ktoré sa vyskytujú v chemickej rovnici viackrát.
4. Skontrolujeme upravenú chemickú rovnicu a presvedčíme sa, či je bilancia počtu atómov jednotlivých prvkov na oboch stranách rovnaká. Koeficienty musia byť najmenšie celé čísla.
5. Ak máme časticový zápis, musíme urobiť bilanciu náboja.

Pri určovaní 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 algebraický súčet kladných a záporných nábojov v izolovanej sústave zostáva konštantný, čo možno vyjadriť vzťahom

$$\sum_i Q_i = \text{const} \quad (5.2)$$

Ak je sústava zložená z častíc A, B, ..., K, ktorých počet je $N(A)$, $N(B)$, ..., $N(K)$, pričom jednotlivé častice majú náboj $Q(A)$, $Q(B)$, ..., $Q(K)$, môžeme zákon zachovania náboja pre takúto sústavu vyjadriť

$$N(A) Q(A) + N(B) Q(B) + \dots + N(K) Q(K) = \text{const.} \quad (5.3)$$

alebo všeobecne

$$\sum_X N(X) Q(X) = \text{const} \quad (5.4)$$

kde $X = A, B, \dots, K$

Elektrický náboj je kvantovaný, takže náboj Q môže predstavovať len celistvé násobky elementárneho náboja e

$$Q(X) = z(X) e \quad (5.5)$$

kde $z(X) = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ je tzv. **nábojové číslo**, ktoré vyjadruje číselnú hodnotu a znamienko náboja Q v jednotkách elementárneho náboja e (elementárny náboj $e = 1,60217733(49) \cdot 10^{-19}$ C). Nositeľom kladného elementárneho náboja $+e$ je protón, záporného elementárneho náboja $-e$ elektrón. Rovnicu vyjadrujúcu zákon zachovania náboja môžeme potom vyjadriť ako:

$$\sum_X N(X) z(X) = \text{const} \quad (5.6)$$

Pri chemických reakciách sa súčet nábojov produktov P rovná súčtu nábojov reaktantov R

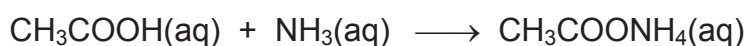
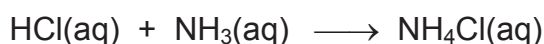
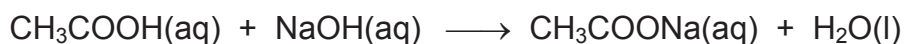
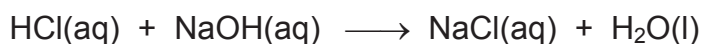
$$\sum_P N(P) z(P) = \sum_R N(R) z(R) \quad (5.7)$$

V chémii sa na vyjadrenie náboja častíc používa symbolika X^z , pričom sa znamienko $+$ alebo $-$ píše za číselnú hodnotu, napr. K^+Br^- (číslica 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 - reakcie medzi kyselinami a zásadami, napr.:



5.1.1 Riešené príklady

5.1.1 Vo vodnom roztoku prebieha acidobázická reakcia kyseliny sírovej a práškového hydroxidu hlinitého.

a) Vyjadrite rovnicou priebeh danej chemickej reakcie.

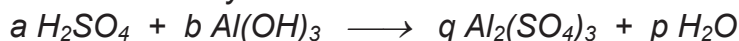
b) Určite koeficienty pre jednotlivé látky.

Riešenie :

Slovný zápis chemickej reakcie:

kyselina sírová + hydroxid hlinitý \longrightarrow síran hlinitý + voda

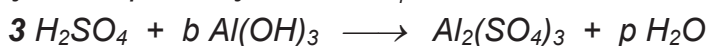
Zápis formou chemických vzorcov:



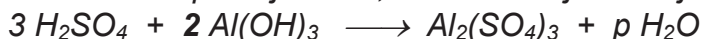
Určenie hodnôt koeficientov:

Krok 1 začíname s H_2SO_4 (bilancujeme SO_4^{2-} ión)

na ľavej strane potrebujeme 3 SO_4^{2-}



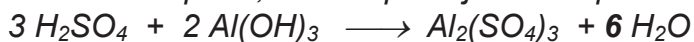
bilancia Al : 2 Al na pravej strane, čiže na ľavej strane je potrebné



Krok 2 bilancujeme H a O :

$$\text{H: } 3 \cdot 2 + 2 \cdot 3 = 2p$$

$p = 6$, čiže na pravej strane upravíme koeficient pred vodou

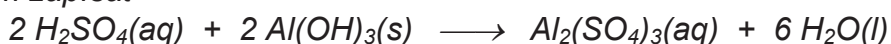


$$\text{O: } 3 \cdot 4 + 2 \cdot 3 = 6 + 3 \cdot 4$$

$$18 = 18$$

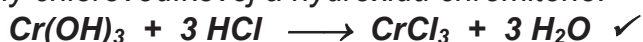
koeficienty pre danú rovnicu sú: **a = 2, b = 2, p = 6, q = 1** ✓

✓ Po doplnení symbolov, ktoré charakterizujú skupenský stav daných látok a vyriešených koeficientov možno chemickú reakciu kyseliny sírovej s hydroxidom hlinitým zapísať



5.1.2 Zapište chemickú rovnicu a doplňte reaktanty pri acidobázickej reakcii, kde sú produkty chlorid chromitý a voda.

✍ Riešenie: Nakoľko reakciou vzniká soľ a voda, jedná sa o acidobázickú reakciu kyseliny chlorovodíkovej a hydroxidu chromitého.



5.2 Vylučovacie reakcie

Vylučovacie reakcie - aspoň jeden z produktov reakcie sa vylučuje z reakčnej sústavy, čím sa znižuje jeho koncentrácia v reakčnej sústave a v dôsledku toho v rovnovážnom zložení prevládajú produkty reakcie. Vylučovacie reakcie sú heterogénne reakcie, pri ktorých môže vznikáť buď málo rozpustná látka (*reakcia zrážacia*), alebo je jeden z produktov plynná látka. Napr. reakciou chloristanu strieborného s chloridom sodným vo vodnom roztoku sa vyzráža chlorid strieborný :

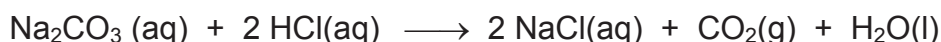


časticový zápis tohto chemického deja bude:

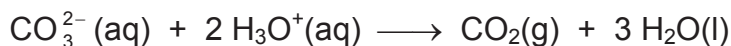


čo vlastne znamená, že reakciou strieborných solí v dostatočnej koncentrácii s roztokom, v ktorom sú chloridové anióny, môžeme získať málo rozpustný chlorid strieborný.

Ako príklad vylučovacej reakcie, kde vzniká plynný produkt možno uviesť reakciu kyseliny chlorovodíkovej s uhličitanom sodným vo vodnom roztoku, pričom sa uvoľňuje plynný oxid uhličitý:



Časticový zápis deja, pri ktorom vzniká plynný produkt:



5.2.1 Riešené príklady

5.2.1 Určite koeficienty vylučovacej reakcie, kde vzniká málorozpustný síran vápenatý:



Riešenie:



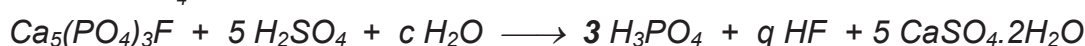
Bilanciu uvedeného deja začíname s Ca:



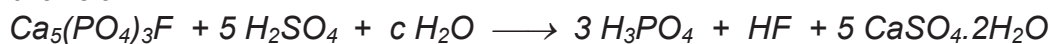
bilancia SO_4^{2-} :



bilancia PO_4^{3-} :



bilancia F^- :



bilancia H:

$$2 \cdot 5 + 2c = 3 \cdot 3 + 1 \cdot 1 + 5 \cdot 2, \text{ riešením rovnice je } c = 10$$

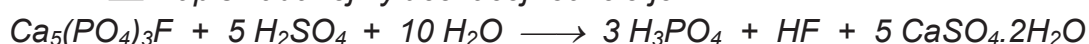


posledný krok je bilancia kyslíka

O: $10 = 10$, kyslík z PO_4^{3-} a SO_4^{2-} už nebilancujeme!

Koeficienty pre danú reakciu sú: **a = 1, b = 5, c = 10, p = 3, q = 1, r = 5** ✓

Zázpis zadanej vylučovacej reakcie je:



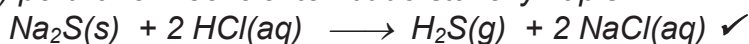
5.2.2 Pôsobením kyseliny chlorovodíkovej na tuhý sulfid sodný sa uvoľňuje plynný produkt a vzniká roztok chloridu sodného. Napíšte odpovedajúcu vylučovaciu reakciu v tvare

- stavového zápisu;
- časticového zápisu.

Riešenie: Nakoľko jeden z reaktantov je sulfid sodný, preto ako plynný produkt je potrebné doplniť zlúčeninu, v ktorej je sulfidový anión, čo pre danú reakciu bude sulfán



a) po bilancii koeficientov bude stavový zápis



b) časticový zápis

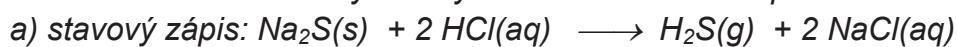


koeficient b získame bilancovaním náboja iónov a koeficient q bilancovaním počtu atómov vodíka alebo kyslíka;

bilancia náboja pre danú vylučovaciu rovnicu:

$1 \cdot (2-) + b \cdot (1+) = 0$, po vyriešení tejto rovnice $b = 2$
 bilancia H: $2 \cdot 3 = q \cdot 2$; $q = 3$
 potom $a = 1, b = 2, p = 1, q = 3$ ✓

Na základe vyriešených koeficientov bude pre danú reakciu:



5.3 Redoxné reakcie

Redoxné reakcie (oxidačno-redukčné) sú také, pri ktorých niektoré atómy menia svoje oxidačné čísla. Ak atóm stratí elektróny dochádza ku oxidácii, ak atóm priberie elektróny, prebieha redukcia. Koľko elektrónov atóm stratí alebo priberie, o toľko jednotiek sa zvýši alebo zníži jeho oxidačné číslo. Látka, ktorá odovzdáva elektróny, je redukovaadlo a látka, ktorá prijíma elektróny, je oxidovaadlo. Redukovaadlo - látka v redukovanej forme Red_1 sa odovzdaním elektrónov oxiduje - mení sa na oxidovanú formu Ox_1 a oxidovaadlo - látka v oxidovanej forme Ox_2 sa prijatím elektrónov redukuje - mení sa na redukovanú formu Red_2 . Tieto čiastkové deje možno vyjadriť rovnicami



Redoxná reakcia sa potom uskutočňuje spojením oboch predchádzajúcich sústav:



Pri zostavovaní redoxnej rovnice z rovníc polreakcií treba dodržiavať zásadu, že obe rovnice polreakcií musia obsahovať rovnaký počet elektrónov $N(e^-)$ - **zákon zachovania počtu elektrónov**. Uvedenú podmienku možno zapísať



Dôležitou podmienkou pre určenie 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. S^{II} , Al^{III}).

5.3.1 Pravidlá pre určovanie oxidačných čísel

1. Atóm prvku v nezlúčenom stave, ako aj v jednoduchých látkach má oxidačné číslo rovné nule (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. OF_2 , O_2F_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. $P^{III}Cl_3^{-1}$, $C^{IV}F_4^{-1}$).
5. Maximálne oxidačné čísla atómov prvkov sú väčšinou totožné s číslom skupiny periodickej sústavy prvkov, v ktorej sa nachádzajú.
6. Viazanie ligandu na centrálny atóm v komplexnej zlúčenine nevyvoláva zmenu oxidačného čísla ani centrálnemu atómu, ani donorového atómu ligandu.
7. V tých 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. $(N_3)^{-1}$ v HN_3 , $(O_3)^{-1}$ v KO_3 , $(S_4)^X$ v $Na_2S_4O_6$).
8. Oxidačné číslo v jednoatómovom ióne sa rovná náboju iónu, napr. Na^+ , Al^{3+} majú oxidačné číslo I, III; Cl^- , S^{2-} je to $-I$, $-II$.
9. V neutrálnych zlúčeninách algebraický súčet oxidačných čísel všetkých atómov je nula.
10. Súčet oxidačných čísel všetkých atómov tvoriacich viacatómový ión je rovný celkovému náboju iónu (napr. $-III$ v PO_4^{3-} , kde náboj iónu je -3).



5.3.2 Riešené príklady

5.3.1 Určite oxidačné čísla atómov:

a) fosforu v $Ca_2P_2O_7$

b) jódu v $H_3IO_6^{2-}$

Riešenie: Príklad riešime pomocou vzťahu (5.6) s využitím pravidiel pre oxidačné čísla atómov a atómových skupín.

a) $Ca_2P_2O_7$ obsahuje dva atómy vápnika, dva atómy fosforu a sedem atómov kyslíka.

Oxidačné číslo pre vápnik $z(Ca) = II$ (pravidlo 5, druhá skupina periodickej tabuľky prvkov), pre kyslík $z(O) = -II$ (pravidlo 3). Molekula $Ca_2P_2O_7$ je elektroneutrálna (pravidlo 9).

Rovnicu (5.6) zapíšeme v tvare:

$$N(Ca) z(Ca) + N(P) z(P) + N(O) z(O) = 0$$

po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$2 \cdot (2) + 2 \cdot z(P) + 7 \cdot (-2) = 0$$

$$z(P) = 5 \checkmark$$

Oxidačné číslo atómu fosforu v $Ca_2P_2O_7$ je V.

b) podobne pre anión $H_3IO_6^{2-}$ na základe rovnice (5.6) a pravidla 10 možno zapísať

$$N(H) z(H) + N(I) z(I) + N(O) z(O) = -2$$

dosadením za $z(H) = I$, $z(O) = -II$ dostaneme:

$$3 \cdot 1 + 1 \cdot z(I) + 6 \cdot (-2) = -2$$

$$z(I) = 7 \checkmark$$

Oxidačné číslo atómu jódu v anióne $H_3IO_6^{2-}$ je VII.

5.3.2 Určite oxidačné čísla:

- skupiny I_3 v KI_3
- skupiny S_5 v $S_5O_6^{2-}$
- atómu Cu v $Cu_2CO_3(OH)_2$
- atómu Cr v $[CrCl_2(NH_3)_4]^+$

Riešenie: a) ak $z(K) = I$, $N(K) = 1$, $N(I_3) = 1$, potom po dosadení do (5.6) dostaneme:

$$\begin{aligned} 1 \cdot 1 + 1 \cdot z(I_3) &= 0 \\ z(I_3) &= -1 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Oxidačné číslo skupiny atómov I_3 je $-I$. (Pravidlo 7)

b) Podobne pre skupinu atómov S_5 v anióne $S_5O_6^{2-}$ dosadením číselných údajov

$$N(S_5) = 1, N(O) = 6, z(O) = -II$$

do rovnice (5.2) dostaneme:

$$\begin{aligned} 1 \cdot z(S_5) + 6 \cdot (-2) &= -2 \\ z(S_5) &= 10 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Oxidačné číslo skupiny S_5 je X .

c) Na určenie oxidačného čísla Cu v $Cu_2CO_3(OH)_2$ podľa (5.6) pre zjednodušenie dosadíme nábojové číslo atómovej skupiny CO_3^{2-} $z(CO_3^{2-}) = -II$, $N(CO_3^{2-}) = 1$ a

$$\begin{aligned} z(OH^-) &= -I, N(OH^-) = 2 \\ 2 \cdot z(Cu) + 1 \cdot (-2) + 2 \cdot (-1) &= 0 \\ z(Cu) &= 2 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Oxidačné číslo atómu medi je II .

d) Oxidačné číslo atómu chrómu v $[CrCl_2(NH_3)_4]^+$ získame po dosadení jednotlivých hodnôt do rovnice (5.6)

$$\begin{aligned} N(Cr) z(Cr) + N(Cl) z(Cl) + N(NH_3) z(NH_3) &= 1 \\ 1 \cdot z(Cr) + 2 \cdot (-1) + 4 \cdot 0 &= 1 \\ z(Cr) &= 3 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Oxidačné číslo atómu chrómu je III .

5.3.3 Napíšte chemické vzorce zlúčenín :

- Tetraboritan disodný
- Trikarbid - nitrid hlinitý
- Kyselina dihydrogentrichrómová
- Tetrahydrogenjodistanový ($1-$) anión

Riešenie: Príklad riešime na základe (5.6) a pravidiel pre oxidačné čísla atómov a atómových skupín.

a) Prepísaním (5.6) pre tetraboritan disodný dostaneme:

$$N(Na) z(Na) + N(B) z(B) + N(O) z(O) = 0$$

po dosadení hodnôt $N(Na) = 2$, $N(B) = 4$, $N(O) = ?$

$$\begin{aligned} z(Na) = I, z(B) = III, z(O) = -II \text{ dostaneme pre počet kyslíkových atómov} \\ 2 \cdot 1 + 4 \cdot 3 + N(O) \cdot (-2) = 0 \end{aligned}$$

$$N(O) = 7 \checkmark$$

Vzorec tetraboritanudisodného je $Na_2B_4O_7$.

b) Na základe chemického názvoslovia a rovnice (5.6) môžeme pre hodnoty $N(Al) = ?$, $z(Al) = III$, $N(C) = 3$, $z(C) = -IV$, $N(N) = 1$, $z(N) = -III$ zapísať:

$$N(Al) z(Al) + N(C) z(C) + N(N) z(N) = 0$$

$$N(Al) \cdot 3 + 3 \cdot (-4) + 1 \cdot (-3) = 0$$

$$N(Al) = 5 \checkmark$$

Vzorec trikarbid - nitridu hlinitého je Al_5C_3N .

c) Postup zostáva rovnaký, zapíšeme si jednotlivé hodnoty $N(H) = 2$, $z(H) = I$, $N(Cr) = 3$, $z(Cr) = VI$, $N(O) = ?$, $z(O) = -II$ do vzťahu (5.6).

$$2 \cdot 1 + 3 \cdot 6 + N(O) \cdot (-2) = 0$$

$$N(O) = 10 \checkmark$$

Vzorec kyseliny dihydrogentrichrómovej je $H_2Cr_3O_{10}$.

d) Počet atómov kyslíka v anióne získame dosadením hodnôt $N(I) = 1$, $z(I) = VII$, $N(H) = 4$, $z(H) = I$, $N(O) = ?$, $z(O) = -II$ do (5.6).

$$1 \cdot 7 + 4 \cdot 1 + N(O) \cdot (-2) = -1$$

$$N(O) = 6 \checkmark$$

Vzorec tetrahydrogenjodistanového ($1-$) aniónu je $H_4IO_6^-$.

5.3.3 Bilancovanie redoxných rovníc

1. Napíšeme chemickú rovnicu obsahujúcu oxidačné a redukčné činidlá a produkty.
2. Napíšeme jednotlivé čiastkové deje oxidácie a redukcie. Pri zápise čiastkových dejov treba rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách.
3. Upravíme čiastkové deje tak, aby platilo pravidlo (5.11).
4. Sčítame čiastkové deje spolu.
5. V prípade, že sa jedná o časticový zápis, musíme urobiť nábojovú bilanciu podľa (5.6).
6. Bilancujeme počet atómov prvkov, ktoré sa na redoxných procesoch nezúčastňujú, t.j. nemenia sa u nich oxidačné čísla.
7. Bilancia atómov prvkov, kde dochádza k zmene oxidačného čísla iba u časti atómov.
8. Ako poslednú najčastejšie bilancujeme molekulu vody, ktorá je produktom redoxnej reakcie a to cez počet atómov H a O.
9. Nezabudnite, že v správne upravenej chemickej rovnici musia byť koeficienty najmenšie celé čísla.



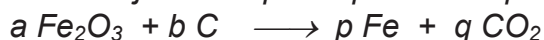
5.3.4 Riešené príklady

5.3.4 Reakciou oxidu železitého s uhlíkom za tepla vzniká železo a oxid uhličitý. Zapište a bilancujte túto rovnicu.

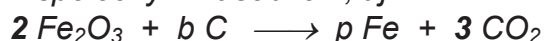
✍ Riešenie: Na príklade tejto chemickej reakcie si ukážeme tri spôsoby bilancovania počtu atómov v danej rovnici.

1. spôsob:

Zápis chemickej reakcie podľa pravidiel v príklade 5.1.1



Bilanciu začíname s atómom O; nakoľko je na ľavej strane rovnice nepárny a na pravej strane párny počet atómov O, musíme rovnicu upraviť vynásobením s najmenším spoločným násobkom, t.j.



Bilancia atómov Fe a C:



*Vyriešené koeficienty sú: **a = 2, b = 3, p = 4, q = 3** ✓*

✓ Správny zápis uvedenej chemickej reakcie je:



2. spôsob:



Bilanciu počtu atómov jednotlivých prvkov môžeme vyjadriť systémom lineárnych rovníc:

$$\text{Fe: } 2a + 0b - 1p - 0q = 0 \quad (5.12)$$

$$\text{O: } 3a + 0b - 0p - 2q = 0$$

$$\text{C: } 0a + 1b - 0p - 1q = 0$$

postupnou vhodnou úpravou systému rovníc (5.12) dostaneme

$$b = \frac{3}{2}a$$

$$p = 2a$$

$$q = \frac{3}{2}a$$

Uvedený systém má nekonečne veľa riešení, z ktorých jedno je lineárne nezávislé riešenie. Každá štvorica, v ktorej "a" je ľubovoľné číslo, je riešením daného systému. Pretože stechiometrické koeficienty sa zvyčajne volia tak, aby boli najmenšie celé čísla, má hľadaná chemická rovnica pre $a = 2$ tvar



3. spôsob:

Pri redoxných reakciách možno určiť koeficienty jednoduchšie zo zmeny oxidačných čísel tých prvkov v reaktantoch a produktoch, ktoré sa redukujú alebo oxidujú

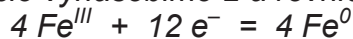


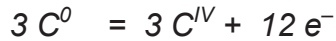
zapišeme rovnice čiastkových dejov, t.j. redukcie a oxidácie:



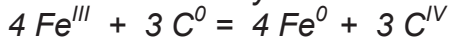
pri týchto zápisoch je potrebné rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v zlúčeninách

rovnice upravíme tak, aby bola splnená podmienka (5.11), to znamená, že rovnicu redukcie vynásobíme 2 a rovnicu oxidácie 3

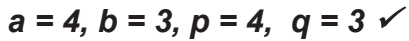




sčítaním oboch čiastkových rovníc dostaneme výslednú rovnicu



z ktorej priamo získame koeficienty zlúčenín obsahujúcich prvky, ktorým sa zmenili oxidačné čísla

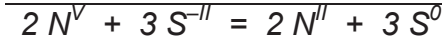
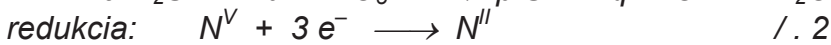
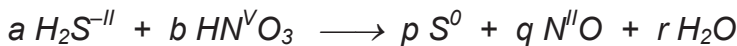


Správne zapísaná chemická rovnica danej reakcie je

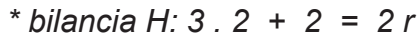


5.3.5 Reakciou sulfánu s kyselinou dusičnou vzniká síra, oxid dusnatý a voda. Zapíšte túto redoxnú reakciu.

Riešenie:

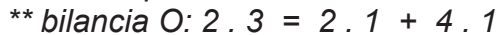


koeficient r získame bilancovaním počtu atómov vodíka, resp. kyslíka

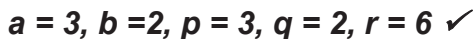


$$r = 4$$

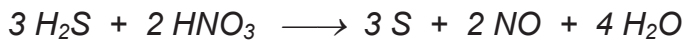
kontrola správneho určenia koeficientov bilanciou atómov kyslíka



$$6 = 6$$

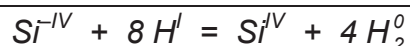
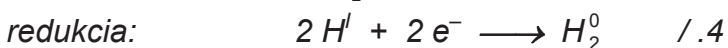
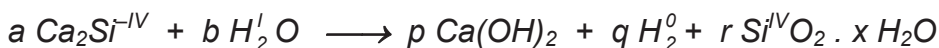


Chemická rovnica reakcie sulfánu s kyselinou dusičnou je



5.3.6 Napíšte chemickú rovnicu reakcie silicidu vápenatého s vodou (hydrolýza).

Riešenie:



z uvedeného vyplýva, že $a = 1, q = 4, r = 1$

neznámy koeficient p dostaneme bilanciou atómov vápnika



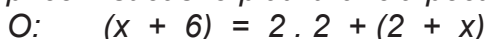
nakoľko časť z atómov vodíka nepodlieha redukcii, hodnota koeficientu b sa nebude rovnáť 4, ale musí byť väčšia

koeficient b dostaneme bilanciou počtu atómov vodíka



$$b = (x + 6)$$

pričom súčasne platí bilancia počtu atómov kyslíka



$$(x + 6) = (x + 6)$$

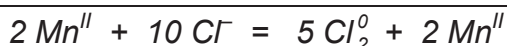
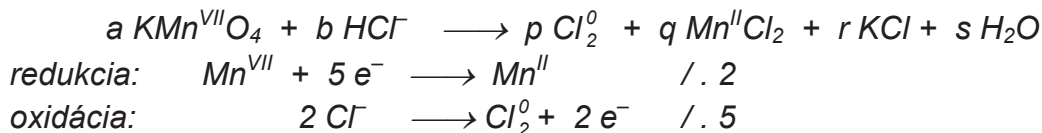
Potom platí pre koeficienty : $a = 1, b = (x + 6), p = 2, q = 1 \checkmark$

Chemická rovnica hydrolyzy silicidu vápenatého je

$$\text{Ca}_2\text{Si} + (x + 6) \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$$

5.3.7 Reakciou manganistanu draselného s kyselinou chlorovodíkovou sa uvoľňuje plynný chlór a vzniká chlorid manganatý, chlorid draselný, voda. Zapište túto reakciu.

Riešenie:



pričom platí: $a = 2, b = 10, p = 5, q = 2$;

Neznámy koeficient r dostaneme bilanciou atómov draslíka

$$\text{K}: 2 \cdot 1 = r \quad r = 2$$

Skutočný koeficient b dostaneme bilanciou počtu atómov chlóru, pretože v reakcii sa oxidovala iba jeho časť

$$\text{Cl}: b \cdot 1 = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 1$$

$$b = 16$$

Koeficient s dostaneme bilanciou počtu atómov vodíka alebo kyslíka

$$\text{H}: 16 \cdot 1 = 2s$$

$$s = 8$$

pričom súčasne platí bilancia počtu atómov kyslíka

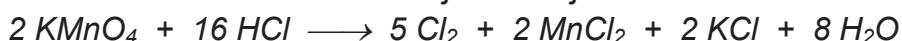
$$\text{O}: 2 \cdot 4 = 8$$

$$8 = 8$$

Vyriešené koeficienty pre danú reakciu sú:

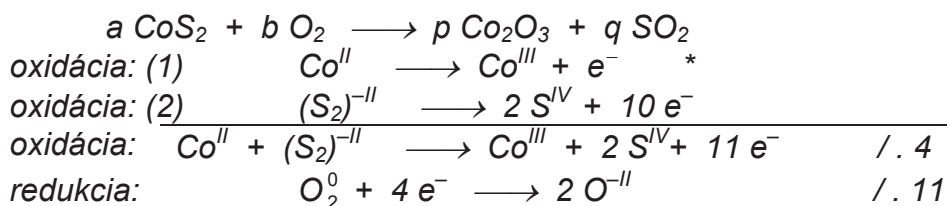
$$a = 2, b = 16, p = 5, q = 2, r = 2, s = 8 \quad \checkmark$$

Chemická rovnica uvedenej reakcie je



5.3.8 Pražením disulfidu kobaltnatého je možné pripraviť oxid kobaltitý a oxid siričitý. Zapište uvedenú chemickú reakciu.

Riešenie:

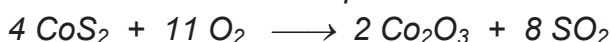


* V tomto prípade musíme rešpektovať stechiometrické zastúpenie prvkov v CoS_2 , pretože sa v jednom z parciálnych dejov oxidujú alebo redukujú v tej istej látke atómy viacerých prvkov, čiže zápis $2 \text{Co}^{\text{II}} - 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Co}^{\text{III}}$ by nebol správny!

Na základe upravených polreakcií získame koeficienty

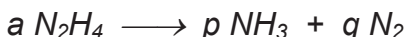
$$a = 4, b = 11, p = 2, q = 8 \quad \checkmark$$

Chemická rovnica praženia disulfidu kobaltnatého je



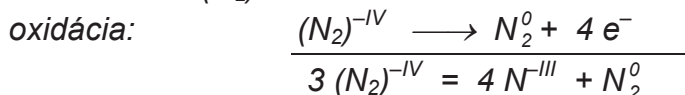
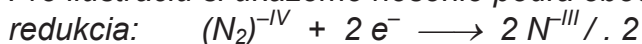
5.3.9 Vo vodnom roztoku sa hydrazín pomaly disproportcionuje na amoniak a dusík. Zapište uvedenú chemickú reakciu.

Riešenie:

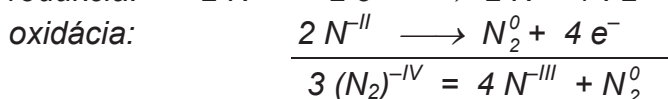
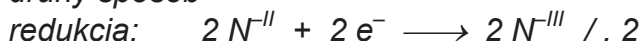


pri určovaní oxidačného čísla dusíka v hydrazíne môžeme postupovať dvoma spôsobmi a to buď podľa pravidla 7, potom $(\text{N}_2)^{-IV}$, alebo podľa pravidla 9, kedy N^{-II} .

Pre ilustráciu si ukážeme riešenie podľa oboch pravidiel.

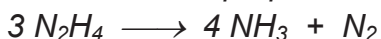


druhý spôsob



oba postupy vedú k rovnakým koeficientom **a = 3, p = 4, q = 1** ✓

Rovnica disproportcionácie hydrazínu je

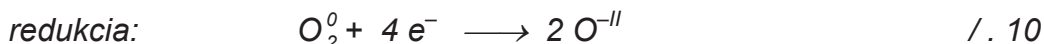
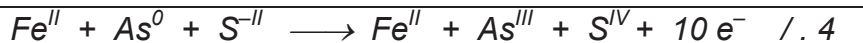


5.3.10 Chemickú rovnicu prípravy oxidu arzenitého pražením arzenovej rudy – arzenopyritu možno zapísať schémou:



Upravte koeficienty v uvedenej chemickej rovnici.

Riešenie:



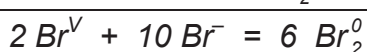
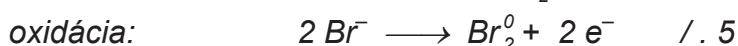
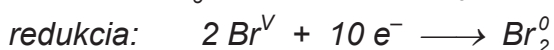
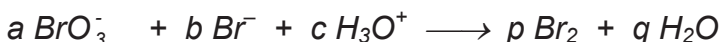
z čoho vyplýva pre koeficienty: **a = 4, b = 10, p = 2, q = 4, r = 1**

Rovnica praženia arzenopyritu je



5.3.11 Reakcia bromičnanov v kyslom prostredí s bromidmi je synproporcionačná reakcia, pri ktorej vzniká bróm a voda. Zapište uvedený dej v časticovom zápise.

Riešenie:



a hodnoty pre koeficienty **a = 2, b = 10, p = 6**

koeficient c zistíme bilancovaním náboja iónov a koeficient q spočítame bilancovaním počtu atómov vodíka alebo kyslíka nábojová bilancia (5.6):

$$2 \cdot (1-) + 10 \cdot (1-) + c \cdot (1+) = 0$$

$$c = 12$$

$$H: \quad 12 \cdot 3 = 2q$$

$$q = 18$$

čím je splnená bilancia počtu atómov kyslíka

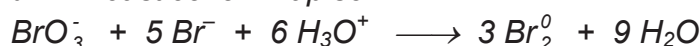
$$O: \quad 2 \cdot 3 + 12 \cdot 1 = 18$$

$$18 = 18$$

Bilancovaním počtu jednotlivých atómov prvkov sme dostali nasledujúce koeficienty: $a = 2$, $b = 10$, $c = 12$, $p = 6$, $q = 18$. Pretože koeficienty musia byť najmenšie celé čísla, získané hodnoty podelíme dvomi.

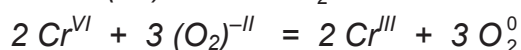
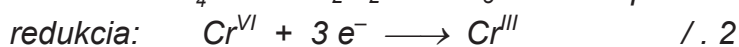
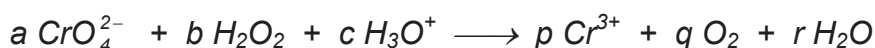
$$a = 1, b = 5, c = 6, p = 3, q = 9 \checkmark$$

Chemická rovnica reakcie synproporcionačnej reakcie bromičnanov s bromidmi v časticovom zápise:



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:



neznáme koeficienty c a r zistíme nábojovou bilanciou a bilanciou počtu atómov vodíka a kyslíka

nábojová bilancia:

$$2 \cdot (2-) + c \cdot (1+) = 2 \cdot (3+)$$

$$c = 10$$

$$H: \quad 3 \cdot 2 + 10 \cdot 3 = 2r$$

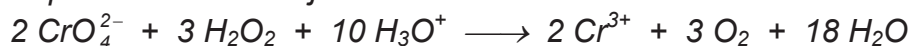
$$r = 18$$

$$O: \quad 2 \cdot 4 + 3 \cdot 2 + 10 \cdot 1 = 3 \cdot 2 + 18 \cdot 1$$

$$24 = 24$$

Vyriešené koeficienty sú: $a = 2$, $b = 3$, $c = 10$, $p = 2$, $q = 3$, $r = 18 \checkmark$

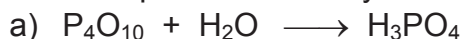
Časticový zápis chemickej rovnice redukcie chrómanov v kyslom prostredí peroxidom vodíka je:



5.4 Úlohy



5.4.1 Doplňte koeficienty nasledujúcich chemických rovníc:



- b) $\text{Ca}_3\text{P}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{PH}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$
 c) $\text{KOH} + \text{CS}_2 \longrightarrow \text{K}_2\text{CS}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 d) $\text{CCl}_4 + \text{SbF}_3 \longrightarrow \text{CCl}_2\text{F}_2 + \text{SbCl}_3$
 e) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$
 f) $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NaCl}$
 g) $\text{SnCl}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$
 h) $\text{P}_4\text{S}_{10} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{S}$
 i) $\text{MoO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-} + \text{H}_2\text{O}$
 j) $\text{LiAlH}_4 + \text{AlCl}_3 \longrightarrow \text{LiCl} + \text{AlH}_3$
 k) $\text{P}_4\text{O}_{10} + \text{PCl}_5 \longrightarrow \text{POCl}_3$
 l) $[\text{SnCl}_6]^{2-} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{HCl} + \text{Cl}^-$
 m) $\text{Zn}_3\text{Sb}_2(\text{s}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{SbH}_3(\text{g}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 n) $\text{AgNO}_3 + \text{NaH}_2\text{AsO}_4 \longrightarrow \text{Ag}_3\text{AsO}_4 + \text{NaNO}_3 + \text{HNO}_3$
 o) $\text{Na}_3\text{SbS}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Sb}_2\text{S}_5 + \text{H}_2\text{S} + \text{NaHSO}_4$
 p) $\text{HPO}_4^{2-} + \text{Ag}^+ + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ag}_3\text{PO}_4 + \text{H}_3\text{O}^+$

- [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, alebo produkty reakcií a upravte zápisy chemických reakcií:

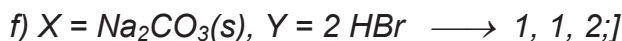
- a) $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{X}$
 b) $\text{X} + \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \longrightarrow \text{FeCl}_3(\text{aq}) + \text{Y}$
 c) $\text{X} + \text{Y} \longrightarrow \text{NH}_4\text{ClO}_4(\text{aq})$
 d) $\text{HCN}(\text{aq}) + \text{X} \longrightarrow \text{KCN}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 e) $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{X} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{Y}$
 f) $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{X} \longrightarrow \text{Zn}(\text{ClO}_4)_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

- [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

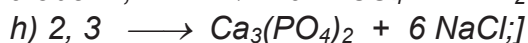
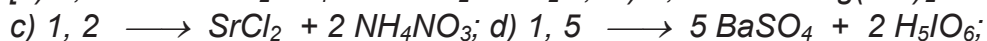
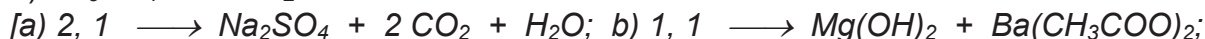
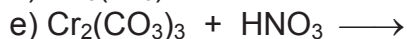
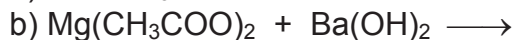
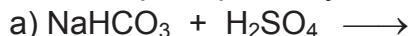
5.4.3 Doplňte chýbajúce reaktanty alebo produkty vylučovacích reakcií a upravte tieto zápisy:

- a) $\text{MgCl}_2(\text{aq}) + \text{X} \longrightarrow \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) + \text{KCl}(\text{aq})$
 b) $\text{X} + \text{BaCl}_2(\text{aq}) \longrightarrow \text{AlCl}_3(\text{aq}) + \text{BaSO}_4(\text{s})$
 c) $\text{X} + \text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$
 d) $\text{Na}_2\text{S} + \text{ZnCl}_2 \longrightarrow \text{X} + \text{Y}$
 e) $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{X} \longrightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{Y}$
 f) $\text{X} + \text{Y} \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{NaBr}(\text{aq})$

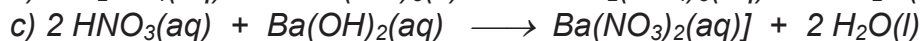
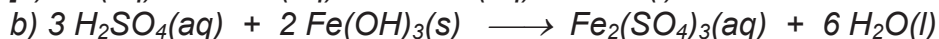
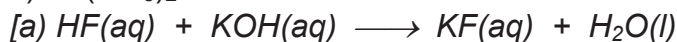
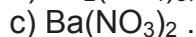
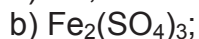
- [a) 3, X = $2\text{K}_3\text{PO}_4(\text{aq}) \longrightarrow 1, 6$; b) X = $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq})$, 3 $\longrightarrow 2, 3$;
 c) $3\text{CaCO}_3(\text{s})$, 2 $\longrightarrow 1, 3, 3$; d) 1, 1 \longrightarrow X = ZnS , Y = 2NaCl ;
 e) 1, X = $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) \longrightarrow 1, 1$, Y = $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$;



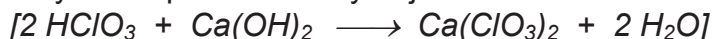
5.4.4 Doplňte produkty uvedených chemických reakcií a upravte tieto zápisy:



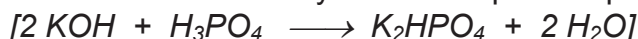
5.4.5 Zapište chemické rovnice acidobázických reakcií v stavovom zápise, ktorých produktom sú soli:



5.4.6 Doplňte produkty chemickej reakcie kyseliny chlorečnej s hydroxidom vápenatým a zapište uvedený dej chemickou rovnicou.



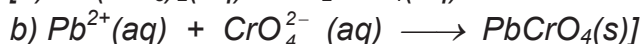
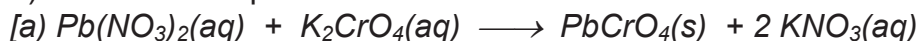
5.4.7 Produktom reakcie kyseliny trihydrogenfosforečnej s látkou B je hydrogenfosforečnan didraselný a voda. Zapište odpovedajúcu chemickú rovnicu.



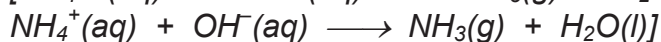
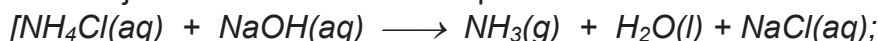
5.4.8 Zmiešaním roztokov dusičnanu olovnatého a chrómanu draselného sa vytvorila zrazenina chrómanu olovnatého. Napíšte chemickú rovnicu pre danú vylučovaciu reakciu v

a) stavovom tvare;

b) časticovom zápise



5.4.9 Napíšte rovnicu prípravy plyného amoniaku, ktorý vznikol reakciou vodných roztokov chloridu amónneho a hydroxidu sodného. Napíšte 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.

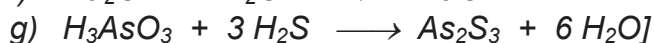
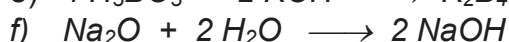
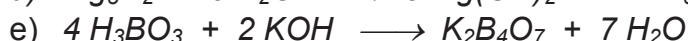
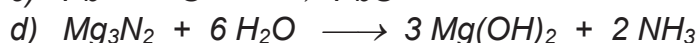
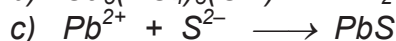
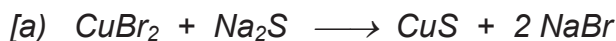


5.4.12 Napíšte chemickú rovnicu, pri ktorej sa z roztoku chloridu meďnatého vyzráža málorozpustný uhličitan meďnatý a vznikne roztok chloridu sodného.



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 tetraboritandiraselný + voda
- oxid sodný + voda \longrightarrow hydroxid sodný
- kyselina trihydrogenarzenitá + sulfán \longrightarrow sulfid arzenitý + voda



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

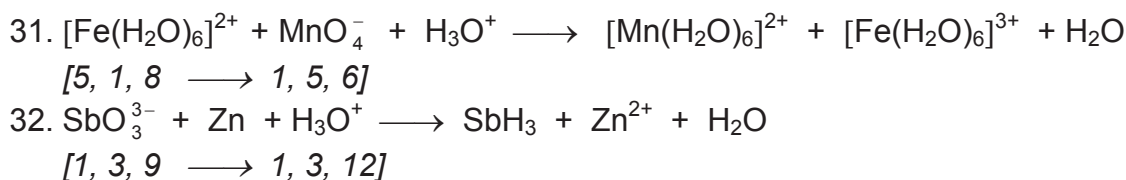
- a) kyslíka v zlúčenine NaB_5O_x , ak bór má oxidačné číslo III.
- b) sodíka v $Na_xH_2IO_6$, ak oxidačné číslo jódu je VII.
- c) chrómu v anióne $Cr_xO_{10}^{2-}$, ak chróm má oxidačné číslo VI.

[a) $x = 8$; b) $x = 3$; c) $x = 3$]

5.4.18 Doplňte stechiometrické koeficienty v zápisoch redoxných rovníc :

1. $MnO_2 + HBr \longrightarrow Br_2 + MnBr_2 + H_2O$
[1, 4 \longrightarrow 1, 1, 2]
2. $Zn + HNO_3 \longrightarrow Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + H_2O$
[4, 10 \longrightarrow 4, 1, 3]
3. $K_2Cr_2O_7 + HCl \longrightarrow Cl_2 + CrCl_3 + KCl + H_2O$
[1, 14 \longrightarrow 3, 2, 2, 7]
4. $Pt + HNO_3 + HCl \longrightarrow H_2[PtCl_6] + NO + H_2O$
[3, 4, 18 \longrightarrow 3, 4, 8]
5. $PbO_2 + Cr(OH)_3 + KOH \longrightarrow K[Pb(OH)_3] + K_2CrO_4 + H_2O$
[3, 2, 7 \longrightarrow 3, 2, 2]
6. $MoS_2 + O_2 \longrightarrow MoO_3 + SO_2$
[2, 7 \longrightarrow 2, 4]
7. $KI + O_3 + H_2O \longrightarrow KOH + I_2 + O_2$
[2, 1, 1 \longrightarrow 2, 1, 1]
8. $FeCr_2O_4 + O_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow Na_2CrO_4 + Fe_2O_3 + CO_2$
[4, 7, 8 \longrightarrow 8, 2, 8]
9. $AsH_3 + AgNO_3 + H_2O \longrightarrow H_3AsO_3 + Ag + HNO_3$
[1, 6, 3 \longrightarrow 1, 6, 6]

10. $\text{Na}_2\text{S} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{NaOH}$
[2, 2, 1 → 1, 2]
11. $\text{KClO}_3 \longrightarrow \text{KClO}_4 + \text{KCl}$
[4 → 3, 1]
12. $\text{FeS} + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
[1, 12 → 1, 1, 9, 5]
13. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
[1, 6, 7 → 3, 1, 1, 7]
14. $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2$
[3, 4 → 1, 4]
15. $\text{Zn} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{PH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
[4, 1, 8 → 4, 1, 4]
16. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{KHSO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
[3, 1, 5 → 2, 1, 6, 7]
17. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{N}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
[3, 8 → 1, 6]
18. $\text{SeO}_2 + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{N}_2 + \text{Se} + \text{H}_2\text{O}$
[3, 4 → 2, 3, 6]
19. $\text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
[4, 6 → 2, 3, 6]
20. $\text{KSbO}_2 + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Sb}_2\text{O}_5 + \text{NO} + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
[6, 10 → 3, 4, 6, 5]
21. $\text{Ag}_3\text{AsO}_4 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Ag} + \text{AsH}_3 + \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
[2, 11, 11 → 6, 2, 11, 8]
22. $\text{K}_4[\text{Co}(\text{CN})_6] + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{K}_3[\text{Co}(\text{CN})_6] + \text{KOH} + \text{H}_2$
[2, 2 → 2, 2, 1]
23. $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + \text{PbO}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Pb}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
[2, 5, 4 → 2, 5, 18]
24. $\text{Sn} + \text{NO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Sn}^{2+} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
[3, 2, 8 → 3, 2, 12]
25. $\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
[2, 5, 4 → 2, 5, 18]
26. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{Cl}_2 + \text{OH}^- \longrightarrow \text{Cl}^- + \text{HSO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
[1, 4, 8 → 8, 2, 3]
27. $\text{HS}^- + \text{HSO}_3^- \longrightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
[2, 4 → 3, 3]
28. $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{I}_2 \longrightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + \text{I}^-$
[2, 1 → 1, 2]
29. $\text{MnO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{MnO}_4^- + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
[3, 4, → 2, 1, 6]
30. $\text{S}_4\text{N}_4 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{SO}_3^{2-} + \text{NH}_3$
[1, 6, 4 → 1, 2, 4]



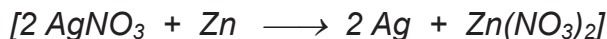
5.4.19 Doplňte chýbajúce reaktanty, resp. produkty reakcií a upravte tieto zápisy:

- a) $\text{Sn} + \text{X} \longrightarrow \text{SnO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
 $[3, \text{X} = 4 \text{HNO}_3 \longrightarrow 3, 4, 2]$
- b) $\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{Al} \longrightarrow \text{Mn} + \text{Y}$
 $[3, 8 \longrightarrow 9, \text{Y} = 4 \text{Al}_2\text{O}_3]$
- c) $\text{TiO}_2 + \text{X} + \text{C} \longrightarrow \text{TiCl}_4 + \text{CO}_2 + \text{CO}$
 $[2, \text{X} = 4 \text{Cl}_2, 3 \longrightarrow 2, 1, 2]$
- d) $\text{Al}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{aq}) + \text{Y}(\text{g})$
 $[2, 3 \longrightarrow 1, \text{Y} = 3 \text{H}_2]$
- e) $\text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{MnO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Y} + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
 $[5, 2, 6 \longrightarrow \text{Y} = 2 \text{Mn}^{2+}, 5, 9]$
- f) $\text{HNO}_3 + \text{X} + \text{HCl} \longrightarrow \text{TiCl}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
 $[4, \text{X} = 3 \text{Ti}, 12 \longrightarrow 3, 4, 8]$
- g) $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{X} \longrightarrow \text{Cr} + \text{SiO}_2$
 $[2, \text{X} = 3 \text{Si} \longrightarrow 4, 3]$
- h) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{SO}_2 + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow [\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + \text{Y}$
 $[1, 3, 2, 9 \longrightarrow 2, \text{Y} = 3 \text{SO}_4^{2-}]$
- i) $\text{Al} + \text{X} \longrightarrow \text{Cu} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3$
 $[2, \text{X} = 3 \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \longrightarrow 3, 2]$
- j) $\text{X} + \text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow [\text{Cu}(\text{CN})_2]^- + \text{OH}^- + \text{H}_2$
 $[\text{X} = 2 \text{Cu}, 4, 2 \longrightarrow 2, 2, 1]$
- k) $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{Y}$
 $[1, 1 \longrightarrow 1, \text{Y} = \text{Zn}^{2+}(\text{aq})]$
- l) $\text{CuO} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{Y} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 $[3, 2 \longrightarrow \text{Y} = 3 \text{Cu}, 1, 3]$
- m) $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{MnO}_2 + \text{Y} + \text{H}_2\text{SO}_4$
 $[2, 3, 2 \longrightarrow 5, \text{Y} = \text{K}_2\text{SO}_4, 2]$
- n) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \longrightarrow \text{PbO} + \text{NO}_2 + \text{Y}$
 $[2 \longrightarrow 2, 4, \text{Y} = \text{O}_2]$
- o) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{X} \longrightarrow \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 $[1, \text{X} = 2 \text{HI} \longrightarrow 1, 2]$
- p) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Y} + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
 $[1, 3, 8 \longrightarrow \text{Y} = 2 \text{Cr}^{3+}, 3, 12]$
- q) $\text{X} + \text{HNO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $[\text{X} = 3 \text{Ag}(\text{s}), 4 \longrightarrow 3, 1, 2]$
- r) $\text{HSO}_3^- + \text{MnO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{Y} + \text{H}_2\text{O}$
 $[5, 2, 1 \longrightarrow 2, 5 \text{SO}_4^{2-}, 4]$
- s) $\text{NH}_3 + \text{X} \longrightarrow \text{NH}_4\text{Br} + \text{N}_2$
 $[8, \text{X} = 3 \text{Br}_2 \longrightarrow 6, 1]$

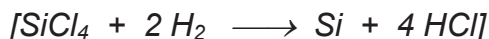
5.4.20 Napíšte chemickú rovnicu praženia sulfidu olovnatého s kyslíkom.



5.4.21 Chemickou rovnicou zapíšte reakciu zinku s dusičnanom strieborným vo vodnom roztoku.



5.4.22 Aké produkty budú vznikajúť redukciou chloridu kremičitého vodíkom? Zapíšte uvedený chemický dej.



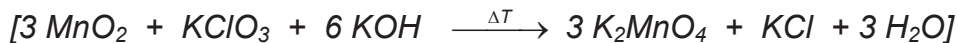
5.4.23 Rozkladom superoxidu draselného s vodou vzniká hydroxid draselný a plyný produkt. Zapíšte chemickú rovnicu tohto rozkladu.



5.4.24 Germánium reaguje s kyselinou dusičnou za vzniku tuhého oxidu germaničitého, oxidu dusnatého a vody. Vyjadrite chemickou rovnicou v stavovom zápise túto reakciu.



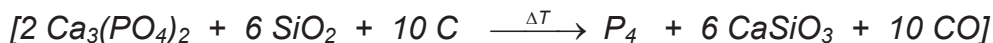
5.4.25 Mangánan draselný pripravíme tavením oxidu manganičitého s chlorečnanom draselným a hydroxidom draselným. Zapíšte túto chemickú reakciu.



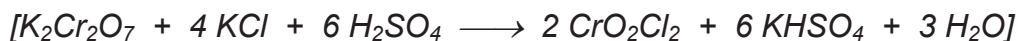
5.4.26 Ak pridáme k roztoku tiosíranu zriedený roztok kyseliny dochádza k disproportionácii na tuhú síru a oxid siričitý. Napíšte časticový ako aj stavový zápis daného deja.



5.4.27 Tetrafosfor pripravíme žíhaním fosforečnanu trivápenatého s uhlíkom a oxidom kremičitým v elektrickej peci, pričom vzniká ako ďalší produkt kremičitan vápenatý a oxid uhoľnatý. Zapíšte daný chemický dej.



5.4.28 Dichlorid-dioxid chrómový pripravíme reakciou dichrómanu draselného s chloridom draselným v koncentrovanej kyseline sírovej. Napíšte chemickú rovnicu tejto reakcie.



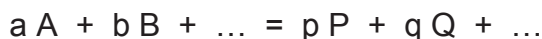
6

LÁTKOVÉ BILANCIE V SÚSTAVÁCH S CHEMICKÝM DEJOM

Chemické deje - chemické reakcie sú deje, pri ktorých zanikajú staré väzby a vznikajú nové väzby medzi atómami, čiže deje, pri ktorých sa mení zloženie látok a ich štruktúra.

6.1 Rozsah reakcie

Chemické reakcie zapisujeme schémami, ktoré nazývame chemickými rovnicami. Chemické rovnice okrem toho, že kvalitatívne opisujú chemické reakcie (deje) vyjadrujú aj kvantitatívne vzťahy medzi východiskovými látkami - reaktantmi a produktmi 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 stechiometrických koeficientov, čo možno pre všeobecnú chemickú rovnicu



vyjadriť takto

$$\Delta n(A) : \Delta n(B) : \dots : \Delta n(P) : \Delta n(Q) : \dots = \nu(A) : \nu(B) : \dots : \nu(P) : \nu(Q) : \dots \quad (6.1)$$

kde $\Delta n(L)$ je rozdiel látkového množstva ľubovoľnej látky na konci reakcie $n_k(L)$ a látkového množstva ľubovoľnej látky na začiatku reakcie $n_z(L)$

$$\Delta n(L) = n_k(L) - n_z(L) \quad (6.2)$$

Rovnicu (6.1) možno napísať aj v tvare

$$\frac{\Delta n(A)}{\nu(A)} = \frac{\Delta n(B)}{\nu(B)} = \dots = \frac{\Delta n(P)}{\nu(P)} = \frac{\Delta n(Q)}{\nu(Q)} = \dots = \Delta \xi \quad (6.3)$$

kde ξ je rozsah reakcie, veličina, ktorá charakterizuje mieru (stupeň) priebehu chemickej reakcie*. Označenie $\Delta \xi$ podobne ako Δn vyjadruje rozdiel rozsahu reakcie na konci a na začiatku reakcie

* Pretože látky sa skladajú z častíc, prebiehajú aj chemické reakcie diskontinuitne, t.j. makroskopicky pozorovaná premena látky sa zakladá na viacerých súčasne alebo postupne prebiehajúcich jednotlivých reakciách medzi časticami systému. Chemická reakcia zapísaná chemickou rovnicou, v ktorej absolútne hodnoty stechiometrických koeficientov sú totožné s počtom interagujúcich molekúl, sa označuje ako **základná reakčná premena**. Ak v ľubovoľnej chemickej reakcii zreagovali látkové množstvá reaktantov - východiskových látok, ktoré sa číselne rovnajú absolútnym hodnotám stechiometrických koeficientov, t.j. ak nastal N_A - násobok základných reakčných premien, uskutočnila sa uvažovaná reakcia v rozsahu 1 mol základných reakčných premien. Ako symbol pre **jednotku rozsahu reakcie** budeme ďalej používať iba **mol**, pričom bude zrejme, že ide o mol základných reakčných premien.

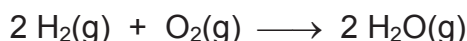
$$\Delta\xi = \xi_k - \xi_z$$

Pretože v niektorých prípadoch je $\xi_z = 0$, označuje sa ξ_k iba symbolom ξ a potom $\Delta\xi = \xi$. Z tohto dôvodu sa rozsah reakcie označuje ako symbolom ξ tak aj symbolom $\Delta\xi$. Zo vzťahu (6.3) vyplýva všeobecný vzťah medzi rozsahom reakcie, látkovým množstvom ľubovoľnej látky v reakcii a jej stechiometrickým koeficientom

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(L)}{\nu(L)} \quad (6.4)$$

Podľa vzťahu (6.3) je $\Delta\xi = 1$ mol, ak v sústave zreagovali a vznikli látkové množstvá látok, ktoré sa číselne rovnajú ich stechiometrickým koeficientom.

Napríklad podľa chemickej rovnice



zreagovali 2 mol vodíka s 1 mol kyslíka a vznikli 2 mol vody. Podľa (6.3) pre uvedenú reakciu platí

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{H}_2)}{\nu(\text{H}_2)} = \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{H}_2\text{O})} \quad (6.5)$$

kde $\Delta n(\text{H}_2) = n_k(\text{H}_2) - n_z(\text{H}_2) = 0 \text{ mol} - 2 \text{ mol} = -2 \text{ mol}$
 $\nu(\text{H}_2) = -2$

$\Delta n(\text{O}_2) = n_k(\text{O}_2) - n_z(\text{O}_2) = 0 \text{ mol} - 1 \text{ mol} = -1 \text{ mol}$
 $\nu(\text{O}_2) = -1$

$\Delta n(\text{H}_2\text{O}) = n_k(\text{H}_2\text{O}) - n_z(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ mol} - 0 \text{ mol} = 2 \text{ mol}$
 $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2$

Poznámka: Znamienko "-" pri vypočítaných hodnotách Δn vyjadruje, že dané látky v sústave pri chemickej reakcii zreagovali. Kladné vypočítané hodnoty Δn vyjadrujú, že dané látky pri chemickej reakcii vznikli.

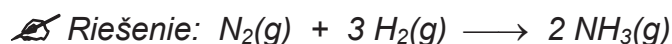
Po dosadení do (6.5)

$$\Delta\xi = \frac{-2 \text{ mol}}{-2} = \frac{-1 \text{ mol}}{-1} = \frac{2 \text{ mol}}{2} = 1 \text{ mol}$$



6.1.1 Riešené príklady

6.1.1 Reakciou dusíka s vodíkom vzniklo 0,28 mol amoniaku. Vypočítajte látkové množstvo zreagovaného dusíka a vodíka.



Pretože reakciou vzniklo 0,28 mol amoniaku, musel byť rozsah reakcie

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{NH}_3)}{\nu(\text{NH}_3)} = \frac{0,28 \text{ mol}}{2} = 0,14 \text{ mol} = \frac{\Delta n(\text{N}_2)}{\nu(\text{N}_2)} = \frac{\Delta n(\text{H}_2)}{\nu(\text{H}_2)}$$

Potom látkové množstvá zreagovaného dusíka a vodíka sú

$$\Delta n(\text{N}_2) = \Delta\xi \nu(\text{N}_2) = 0,14 \text{ mol} \cdot (-1) = -0,14 \text{ mol} \checkmark$$

$$\Delta n(\text{H}_2) = \Delta \xi \nu(\text{H}_2) = 0,14 \text{ mol} \cdot (-3) = -0,42 \text{ mol} \checkmark$$

V 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 reakcii amoniaku s kyslíkom zreagovalo 3,6 mol kyslíka. Na začiatku reakcie bolo v sústave 6,3 mol amoniaku. Vypočítajte látkové množstvo vzniknutého dusíka a látkové množstvo nezreagovaného amoniaku.

Riešenie: $4 \text{ NH}_3(\text{g}) + 3 \text{ O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{ N}_2(\text{g}) + 6 \text{ H}_2\text{O}(\text{g})$

Pretože v sústave zreagovalo 3,6 mol kyslíka, musel byť rozsah reakcie

$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{-3,6 \text{ mol}}{-3} = 1,2 \text{ mol} = \frac{\Delta n(\text{N}_2)}{\nu(\text{N}_2)} = \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{H}_2\text{O})}$$

Potom látkové množstvá vzniknutého dusíka a vody sú

$$\Delta n(\text{N}_2) = \Delta \xi \nu(\text{N}_2) = 1,2 \text{ mol} \cdot 2 = 2,4 \text{ mol} \checkmark$$

$$\Delta n(\text{H}_2\text{O}) = \Delta \xi \nu(\text{H}_2\text{O}) = 1,2 \text{ mol} \cdot 6 = 7,2 \text{ mol} \checkmark$$

a látkové množstvo nezreagovaného amoniaku - látkové množstvo amoniaku, ktoré bolo na konci reakcie v sústave podľa (6.2)

$$\begin{aligned} n_k(\text{NH}_3) &= \Delta n(\text{NH}_3) + n_z(\text{NH}_3) = \Delta \xi \nu(\text{NH}_3) + n_z(\text{NH}_3) = \\ &= 1,2 \text{ mol} \cdot (-4) + 6,3 \text{ mol} = 1,5 \text{ mol} \checkmark \end{aligned}$$

Reakciou 3,6 mol kyslíka s 6,3 mol amoniaku vzniklo 2,4 mol dusíka a 7,2 mol vody a v sústave zostalo nezreagované 1,5 mol amoniaku.

Úlohy 6.7.1 až 6.7.2.

6.2 Stechiometrické výpočty pre čisté látky

Z vyššie uvedeného je zrejmé, že ak je známa chemická rovnica reakcie a aspoň jedno množstvo reagujúcej alebo vznikajúcej látky, môžeme vypočítať rozsah reakcie a tým aj množstvá ostatných látok v 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:

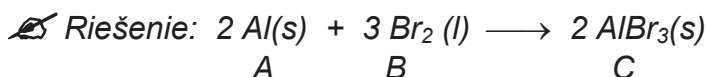
1. Zapišeme chemickú rovnicu reakcie, ktorú v príklade riešime.
2. Vypočítame rozsah reakcie pomocou údajov v zadaní príkladu.
3. Uskutočníme požadované výpočty.



6.2.1 Riešené príklady

6.2.1 Bezvodý bromid hlinitý sa pripravuje syntézou z prvkov. Uvedenej zlúčeniny treba pripraviť 180,0 g. Vypočítajte:

- a) hmotnosť hliníka,
- b) hmotnosť a objem brómu, ktoré boli potrebné na prípravu uvedeného množstva bromidu hlinitého.



Zo zadania príkladu je známa hmotnosť bromidu hlinitého, pomocou ktorej vypočítame rozsah reakcie*.

$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(\text{C})}{\nu(\text{C})} = \frac{\Delta m(\text{C})}{M(\text{C}) \nu(\text{C})} = \frac{180,0 \text{ g}}{266,694 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = 0,3375 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť zreagovaného hliníka

$$\Delta m(\text{A}) = \Delta n(\text{A}) M(\text{A}) = \Delta \xi \nu(\text{A}) M(\text{A}) = 0,3375 \text{ mol} \cdot (-2) \cdot 26,98 \text{ g mol}^{-1} = -18,21 \text{ g} \checkmark$$

b) Hmotnosť a objem zreagovaného brómu

$$\Delta m(\text{B}) = \Delta n(\text{B}) M(\text{B}) = \Delta \xi \nu(\text{B}) M(\text{B}) = 0,3375 \text{ mol} \cdot (-3) \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1} = -161,8 \text{ g} \checkmark$$

$$\Delta V(\text{B}) = \frac{\Delta m(\text{B})}{\rho(\text{B})} = \frac{-161,8 \text{ g}}{3,123 \text{ g cm}^{-3}} = -51,81 \text{ cm}^3 \checkmark$$

(Znamienko “-” pri vypočítaných hodnotách vyjadruje, že daná látka v sústave zreagovala.)

Na prípravu 180,0 g bromidu hlinitého bolo potrebných (muselo zreagovať) 18,21 g hliníka a 161,8 g brómu, ktorý mal objem 51,81 cm³.

Poznámka: Ak na začiatku reakcie sú v sústave prítomné iba stechiometrické množstvá východiskových látok (reaktantov), pri výpočte sa môžu použiť tiež absolútne hodnoty množstva látky.

Pre látkové množstvá východiskových látok (reaktantov) podľa (6.2) platí

$$\Delta n(\text{L}) = -n_z(\text{L}), \text{ lebo } n_k(\text{L}) = 0.$$

(Celkové množstvo reaktantov zreaguje a po reakcii nie sú prítomné v sústave.)

Potom pre absolútne hodnoty platí

$$|\Delta n(\text{L})| = |-n_z(\text{L})| = n_z(\text{L}) = n(\text{L}).$$

Absolútna hodnota zmeny látkového množstva látky L je vlastne rovná látkovému množstvu tejto látky v sústave. Označenie “z” nie je potrebné, lebo táto látka sa v sústave vyskytuje iba na začiatku reakcie.

Obdobné platí aj pre látkové množstvá produktov reakcie, t.j.

$$\Delta n(\text{L}) = n_k(\text{L}), \text{ lebo } n_z(\text{L}) = 0$$

(produkty nie sú prítomné na začiatku reakcie) a

$$|\Delta n(\text{L})| = |n_k(\text{L})| = n_k(\text{L}) = n(\text{L}).$$

Aj v tomto prípade je absolútna hodnota zmeny látkového množstva látky L vlastne rovná látkovému množstvu tejto látky v sústave. Označenie “k” nie je potrebné, lebo táto látka sa v sústave vyskytuje iba na konci reakcie.

Podobné vzťahy platia aj vtedy, keď množstvo látky je vyjadrené hmotnosťou alebo objemom. Ak sú vo výpočte uvedené absolútne hodnoty množstva látky, musia byť uvedené aj absolútne hodnoty stechiometrických koeficientov.

Potom riešenie uvedeného príkladu 6.2.1 možno tiež zapísať nasledovne:

* Pre jednoduchosť zápisu výpočtov sa namiesto vzorcov zlúčenín používajú veľké písmená uvedené pod vzorcami zlúčenín.

a) Hmotnosť zreagovaného hliníka

$$|\Delta m(A)| = m(A) = |\Delta n(A)| M(A) = \Delta \xi |v(A)| M(A) = 0,3375 \text{ mol} \cdot |-2| \cdot 26,98 \text{ g mol}^{-1} = 18,21 \text{ g}$$

b) Hmotnosť a objem zreagovaného brómu

$$|\Delta m(B)| = m(B) = |\Delta n(B)| M(B) = \Delta \xi |v(B)| M(B) = 0,3375 \text{ mol} \cdot |-3| \cdot 159,808 \text{ g mol}^{-1} = 161,8 \text{ g}$$

$$|\Delta V(B)| = V(B) = \frac{|\Delta m(B)|}{\rho(B)} = \frac{161,8 \text{ g}}{3,123 \text{ g cm}^{-3}} = 51,81 \text{ cm}^3$$

Úlohy 6.7.3 až 6.7.8.

6.3 Stechiometrické výpočty pre sústavy látok

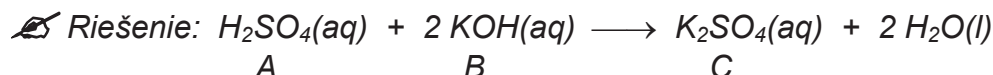
V mnohých prípadoch sa reagujúce látky nachádzajú v roztokoch, prípadne obsahujú rôzne nereagujúce prímеси ako je napr. voda. Pri výpočte rozsahu reakcie sa musí uvažovať iba množstvo reagujúcej (čistej) látky.



6.3.1 Riešené príklady

6.3.1 Roztok 56,00 % kyseliny sírovej sa zneutralizoval 142,0 cm³ 11,00 % roztoku hydroxidu draselného. Vypočítajte:

- hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej,
- koncentráciu látkového množstva síranu draselného v získanom roztoku, ktorého objem po doplnení vodou bol 500 cm³.



Zo zadania príkladu je známe množstvo zreagovaného hydroxidu draselného, ktoré sa použije na výpočet rozsahu reakcie. (Hmotnosť a objem roztoku látky nebudú ďalej označované príslušným symbolom ako v kap. 3 a 4, ale symbol bude doplnený o identifikáciu daného roztoku z dôvodu prehľadnosti výpočtu.)

$$\begin{aligned} \Delta \xi &= \frac{|\Delta n(B)|}{|v(B)|} = \frac{n(B)}{|v(B)|} = \frac{m(B)}{M(B)|v(B)|} = \frac{m(11,00\% \text{ B}) w(B)}{M(B)|v(B)|} = \\ &= \frac{V(11,00\% \text{ B}) \rho(11,00\% \text{ B}) w(B)}{M(B)|v(B)|} = \frac{142,0 \text{ cm}^3 \cdot 1,096 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,1100}{56,105 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = \\ &= 0,1526 \text{ mol} \end{aligned}$$

alebo jednoduchšie, ak sú dostupné požadované údaje

$$\begin{aligned} \Delta \xi &= \frac{|\Delta n(B)|}{|v(B)|} = \frac{n(B)}{|v(B)|} = \frac{c(B) V(11,00\% \text{ B})}{|v(B)|} = \frac{2,150^* \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,1420 \text{ dm}^3}{2} = \\ &= 0,1526 \text{ mol} \end{aligned}$$

a) Hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej

$$m(56,00 \% A) = \frac{m(A)}{w(A)} = \frac{n(A) M(A)}{w(A)} = \frac{\Delta\xi |v(A)| M(A)}{w(A)} =$$

$$= \frac{0,1526 \text{ mol} \cdot 1 \cdot 98,07 \text{ g mol}^{-1}}{0,5600} = 26,72 \text{ g} \checkmark$$

$$V(56,00 \% A) = \frac{m(56,00 \% A)}{\rho(56,00 \% A)} = \frac{26,72 \text{ g}}{1,4558 \text{ g cm}^{-3}} = 18,35 \text{ cm}^3 \checkmark$$

b) Koncentrácia látkového množstva síranu draselného

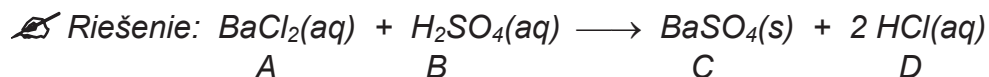
$$c(C) = \frac{|\Delta n(C)|}{V(\text{roztok } C)} = \frac{n(C)}{V(\text{roztok } C)} = \frac{\Delta\xi |v(C)|}{V(\text{roztok } C)} = \frac{0,1526 \text{ mol} \cdot 1}{0,500 \text{ dm}^3} =$$

$$= 0,305 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

Hmotnosť a objem zneutralizovaného roztoku 56,00 % kyseliny sírovej boli 26,72 g a 18,35 cm³. Koncentrácia látkového množstva síranu draselného v získanom roztoku bola 0,305 mol dm⁻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 molový zlomok, koncentráciu látkového množstva a molalitu chloridu bárnateho v roztoku,
- objem použitého roztoku kyseliny sírovej,
- koncentráciu oxóniových katiónov vo výslednom roztoku a pH tohto roztoku, ktorého objem po doplnení vodou bol 450 cm³.



Rozsah reakcie sa vypočíta podľa známeho množstva vzniknutého síranu bárnateho.

$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(C)}{v(C)} = \frac{\Delta m(C)}{M(C) v(C)} = \frac{8,75 \text{ g}}{233,40 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1} = 3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

a) Hmotnostný a molový zlomok, koncentrácia látkového množstva a molalita chloridu bárnateho v roztoku.

$$w(A) = \frac{m(A)}{m(\text{roztok } A)} = \frac{n(A) M(A)}{m(\text{roztok } A)} = \frac{\Delta\xi |v(A)| M(A)}{m(\text{roztok } A)} =$$

$$= \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 1 \cdot 208,24 \text{ g mol}^{-1}}{300,0 \text{ g}} = 2,60 \cdot 10^{-2} \checkmark$$

$$x(A) = \frac{n(A)}{n(A) + n(\text{H}_2\text{O})}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{roztok } A) w(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{300,0 \text{ g} \cdot 0,9740}{18,015 \text{ g mol}^{-1}} = 16,22 \text{ mol}$$

* Údaj z tabuliek pre 11,00 % roztok hydroxidu draselného.

$$x(A) = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} + 16,22 \text{ mol}} = 2,31 \cdot 10^{-3} \checkmark$$

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{roztok A})} = \frac{n(A) \rho(\text{roztok A})}{m(\text{roztok A})} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 1,064 \text{ g cm}^{-3}}{300,0 \text{ g}} = 1,33 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

$$\underline{m}(A) = \frac{n(A)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(A)}{m(\text{roztok A}) w(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,3000 \text{ kg} \cdot 0,974} = 1,28 \cdot 10^{-1} \text{ mol kg}^{-1} \checkmark$$

b) Objem roztoku kyseliny sírovej

$$V(\text{roztok B}) = \frac{n(B)}{c(B)} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,290 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,129 \text{ dm}^3 \checkmark$$

c) Koncentrácia oxóniových katiónov vo výslednom roztoku a pH tohto roztoku, ktorého objem po doplnení vodou bol 450 cm^3 .

Vo výslednom roztoku je kyselina chlorovodíková, ktorej koncentrácia látkového množstva sa rovná koncentrácii oxóniových katiónov.



$$c(D) = \frac{n(D)}{V(\text{roztok D})} = \frac{\Delta \xi \nu(D)}{V(\text{roztok D})} = \frac{3,749 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 2}{0,450 \text{ dm}^3} = 0,167 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

$$\text{pH} = -\log c_r(\text{H}_3\text{O}^+) = -\log(1,67 \cdot 10^{-1}) = 0,78 \checkmark$$

Zloženie roztoku chloridu bárnateho: $w = 2,60 \cdot 10^{-2}$, $x = 2,31 \cdot 10^{-3}$, $c = 1,33 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}$, $\underline{m} = 1,28 \cdot 10^{-1} \text{ mol kg}^{-1}$. Objem použitého roztoku kyseliny sírovej bol $0,129 \text{ dm}^3$ a 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 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. Vypočítajte:

a) objem 37,00 % kyseliny chlorovodíkovej potrebný na reakciu,

b) hmotnosť sulfidu železnateho s obsahom 2,40 % nereagujúcich prímiesí.



$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(\text{C})}{\nu(\text{C})} = \frac{p \Delta V(\text{C})}{RT \nu(\text{C})} = \frac{100,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 74,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot 1} = 3,020 \text{ mol}$$

a) Objem 37,00 % kyseliny chlorovodíkovej

$$V(37,00 \% \text{ B}) = \frac{n(\text{B})}{c(\text{B})} = \frac{\Delta \xi |\nu(\text{B})|}{c(\text{B})} = \frac{3,020 \text{ mol} \cdot 2}{12,012 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,5028 \text{ dm}^3 \checkmark$$

b) Hmotnosť sulfidu železnateho s obsahom 2,40 % nereagujúcich prímiesí

$$m(\text{A+prímiesi}) = \frac{m(\text{A})}{w(\text{A})} = \frac{n(\text{A}) M(\text{A})}{w(\text{A})} = \frac{\Delta \xi |\nu(\text{A})| M(\text{A})}{w(\text{A})} =$$

$$= \frac{3,020 \text{ mol} \cdot 1. 87,91 \text{ g mol}^{-1}}{1 - 0,0240} = 272 \text{ g} \checkmark$$

Poznámka: Hmotnosť zreagovaného sulfidu železnatého vyjadruje čitateľ uvedeneho zlomku a rovná sa 265,5 g.

☑ Na prípravu sírovodíka sa spotrebovalo 502,8 cm³ 37,00 % kyseliny chlorovodíkovej a 272 g sulfidu železnatého obsahujúceho 2,40 % nereagujúcich prímiesí.

Úlohy 6.7.9 až 6.7.17.

6.4 Nestechiometrické množstvá reagujúcich látok

V mnohých prípadoch sa reakcie uskutočňujú s nestechiometrickými množstvami reagujúcich látok. Niektorej látky alebo látok je v sústave viac ako vyžaduje stechiometria danej reakcie a po reakcii ostáva časť nezreagovaná. Látka, ktorá úplne zreaguje a z jej množstva sa určuje rozsah danej reakcie, sa označuje ako **limitujúca zložka**.

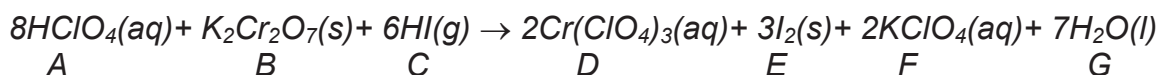


6.4.1 Riešené príklady

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 jodovodíka. Reakciou vznikol chloristan chromitý, jód, chloristan draselný a voda. Vypočítajte:

- látkové množstvá produktov,
- látkové množstvá nezreagovaných východiskových látok.

✍ Riešenie:



V zadaní príkladu sú uvedené údaje o množstvách všetkých východiskových látok, ktoré sa nachádzajú v sústave. Ak by jednotlivé látky kvantitatívne zreagovali, musela by sa uvedená reakcia uskutočniť s nasledujúcimi rozsahmi:

- ak úplne zreaguje kyselina chloristá v roztoku

$$\Delta \xi^{\text{ca}} = \frac{\Delta n(\text{A})}{\nu(\text{A})} = \frac{c(\text{A}) \Delta V(\text{roztok A})}{\nu(\text{A})} = \frac{1,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot (-0,250) \text{ dm}^3}{-8} = 3,13 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$$

- ak úplne zreaguje dichróman didraselný

$$\Delta \xi^{\text{cb}} = \frac{\Delta n(\text{B})}{\nu(\text{B})} = \frac{\Delta m(\text{B})}{M(\text{B}) \nu(\text{B})} = \frac{-5,8 \text{ g}}{294,184 \text{ g mol}^{-1} \cdot (-1)} = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

- ak úplne zreaguje jodovodík

$$\Delta \xi^c = \frac{\Delta n(C)}{\nu(C)} = \frac{p \Delta V(C)}{RT \nu(C)} = \frac{98,2 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot (-2,1) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} \cdot (-6)} = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\Delta \xi^a = 3,13 \cdot 10^{-1} \text{ mol} > \Delta \xi^b = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ mol} > \Delta \xi^c = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Daná reakcia sa môže uskutočniť len v najmenšom zistenom rozsahu $\Delta \xi = \Delta \xi^c$, pričom úplne zreaguje jodovodík (limitujúca zložka). Určitá časť kyseliny chloristej a dichrómanu didraselného, ktorá nezreagovala, zostáva v sústave po skončení reakcie.

a) Látkové množstvá produktov

$$\Delta n(D) = \Delta n(F) = \Delta \xi \nu(D) = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 2 = \mathbf{2,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \checkmark}$$

$$\Delta n(E) = \Delta \xi \nu(E) = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 3 = \mathbf{4,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \checkmark}$$

$$\Delta n(G) = \Delta \xi \nu(G) = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 7 = \mathbf{9,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \checkmark}$$

b) Látkové množstvá nezreagovaných látok podľa (6.2)

$$n_k(A) = \Delta n(A) + n_z(A) = \Delta \xi \nu(A) + c(A) \cdot V(\text{roztok } A) = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-8) + 1,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{0,14 \text{ mol} \checkmark}$$

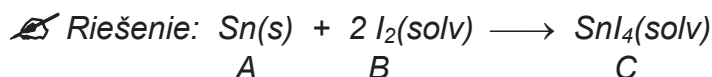
$$n_k(B) = \Delta n(B) + n_z(B) = \Delta \xi \nu(B) + \frac{m(B)}{M(B)} = 1,39 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1) + \frac{5,8 \text{ g}}{294,184 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{5,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \checkmark}$$

V uvedenej reakcii vzniklo $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ chloristanu chromitého a chloristanu draselného, $4,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ jódu a $9,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ vody. Nezreagovalo $0,14 \text{ mol}$ kyseliny chloristej a $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ dichrómanu didraselného.

6.4.2 Jodid ciničitý sa pripravuje reakciou cínu s jódom. Na jeho prípravu sa použilo 11,3 g pájky (zliatina obsahujúca 76,1 % cínu) a 30,0 g jódu. Vypočítajte:

a) hmotnosť pripraveného jodidu ciničitého,

b) hmotnosť nezreagovanej látky.



V príklade sú uvedené množstvá obidvoch reagujúcich látok. Pomocou vypočítaných rozsahov sa zistí, ktorá látka úplne zreaguje (limitujúca zložka) a ktorej časť ostáva v sústave po reakcii.

$$\Delta \xi^a = \frac{\Delta n(A)}{\nu(A)} = \frac{\Delta m(A)}{M(A) \nu(A)} = \frac{\Delta m(\text{zliatina A}) w(A)}{M(A) \nu(A)} = \frac{-11,3 \text{ g} \cdot 0,761}{118,69 \text{ g mol}^{-1} \cdot (-1)} = 7,246 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\Delta \xi^b = \frac{\Delta n(B)}{\nu(B)} = \frac{\Delta m(B)}{M(B) \nu(B)} = \frac{-30,0 \text{ g}}{253,809 \text{ g mol}^{-1} \cdot (-2)} = 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Pretože $\Delta \xi^a > \Delta \xi^b$ je

$$\Delta \xi = \Delta \xi^b = 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \text{ (úplne zreaguje jód - limitujúca zložka).}$$

a) Hmotnosť pripraveného jodidu ciničitého

$$\Delta m(C) = \Delta n(C) M(C) = \Delta \xi \nu(C) M(C) = 5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 1 \cdot 626,308 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{37,0 \text{ g} \checkmark}$$

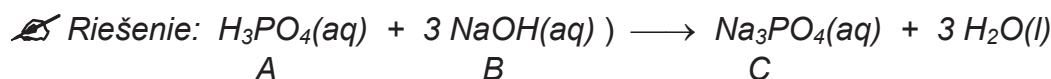
b) Hmotnosť nezreagovanej látky (pájky)

$$\begin{aligned}
 m_k(76,1\% A) &= \frac{m_k(A)}{w(A)} = \frac{n_k(A) M(A)}{w(A)} = [(\Delta n(A) + n_z(A))] \frac{M(A)}{w(A)} = \\
 &= [\Delta \xi \nu(A) + \frac{m_z(A)}{M(A)}] \frac{M(A)}{w(A)} = \\
 &= [\Delta \xi \nu(A) + \frac{m_z(76,1\% A) w(A)}{M(A)}] \frac{M(A)}{w(A)} = \\
 &= [5,910 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1) + \frac{11,3 \text{ g} \cdot 0,761}{118,69 \text{ g mol}^{-1}}] \cdot \frac{118,69 \text{ g mol}^{-1}}{0,761} = \\
 &= 2,08 \text{ g} \checkmark
 \end{aligned}$$

Reakciou cínu s jódom sa pripravilo 37,0 g jodidu ciničitého. Pretože na prípravu sa zobralo väčšie množstvo cínu ako vyžadovala stechiometria reakcie, zostalo po reakcii nezreagovaných 2,08 g 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. Vypočítajte:

- koncentráciu látkového množstva fosforečnanu trisodného,
- hmotnostný zlomok nezreagovanej látky v roztoku.



Pretože sú známe množstvá oboch reagujúcich látok, musí sa zistiť rozsah reakcie, podľa ktorého sa daná reakcia uskutoční. Tým sa zistí látka, ktorá v sústave úplne zreaguje (limitujúca zložka). Z druhej látky zostáva po reakcii časť v sústave.

$$\begin{aligned}
 \Delta \xi^a &= \frac{n(A)}{|\nu(A)|} = \frac{c(A) V(\text{roztok A})}{|\nu(A)|} = \frac{3,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3}{1} = 0,750 \text{ mol} \\
 \Delta \xi^b &= \frac{n(B)}{|\nu(B)|} = \frac{m(B)}{M(B) |\nu(B)|} = \frac{V(\text{roztok B}) \rho(\text{roztok B}) w(B)}{M(B) |\nu(B)|} = \\
 &= \frac{150 \text{ cm}^3 \cdot 1,08135 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,075}{39,997 \text{ g mol}^{-1} \cdot 3} = 0,101 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

Pretože $\Delta \xi^a > \Delta \xi^b$ (úplne zreaguje hydroxid sodný - limitujúca zložka) je rozsah reakcie $\Delta \xi = \Delta \xi^b = 0,101 \text{ mol}$.

a) Koncentrácia látkového množstva fosforečnanu trisodného

$$c(C) = \frac{n(C)}{V(\text{roztok C})}$$

Za predpokladu, že pri reakcii nenastala zmena objemu, je výsledný objem roztoku

$$V(\text{roztok C}) = V(\text{roztok A}) + V(\text{roztok B}) = 250 \text{ cm}^3 + 150 \text{ cm}^3 = 400 \text{ cm}^3$$

$$c(C) = \frac{0,101 \text{ mol}}{0,400 \text{ dm}^3} = 0,25 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

b) Hmotnostný zlomok nezreagovanej látky vo výslednom roztoku (v sústave zostáva časť kyseliny trihydrogenfosforečnej)

$$w(A) = \frac{m_k(A)}{m(\text{roztok})} = \frac{n_k(A) M(A)}{m(\text{roztok A}) + m(\text{roztok B})}$$

$$n_k(A) = \Delta n(A) + n_z(A) = \Delta \xi v(A) + c(A) \cdot V(\text{roztok A}) = \\ = 0,101 \text{ mol} \cdot (-1) + 3,0 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3 = 0,649 \text{ mol}$$

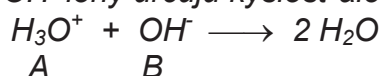
$$m(\text{roztok}) = V(\text{roztok A}) \rho(\text{roztok A}) + V(\text{roztok B}) \rho(\text{roztok B}) = \\ = 250 \text{ cm}^3 \cdot 1,1528 \text{ g cm}^{-3} + 150 \text{ cm}^3 \cdot 1,08135 \text{ g cm}^{-3} = 450,4 \text{ g}$$

$$w(A) = \frac{0,649 \text{ mol} \cdot 97,995 \text{ g mol}^{-1}}{450,0 \text{ g}} = 0,14 \checkmark$$

Koncentrácia látkového množstva fosforečnanu trisodného v roztoku bola $0,25 \text{ mol dm}^{-3}$. V sústave zostala nezreagovaná časť kyseliny trihydrogenfosforečnej a jej hmotnostný zlomok vo výslednom roztoku bol $0,14$.

6.4.4 Do 250 cm^3 vodného roztoku s koncentráciou H_3O^+ katiónov $\text{pH} = 2,50$ sa pridalo 500 cm^3 vodného roztoku s koncentráciou H_3O^+ katiónov $\text{pH} = 12,50$. Vypočítajte pH a pOH výsledného roztoku, ak platí aditivita objemov.

Riešenie: Zo zadania príkladu je zrejmé, že jeden z roztokov je roztok kyseliny ($\text{pH} = 2,50$) a druhý je roztok zásady ($\text{pH} = 12,50$). Pri zmiešavaní roztokov nastáva chemická reakcia medzi H_3O^+ katiónmi a OH^- aniónmi, pričom nezreagované H_3O^+ alebo OH^- ióny určujú kyslosť alebo zásaditosť výsledného roztoku.



$$\Delta \xi^a = \frac{n(A)}{|v(A)|} = \frac{c(A) V(\text{roztok A})}{|v(A)|} = \frac{10^{-2,50} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,250 \text{ dm}^3}{1} = \\ = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\Delta \xi^b = \frac{n(B)}{|v(B)|} = \frac{c(B) V(\text{roztok B})}{|v(B)|} = \frac{10^{-(14,00-12,50)} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,500 \text{ dm}^3}{1} = \\ = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Pretože $\Delta \xi^b > \Delta \xi^a$, potom $\Delta \xi = \Delta \xi^a = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ a úplne zreagujú H_3O^+ katióny - limitujúca zložka. V roztoku zostáva časť nezreagovaných OH^- aniónov a výsledný roztok bude zásaditý.

$$c(B) = \frac{n_k(B)}{V(\text{roztok B})}$$

$$n_k(B) = \Delta n(B) + n_z(B) = \Delta \xi v(B) + c(B) V(\text{roztok B}) = \\ = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot (-1) + 10^{-(14,00-12,50)} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = \\ = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$c(B) = \frac{1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,750 \text{ dm}^3} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pOH} = -\log c_r(B) = -\log (2,0 \cdot 10^{-2}) = 1,70 \checkmark \\ \text{pH} = 14,00 - 1,70 = 12,30 \checkmark$$

✓ Výsledný roztok má $pOH = 1,70$ a $pH = 12,30$.

Úlohy 6.7.18 až 6.7.24.

6.5 Stechiometrické výpočty pre nadväzujúce chemické reakcie

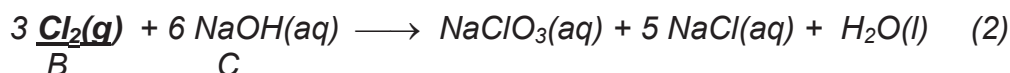
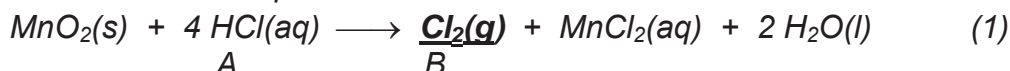
Doposiaľ sme riešili príklady s jednou chemickou reakciou. Pri syntéze látok však nie sú vždy všetky reaktanty komerčne dostupné a musia sa vopred pripraviť. Niekedy pri syntézach látok vznikajú zdraviu škodlivé produkty, ktoré treba zneškodniť - nechať ich zreagovať na menej škodlivé látky. V týchto prípadoch vystupujú pri prípravách látok viaceré na seba nadväzujúce chemické reakcie. Ako treba postupovať pri riešení uvedených prípadov si ukážeme na niekoľkých príkladoch.



6.5.1 Riešené príklady

6.5.1 Chlór, ktorý sa pripravil 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 príkladu treba uvažovať dve reakcie.



Tieto reakcie sa uskutočňujú s rozsahmi $\Delta\xi_1$ a $\Delta\xi_2$. Látkou, ktorá sa vyskytuje v oboch reakciách, je chlór (vyznačený v chemických rovniciach). V reakcii (1) je produktom reakcie a v reakcii (2) je východiskovou látkou.

Podľa zadania príkladu sa reakcia (1) uskutočnila v rozsahu

$$\Delta\xi_1 = \frac{\Delta n(\text{A})}{\nu(\text{A})} = \frac{-0,24 \text{ mol}}{-4} = 0,060 \text{ mol}$$

Pretože látkové množstvo chlóru pripravené v reakcii (1) je rovné látkovému množstvu chlóru zreagovanému v reakcii (2) $\Delta n_1(\text{B}) = -\Delta n_2(\text{B})$ je rozsah reakcie (2)

$$\Delta\xi_2 = \frac{\Delta n_2(\text{B})}{\nu_2(\text{B})} = \frac{-\Delta n_1(\text{B})}{\nu_2(\text{B})} = \frac{-\Delta\xi_1 \nu_1(\text{B})}{\nu_2(\text{B})} = \frac{-0,060 \text{ mol} \cdot 1}{-3} = 0,020 \text{ mol}$$

Hmotnosť zreagovaného hydroxidu sodného

$$\begin{aligned} \Delta m(\text{C}) &= \Delta n(\text{C}) M(\text{C}) = \Delta\xi_2 \nu(\text{C}) M(\text{C}) = 0,020 \text{ mol} \cdot (-6) \cdot 39,997 \text{ g mol}^{-1} = \\ &= -4,8 \text{ g} \quad \checkmark \end{aligned}$$

✓ S chlór, ktorý sa pripravil reakciou 0,24 mol chlorovodíka rozpusteného vo vode s oxidom manganičitým, zreagovalo 4,8 g hydroxidu sodného.

6.5.2 Reakciou manganistanu draselného s oxidom siričitým sa pripravilo 300 g vodného roztoku, v ktorom hmotnostný zlomok síranu manganatého bol 0,150. Oxid siričitý, potrebný na reakciu, sa pripravil reakciou zinku s kyselinou sírovou v koncentrovanom vodnom roztoku. Vypočítajte:

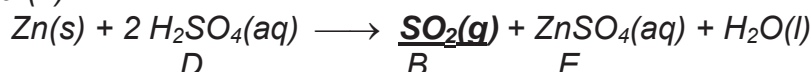
- hmotnosť manganistanu draselného s obsahom 2,00 % nereagujúcich prímiesí, potrebnú na prípravu uvedeného roztoku,
- objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na prípravu oxidu siričitého, ak z pripraveného oxidu siričitého zreagovalo v reakcii s manganistanom draselným iba 60,0 %,
- koncentráciu látkového množstva síranu zinočnatého vo výslednom roztoku, ktorý po doplnení vodou mal objem 500 cm³.

Riešenie: Zo zadania príkladu je zrejmé, že pri riešení treba uvažovať dve reakcie.

reakcia (1)



reakcia (2)



V tomto príklade je zadané množstvo síranu manganatého, čo umožňuje výpočet rozsahu reakcie (1).

$$\begin{aligned} \Delta \xi_1 &= \frac{n(C)}{|v(C)|} = \frac{m(C)}{M(C) |v(C)|} = \frac{m(\text{roztok C}) w(C)}{M(C) |v(C)|} = \\ &= \frac{300 \text{ g} \cdot 0,150}{151,00 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = 0,1490 \text{ mol} \end{aligned}$$

Množstvo oxidu siričitého, ktoré zreaguje v reakcii (1), je iba 60,0 % z pripraveného množstva oxidu siričitého v reakcii (2), teda $\Delta n_1(B) = -0,600 \Delta n_2(B)$.

Potom rozsah reakcie (2) je

$$\Delta \xi_2 = \frac{\Delta n_2(B)}{v_2(B)} = \frac{-\Delta n_1(B)}{0,600 v_2(B)} = \frac{-\Delta \xi_1 v_1(B)}{0,600 v_2(B)} = \frac{-0,149 \text{ mol} \cdot (-5)}{0,600 \cdot 1} = 1,242 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť manganistanu draselného obsahujúceho 2,00 % prímiesí

$$\begin{aligned} m(98,0 \% A) &= \frac{n(A) M(A)}{w(A)} = \frac{\Delta \xi_1 |v(A)| M(A)}{w(A)} = \\ &= \frac{0,1490 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 158,0339 \text{ g mol}^{-1}}{0,980} = 48,1 \text{ g} \checkmark \end{aligned}$$

b) Objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej

$$V(\text{roztok D}) = \frac{n(D)}{c(D)} = \frac{\Delta \xi_2 |v(D)|}{c(D)} = \frac{1,242 \text{ mol} \cdot 2}{17,966 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,138 \text{ dm}^3 \checkmark$$

c) Koncentrácia látkového množstva síranu zinočnatého

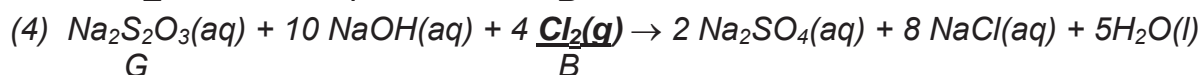
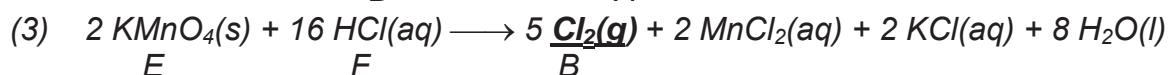
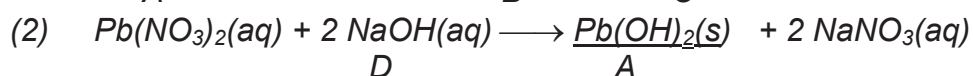
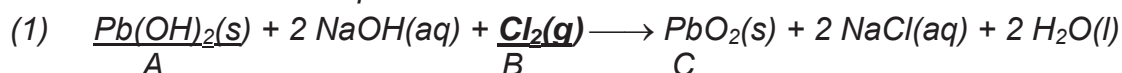
$$c(E) = \frac{n(E)}{V(\text{roztok E})} = \frac{\Delta \xi_2 |v(E)|}{V(\text{roztok E})} = \frac{1,242 \text{ mol} \cdot 1}{0,500 \text{ dm}^3} = 2,48 \text{ mol dm}^{-3} \checkmark$$

✓ Na prípravu 300 g síranu manganatého s hmotnostným zlomkom 0,150 sa spotrebovalo 48,1 g manganistanu draselného obsahujúceho 2,00 % prímiesí. Objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej, ktorý sa spotreboval pri výrobe oxidu siričitého, bol 0,138 dm³ za predpokladu, že z vyrobeného oxidu siričitého v reakcii s manganistanom draselným zreagovalo iba 60,0 %. Koncentrácia látkového množstva síranu zinočnatého vo výslednom roztoku, ktorého objem bol 500 cm³, bola 2,48 mol dm⁻³.

6.5.3 Zavádzaním chlóru do alkalického suspenzie hydroxidu olovnatého sa pripravilo 10,0 g oxidu olovičitého. Hydroxid olovnatý sa pre túto reakciu pripravoval reakciou dusičnanu olovnatého s hydroxidom sodným. Chlór sa zase 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,
- hmotnosť manganistanu draselného a objem 36,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej, ak sa má vyrobiť trojnásobne viac chlóru ako sa vyžaduje na uvedenú prípravu oxidu olovičitého,
- hmotnosť pentahydrátu tiosíranu sodného potrebného na prípravu roztoku na zneškodnenie nezreagovaného chlóru, v ktorom musí byť v 50 % nadbytku vzhľadom na množstvo zneškodneného chlóru.

✍ **Riešenie:** Pri riešení príkladu sa musia uvažovať tieto chemické reakcie:



Uvedené chemické reakcie sa podľa zadania príkladu ukutočnia s rozsahmi:

$$\Delta \xi_1 = \frac{\Delta n(\text{C})}{\nu(\text{C})} = \frac{\Delta m(\text{C})}{M(\text{C}) \nu(\text{C})} = \frac{10,0 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1} = 4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta \xi_2 &= \frac{\Delta n_2(\text{A})}{\nu_2(\text{A})} = \frac{-\Delta n_1(\text{A})}{\nu_2(\text{A})} = \frac{-\Delta \xi_1 \nu_1(\text{A})}{\nu_2(\text{A})} = \frac{-4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1)}{1} = \\ &= 4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \xi_3 &= \frac{\Delta n_3(\text{B})}{\nu_3(\text{B})} = \frac{-\Delta n_1(\text{B}) \cdot 3}{\nu_3(\text{B})} = \frac{-\Delta \xi_1 \nu_1(\text{B}) \cdot 3}{\nu_3(\text{B})} = \frac{-4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1) \cdot 3}{5} = \\ &= 2,509 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\Delta \xi_4 = \frac{\Delta n_4(\text{B})}{\nu_4(\text{B})} = \frac{-[\Delta n_3(\text{B}) + \Delta n_1(\text{B})]}{\nu_4(\text{B})} = \frac{-[\Delta \xi_3 \nu_3(\text{B}) + \Delta \xi_1 \nu_1(\text{B})]}{\nu_4(\text{B})} =$$

$$= \frac{-[2,509 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 5 + 4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1)]}{-4} = 2,091 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

a) Hmotnosť 5,00 % roztoku hydroxidu sodného potrebného na prípravu hydroxidu olovnatého

$$m(5,00 \% D) = \frac{m(D)}{w(D)} = \frac{\Delta \xi_2 |v(D)| M(D)}{w(D)} =$$

$$= \frac{4,181 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 2 \cdot 39,997 \text{ g mol}^{-1}}{0,0500} = 66,9 \text{ g} \checkmark$$

b) Hmotnosť manganistanu draselného a objem 36,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej

$$m(E) = n(E) M(E) = \Delta \xi_3 |v_3(E)| M(E) =$$

$$= 2,509 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 2 \cdot 158,038 \text{ g mol}^{-1} = 7,93 \text{ g} \checkmark$$

$$V(36,00 \% F) = \frac{n(F)}{c(F)} = \frac{\Delta \xi_3 |v(F)|}{c(F)} = \frac{2,509 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 16}{11,639 \text{ mol dm}^{-3}} = 3,45 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3 \checkmark$$

c) Hmotnosť pentahydrátu tiosíranu sodného ($G \cdot 5 \text{ H}_2\text{O} = L$)

$$m(L) = n(G) M(L) \cdot 1,5 = \Delta \xi_4 |v_4(G)| M(L) \cdot 1,5 =$$

$$= 2,091 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 1 \cdot 248,17 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1,5 = 7,78 \text{ g} \checkmark$$

Na prípravu 10,0 g oxidu olovičitého sa potrebovalo 66,9 g 5,00 % roztoku hydroxidu sodného, 7,93 g manganistanu draselného, 34,5 cm³ 36,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej a 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

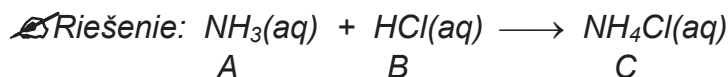


6.6.1 Vodný roztok chloridu amónneho sa pripravil z 200 cm³ 24,00 % vodného roztoku amoniaku a 36,00 % kyseliny chlorovodíkovej. Vypočítajte:

- hmotnostný zlomok chloridu amónneho vo výslednom roztoku,
- hmotnosť vody, ktorú treba odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu amónneho pri teplote 50 °C.

Rozpustnosť chloridu amónneho:

$s(50 \text{ °C}) = 35,5 \text{ g NH}_4\text{Cl na } 100 \text{ g roztoku}$



$$\Delta\xi = \frac{n(A)}{|v(A)|} = \frac{V(\text{roztok A}) c(A)}{|v(A)|} = \frac{0,200 \text{ dm}^3 \cdot 12,827 \text{ mol dm}^{-3}}{1} = 2,565 \text{ mol}$$

a) Hmotnostný zlomok chloridu amónneho v roztoku

$$w(C) = \frac{m(C)}{m(\text{roztok C})} = \frac{n(C) M(C)}{m(\text{roztok C})}$$

Hmotnosť roztoku chloridu amónneho, $m(\text{roztok C})$, sa vypočíta:

$$\begin{aligned} m(\text{roztok C}) &= m(\text{roztok A}) + m(\text{roztok B}) = \\ &= V(\text{roztok A}) \rho(\text{roztok A}) + \frac{n(B) M(B)}{w(B)} = \\ &= 200 \text{ cm}^3 \cdot 0,9102 \text{ g cm}^{-3} + \frac{2,565 \text{ mol} \cdot 36,461 \text{ g mol}^{-1}}{0,3600} = \\ &= 441,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w(C) = \frac{2,565 \text{ mol} \cdot 53,491 \text{ g mol}^{-1}}{441,8 \text{ g}} = 0,310 \checkmark$$

b) Hmotnosť vody, ktorú treba z roztoku chloridu amónneho odpariť, aby sa získal nasýtený roztok tejto látky pri teplote 50 °C

| | | |
|--|---|---|
| $\begin{aligned} m(\text{roztok C}) &= m_1 = 441,8 \text{ g} \\ w(C) &= w_1 = 0,310 \end{aligned}$ | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> zahusťovanie roztoku </div> | $\begin{aligned} m(\text{nasýt. roztok C, } 50^\circ\text{C}) &= m_2 \\ w(C) &= w_2 = 0,355 \\ m(\text{H}_2\text{O}) &= m_3 = ? \\ w(C) &= w_3 = 0 \end{aligned}$ |
|--|---|---|

Bilancie hmotností:

Sústavy: $m_1 = m_2 + m_3$ (1)

Látka C: $m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$ (2)

Po dosadení za m_2 v rovnici (2) z rovnice (1) a úprave

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{441,8 \text{ g} (0,310 - 0,355)}{0 - 0,355} = 56,0 \text{ g} \checkmark$$

Hmotnostný zlomok chloridu amónneho v pripravovanom roztoku bol 0,310. Z roztoku bolo treba odpariť 56,0 g vody, aby sa získal nasýtený roztok tejto látky pri teplote 50 °C.

6.6.2 Reakcia hydroxidu draselného s kyselinou sírovou sa uskutočnila v rozsahu 0,0860 mol. Vypočítajte:

a) hmotnosť hydroxidu draselného a objem 96,00 % kyseliny sírovej, potrebných na reakciu,

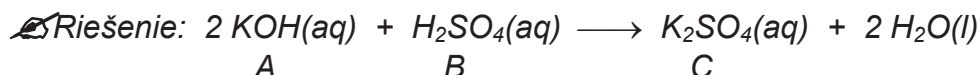
b) hmotnosť vody, ktorú bolo treba do sústavy pridať, aby sa získal nasýtený roztok pripravenej látky pri teplote 70 °C,

c) hmotnosť síranu draselného, ktorý vykryštalizuje z nasýteného roztoku tejto látky pri teplote 70 °C ochladením na teplotu 20 °C.

Rozpustnosť síranu draselného:

s(70 °C) = 20,0 g K₂SO₄ na 100 g vody

s(20 °C) = 11,0 g K₂SO₄ na 100 g vody



$$\Delta\xi = 0,0860 \text{ mol}$$

a) Hmotnosť hydroxidu draselného a objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej

$$m(\text{A}) = n(\text{A}) M(\text{A}) = \Delta\xi / \nu(\text{A}) / M(\text{A}) = 0,0860 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 56,1056 \text{ g mol}^{-1} = 9,65 \text{ g} \checkmark$$

$$V(96,00 \% \text{ B}) = \frac{n(\text{B})}{c(\text{B})} = \frac{0,0860 \text{ mol}}{17,966 \text{ mol dm}^{-3}} = 4,79 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 4,79 \text{ cm}^3 \checkmark$$

b) Hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať, aby sa získal nasýtený roztok síranu draselného pri teplote 70 °C

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| $m(\text{A}) = 9,65 \text{ g}$ | chemická reakcia a príprava roztoku | $\frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 70^\circ\text{C}) = m_1}{w(\text{C}) = w_1 = 0,167}$ |
| $m(96,00 \% \text{ B})$ | | |
| $m(\text{H}_2\text{O}) = ?$ | | |

Bilancia hmotností:

$$m(\text{A}) + m(96,00 \% \text{ B}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m_1$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_1 - m(\text{A}) - m(96,00 \% \text{ B}) =$$

$$= \frac{n(\text{C}) M(\text{C})}{w_1} - m(\text{A}) - V(96,00 \% \text{ B}) \rho(96,00 \% \text{ B}) =$$

$$= \frac{0,0860 \text{ mol} \cdot 174,25 \text{ g mol}^{-1}}{0,167} - 9,65 \text{ g} - 4,79 \text{ cm}^3 \cdot 1,8355 \text{ g cm}^{-3} =$$

$$= 71,3 \text{ g} \checkmark$$

c) Hmotnosť síranu draselného, ktorý vykryštalizuje ochladením nasýteného roztoku tejto látky pri teplote 70 °C na teplotu 20 °C

| | | |
|---|---------------|---|
| $\frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 70^\circ\text{C}) = m_1 = 89,7 \text{ g}}{w(\text{C}) = w_1 = 0,167}$ | kryštalizácia | $\frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 20^\circ\text{C}) = m_2}{w(\text{C}) = w_2 = 0,0991}$ |
| | | $\frac{m(\text{C}) = m_3 = ?}{w(\text{C}) = w_3 = 1}$ |

Bilancie hmotností:

Sústavy: $m_1 = m_2 + m_3$ (1)

Látka C: $m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$ (2)

Po dosadení za m_2 v rovnici (2) z rovnice (1) a úprave dostaneme

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{89,7 \text{ g} (0,167 - 0,0991)}{1 - 0,0991} = 6,76 \text{ g} \checkmark$$

✓ Na reakciu hydroxidu draselného s kyselinou sírovou, ktorá sa uskutočnila v rozsahu 0,0860 mol, sa spotrebovalo 9,65 g hydroxidu draselného a 4,79 cm³ 96,00 % kyseliny sírovej. Do sústavy bolo potrebné ešte pridať 71,3 g vody, aby sa získal nasýtený roztok síranu draselného pri teplote 70 °C. Ochladením tohto roztoku na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 6,76 g síranu draselného.

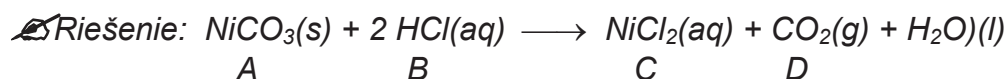
6.6.3 Z uhličitanu nikelnatého a 12,00 % kyseliny chlorovodíkovej treba pripraviť roztok obsahujúci 80,0 g chloridu nikelnatého. Vypočítajte:

- hmotnosť uhličitanu nikelnatého s obsahom 3,20 % nereagujúcich prímiesí a objem 12,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej potrebných na reakciu,
- hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo odpariť, aby vznikol roztok chloridu nikelnatého nasýtený pri teplote 60 °C,
- hmotnosť hexahydrátu chloridu nikelnatého, ktorý vykryštalizuje z tohto roztoku ochladením na teplotu 22 °C.

Rozpustnosť chloridu nikelnatého:

s(60 °C) = 44,6 g NiCl₂ na 100 g roztoku

s(22 °C) = 35,6 g NiCl₂ na 100 g roztoku



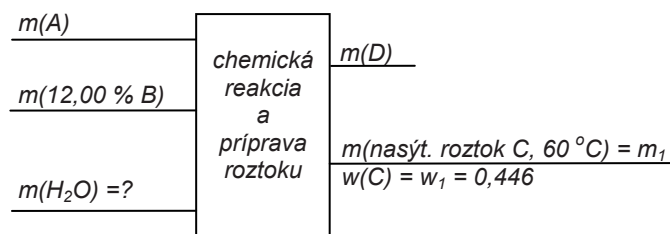
$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{C})}{\nu(\text{C})} = \frac{\Delta m(\text{C})}{M(\text{C}) \nu(\text{C})} = \frac{80,0 \text{ g}}{129,61 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1} = 0,6172 \text{ mol}$$

- Hmotnosť uhličitanu nikelnatého s 3,20 % nereagujúcich prímiesí a objem 12,00 % kyseliny chlorovodíkovej

$$m(96,8 \% \text{ A}) = \frac{m(\text{A})}{w(\text{A})} = \frac{n(\text{A}) M(\text{A})}{w(\text{A})} = \frac{0,6172 \text{ mol} \cdot 118,71 \text{ g mol}^{-1}}{1 - 0,0320} = 74,3 \text{ g} \checkmark$$

$$V(12,00 \% \text{ B}) = \frac{n(\text{B})}{c(\text{B})} = \frac{\Delta\xi |\nu(\text{B})|}{c(\text{B})} = \frac{0,6172 \text{ mol} \cdot 2}{3,480 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,3547 \text{ dm}^3 = 0,355 \text{ dm}^3 \checkmark$$

- Hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo odpariť, aby vznikol roztok chloridu nikelnatého nasýtený pri teplote 60 °C



Bilancia hmotností:

$$m(\text{A}) + m(12,00 \% \text{ B}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m_1 + m(\text{D})$$

$$\begin{aligned}
m(\text{H}_2\text{O}) &= m_1 + m(\text{D}) - m(\text{A}) - m(12,00 \% \text{ B}) = \\
&= \frac{m(\text{C})}{w_1} + n(\text{D}) M(\text{D}) - n(\text{A}) m(\text{A}) - V(12,00 \% \text{ B}) \rho(12,00 \% \text{ B}) = \\
&= \frac{80,0 \text{ g}}{0,446} + 0,6172 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g mol}^{-1} - 0,6172 \text{ mol} \cdot 118,71 \text{ g mol}^{-1} - \\
&\quad - 354,7 \text{ cm}^3 \cdot 1,0576 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{-242 \text{ g}} \checkmark
\end{aligned}$$

(Vypočítaná záporná hodnota pre danú bilančnú schému znamená, že zo sústavy treba vodu odpariť. Pri získaní kladnej hodnoty, vodu treba do sústavy pridať.)

- c) Hmotnosť hexahydrátu chloridu nikelnatého, ktorý vykryštalizuje z nasýteného vodného roztoku chloridu nikelnatého ochladením na teplotu 22 °C

| | | |
|---|---------------|---|
| $\frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 60 \text{ }^\circ\text{C}) = m_1 = 179,4 \text{ g}}{w(\text{C}) = w_1 = 0,446}$ | kryštalizácia | $\frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 22 \text{ }^\circ\text{C}) = m_2}{w(\text{C}) = w_2 = 0,356}$ $\frac{m(\text{C} \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}) = m_3 = ?}{w(\text{C}) = w_3 = 0,545}$ |
|---|---------------|---|

$$w_3 = \frac{M(\text{C})}{M(\text{C} \cdot 6 \text{ H}_2\text{O})} = \frac{129,61 \text{ g mol}^{-1}}{237,70 \text{ g mol}^{-1}} = 0,545$$

Bilancie hmotností:

Sústavy: $m_1 = m_2 + m_3$ (1)

Látka C: $m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$ (2)

Po dosadení za m_2 v rovnici (2) z rovnice (1) a úprave dostaneme

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{179,4 \text{ g} (0,446 - 0,356)}{0,545 - 0,356} = \mathbf{85,4 \text{ g}} \checkmark$$

Na prípravu roztoku, ktorý obsahoval 80,0 g chloridu nikelnatého sa spotrebovalo 74,3 g uhličitanu nikelnatého obsahujúceho 3,20 % nereagujúcich prímiesí a 355 cm³ 12,00 % roztoku kyseliny chlorovodíkovej. Z pripraveného roztoku sa po chemickej reakcii muselo odpariť 242 g vody, aby vznikol roztok chloridu nikelnatého nasýtený pri teplote 60 °C. Ochladením tohto roztoku na teplotu 22 °C vykryštalizovalo 85,4 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. Vypočítajte:

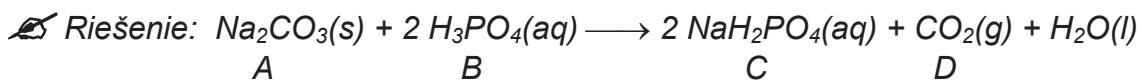
- a) hmotnostný zlomok kyseliny trihydrogenfosforečnej v použítom vodnom roztoku a jeho objem,

- b) hmotnosť dihydrátu dihydrogenfosforečnanu sodného, ktorý vykryštalizuje z pripraveného roztoku ochladením na teplotu 0 °C.

Rozpustnosť dihydrogenfosforečnanu sodného:

s(40 °C) = 58,0 g NaH₂PO₄ na 100 g roztoku

s(0 °C) = 37,0 g NaH₂PO₄ na 100 g roztoku

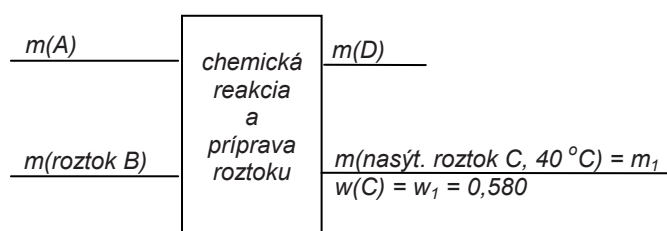


$$\Delta\xi = \frac{\Delta n(\text{C})}{|\nu(\text{C})|} = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C}) |\nu(\text{C})|} = \frac{m(\text{nasýt. roztok C, } 40^\circ\text{C}) w(\text{C})}{M(\text{C}) |\nu(\text{C})|} =$$

$$= \frac{153 \text{ g} \cdot 0,580}{119,977 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = 0,3698 \text{ mol}$$

a) Hmotnostný zlomok kyseliny trihydrogenfosforečnej vo vodnom roztoku a jeho objem

$$w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m(\text{roztok B})} = \frac{n(\text{B}) M(\text{B})}{m(\text{roztok B})} = \frac{\Delta\xi |\nu(\text{B})| M(\text{B})}{m(\text{roztok B})}$$



Bilancia hmotností:

$$m(\text{A}) + m(\text{roztok B}) = m_1 + m(\text{D})$$

$$m(\text{roztok B}) = m_1 + m(\text{D}) - m(\text{A}) = m_1 + n(\text{D}) M(\text{D}) - n(\text{A}) M(\text{A}) =$$

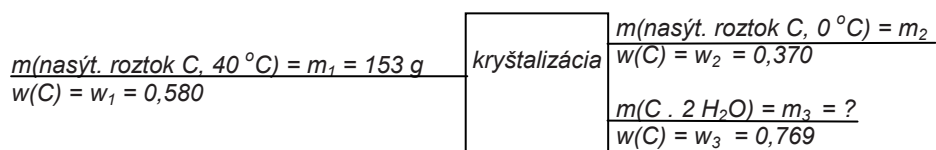
$$= 153 \text{ g} + 0,3698 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g mol}^{-1} - 0,3698 \text{ mol} \cdot 105,989 \text{ g mol}^{-1} =$$

$$= 130,1 \text{ g}$$

$$w(\text{B}) = \frac{0,3698 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 97,995 \text{ g mol}^{-1}}{130,1 \text{ g}} = 0,5571 = \mathbf{0,557\checkmark}$$

$$V(55,7\% \text{ B}) = \frac{m(55,7\% \text{ B})}{\rho(55,7\% \text{ B})} = \frac{130,1 \text{ g}}{1,3854 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{93,9 \text{ cm}^3\checkmark}$$

b) Hmotnosť vykryštalizovaného dihydrátu dihydrogenfosforečnanu sodného



$$w_3 = \frac{M(\text{C})}{M(\text{C} \cdot 2 \text{H}_2\text{O})} = \frac{119,997 \text{ g mol}^{-1}}{156,007 \text{ g mol}^{-1}} = 0,769$$

Bilancia hmotností:

Sústavy: $m_1 = m_2 + m_3$ (1)

Látka C: $m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$ (2)

Po dosadení za m_2 v rovnici (2) z rovnice (1) a úprave dostaneme

$$m_3 = \frac{m_1 (w_1 - w_2)}{w_3 - w_2} = \frac{153 \text{ g} (0,580 - 0,370)}{0,769 - 0,370} = 80,5 \text{ g} \checkmark$$

✓ Na prípravu 153 g nasýteného roztoku dihydrogenfosforečnanu sodného sa spotrebovalo 93,9 cm³ 55,7 % roztoku kyseliny trihydrogenfosforečnej. Ochladením nasýteného roztoku na teplotu 0 °C vykryštalizovalo 80,5 g dihydrátu dihydrogenfosforečnanu sodného.

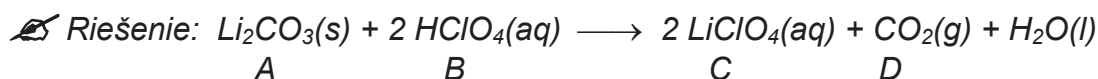
6.6.5 Chloristan lítny sa pripravil reakciou uhličitanu lítneho s kyselinou chloristou. Ochladením nasýteného roztoku chloristanu lítneho pri teplote 68 °C na teplotu 21 °C vykryštalizovalo 15,2 g trihydrátu chloristanu lítneho. Vypočítajte:

- hmotnosť zreagovaného uhličitanu lítneho,
- hmotnosť a zloženie (w) roztoku kyseliny chloristej, aby sa po reakcii získal nasýtený roztok chloristanu lítneho pri teplote 68 °C
- objem oxidu uhličitého, ktorý sa pri teplote 68,0 °C a tlaku 100,8 kPa uvedenou reakciou zo sústavy uvoľnil.

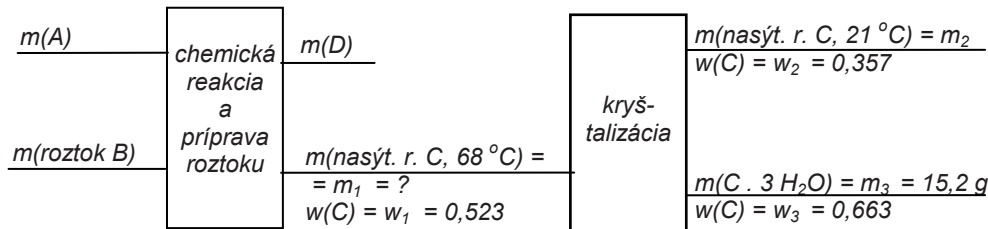
Rozpustnosť chloristanu lítneho:

s(68 °C) = 52,3 g LiClO₄ na 100 g roztoku

s(21 °C) = 35,7 g LiClO₄ na 100 g roztoku



$$\Delta \xi = \frac{\Delta n(\text{C})}{\nu(\text{C})} = \frac{\Delta m(\text{C})}{M(\text{C}) \nu(\text{C})}$$



$$w_3 = \frac{M(\text{C})}{M(\text{C} \cdot 3 \text{H}_2\text{O})} = \frac{106,391 \text{ g mol}^{-1}}{160,437 \text{ g mol}^{-1}} = 0,663$$

Bilancie hmotností (kryštalizácia):

Sústavy: $m_1 = m_2 + m_3$ (1)

Látka C: $m_1 w_1 = m_2 w_2 + m_3 w_3$ (2)

Po vyjadrení m_1 a vynásobení w_1 dostaneme

$$m_1 w_1 = \frac{m_3 w_1 (w_3 - w_2)}{w_1 - w_2} =$$

$$= \frac{15,2 \text{ g} \cdot 0,523 (0,663 - 0,357)}{0,523 - 0,357} = 14,65 \text{ g} = \Delta m(\text{C})$$

$$\Delta \xi = \frac{14,65 \text{ g}}{106,391 \text{ g mol}^{-1} \cdot 2} = 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

a) Hmotnosť zreagovaného uhličitanu lítneho

$$\begin{aligned}\Delta m(A) &= \Delta n(A) M(A) = \Delta \xi n(A) M(A) = \\ &= 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot (-1) \cdot 73,891 \text{ g mol}^{-1} = -5,088 \text{ g} = \mathbf{-5,09 \text{ g}} \checkmark\end{aligned}$$

b) Hmotnosť a zloženie (w) roztoku kyseliny chloristej

Bilancia hmotností (chemická reakcia a príprava roztoku):

$$m(A) + m(\text{roztok B}) = m_1 + m(D)$$

$$\begin{aligned}m(\text{roztok B}) &= m_1 + m(D) - m(A) = \frac{m(C)}{w_1} + n(D) M(D) - n(A) M(A) = \\ &= \frac{14,65 \text{ g}}{0,523} + 6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g mol}^{-1} - 5,088 \text{ g} = 25,95 \text{ g} = \\ &= \mathbf{26,0 \text{ g}} \checkmark\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w(B) &= \frac{m(B)}{m(\text{roztok B})} = \frac{n(B) M(B)}{m(\text{roztok B})} = \frac{\Delta \xi |v(B)| M(B)}{m(\text{roztok B})} = \\ &= \frac{6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 2 \cdot 100,458 \text{ g mol}^{-1}}{25,95 \text{ g}} = \mathbf{0,533} \checkmark\end{aligned}$$

c) Objem uvoľneného oxidu uhličitého

$$\begin{aligned}V(D) &= \frac{n(D)RT}{p} = \frac{6,885 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 341,15 \text{ K}}{100,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}} = \\ &= \mathbf{1,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \checkmark\end{aligned}$$

Ak ochladením nasýteného roztoku chloristanu lítneho pri teplote 68 °C na teplotu 21 °C vykryštalizovalo 15,2 g trihydrátu chloristanu lítneho, muselo zreagovať 5,09 g uhličitanu lítneho. Na reakciu sa použil roztok kyseliny chloristej s hmotnosťou 26,0 g a hmotnostným zlomkom 0,533, aby sa po reakcii získal nasýtený roztok chloristanu lítneho pri teplote 68 °C. Zo sústavy sa pri vyššie uvedených podmienkach uvoľnilo 1,94 dm³ oxidu uhličitého.

Úlohy 6.7.38 až 6.7.49.

6.7 Úlohy



6.7.1 Reakciou uhlíka s oxidom siričitým vzniká sírouhlík a oxid uhoľnatý. V reakcii zreagovalo 7,5 mol uhlíka. Vypočítajte:

a) rozsah reakcie,

b) látkové množstvá vzniknutého sírouhlíka a oxidu uhoľnatého.

[a] 1,5 mol; b) 6,0 mol]

6.7.2 V reakcii uhlíka s oxidom siričitým (reakcia uvedená v úlohe 6.7.1) zreagovalo 6,4 mol oxidu siričitého. Látkové množstvo uhlíka na začiatku reakcie bolo 19,5 mol. Vypočítajte:

a) látkové množstvá produktov,

b) látkové množstvo nezreagovaného uhlíka.

[a] $n(\text{CS}_2) = 3,2 \text{ mol}$, $n(\text{CO}) = 12,8 \text{ mol}$; b) 3,5 mol]

6.7.3 Rozkladom chlorečnanu draselného zahrievaním na chloristan draselný a chlorid draselný sa získalo 4,62 mol chloristanu draselného. Vypočítajte:

- a) rozsah reakcie,
- b) hmotnosť rozloženého chlorečnanu draselného.

[a) 1,54 mol; b) 755 g]

6.7.4 V reakcii fosfidu vápenatého s vodou zreagovalo 54,3 g fosfidu vápenatého. Vypočítajte:

- a) rozsah reakcie,
- b) látkové množstvo vody potrebné na reakciu,
- c) hmotnosť vzniknutého hydroxidu vápenatého.

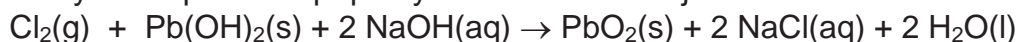
[a) 0,298 mol; b) 1,79 mol; c) 66,2 g]

6.7.5 Termickým rozkladom 9,50 g dusičnanu amónneho pri teplote 210 °C a tlaku 103,4 kPa sa pripravil oxid dusný. Vypočítajte:

- a) rozsah termického rozkladu,
- b) 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 reakciou sa pripravilo 28,7 g oxidu olovičitého. Vypočítajte:

- a) rozsah reakcie,
- b) látkové množstvo zreagovaného hydroxidu olovnatého a hydroxidu sodného,
- c) 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 Reakciou hliníka s oxidom olovičitým, pri ktorej vzniká olovo a oxid hlinitý, zreagovalo 300,0 g oxidu olovičitého. Vypočítajte:

- a) hmotnosť vzniknutého olova,
- b) hmotnosť hliníka potrebného na reakciu, ak obsahoval 1,70 % nereagujúcich prímiesí.

[a) 259,9 g; b) 45,9 g]

6.7.8 Chlorid sírny sa pripravuje reakciou chlóru so sírou. V tejto reakcii zreagovalo 24,7 g síry. Vypočítajte objem získaného kvapalného chloridu sírneho, ak priemerný výťažok syntézy je 60,0 %. ($\rho(\text{S}_2\text{Cl}_2) = 1,67 \text{ g cm}^{-3}$)

[18,6 cm³]

6.7.9 Zo 150 cm³ roztoku chloridu bárnateho sa reakciou s kyselinou sírovou vylúčilo 0,934 g síranu bárnateho. Použitý roztok kyseliny sírovej mal koncentráciu látkového množstva $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte:

- a) koncentráciu látkového množstva chloridu bárnateho v roztoku,
- b) objem použitého roztoku kyseliny sírovej,
- c) hmotnostnú koncentráciu kyseliny chlorovodíkovej za predpokladu, že objem roztoku sa pri reakcii nezmenil.

[a) $0,0267 \text{ mol dm}^{-3}$; b) 400 cm^3 ; c) $0,531 \text{ g cm}^{-3}$]

6.7.10 Z 230 g roztoku dusičnanu olovnatého reakciou so stechiometrickým množstvom kyseliny sírovej sa vylúčilo 4,85 g síranu olovnatého. Vypočítajte:

- molvý zlomok dusičnanu olovnatého vo východiskovom roztoku
- koncentráciu látkového množstva kyseliny dusičnej vo výslednom roztoku, ktorý po odfiltrovaní síranu olovnatého a doplnení vodou mal objem 500 cm^3 .

[a) $1,28 \cdot 10^{-3}$; b) $6,40 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$]

6.7.11 Reakciou dusičnanu strieborného rozpusteného v 58,0 g 0,50 % roztoku s kyselinou chlorovodíkovou, ktorej roztok mal koncentráciu chloridových iónov $p_{\text{Cl}} = 1,70$ sa vylúčil chlorid strieborný. Vypočítajte:

- hmotnosť chloridu strieborného,
- objem použitého roztoku kyseliny chlorovodíkovej,
- koncentráciu kyseliny dusičnej (pHNO_3) vo výslednom 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 $0,15 \text{ mol dm}^{-3}$. 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 v:

- $20,0 \text{ cm}^3$ roztoku s koncentráciou látkového množstva $0,15 \text{ mol dm}^{-3}$,
- 20,0 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 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 reakcii sa pri teplote $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku 101,1 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 °C a tlaku 97,0 kPa objem 120 dm³. 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 reakcie zneškodňovania chlóru.

[444 g; 955 g]

6.7.18 Ak reaguje oxid vanádnatý s oxidom železitým, produktmi reakcie sú oxid vanadičný a oxid železnatý. Vypočítajte hmotnosť oxidu vanadičného, ktorý vznikne touto reakciou, ak na začiatku reakcie je v sústave:

- 2,00 g oxidu vanádnateho a 5,75 oxidu železitého,
- 6,5 g oxidu vanádnateho a 3,2 oxidu železitého.

[a) 2,18 g; b) 1,2 g]

6.7.19 Reakciou titánu s kyselinou dusičnou a kyselinou chlorovodíkovou vznikol chlorid titaničitý, oxid dusnatý a voda. Na reakciu sa zobralo 12,1 g titánu a 25,5 cm³ roztoku kyseliny dusičnej s koncentráciou 6,97 mol dm⁻³. Vypočítajte:

- objem oxidu dusnatého, ktorý sa uvoľnil pri teplote 27,0 °C a tlaku 102,1 kPa,
- hmotnostný zlomok chloridu titaničitého v roztoku po reakcii, ktorého hmotnosť bola 83,3 g.

[a) 4,34 dm³; b) 0,304]

6.7.20 K 200 cm³ roztoku s koncentráciou oxóniových katiónov pH = 1,50 sa pridalo 150 cm³ roztoku s koncentráciou hydroxidových aniónov pOH = 2,50. Vypočítajte koncentráciu oxóniových katiónov (pH) a koncentráciu hydroxidových aniónov (pOH) vo vzniknutom roztoku za predpokladu, že platí aditivita objemov.

[pH = 1,78; pOH = 12,22]

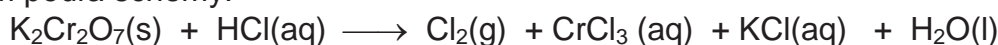
6.7.21 Do 250 cm³ roztoku, v ktorom boli rozpustené 2,00 g hydroxidu bárnatého, sa pridalo 250 cm³ roztoku s koncentráciou oxóniových katiónov pH = 2,00. Vypočítajte koncentráciu oxóniových katiónov (pH) a koncentráciu hydroxidových aniónov (pOH) v pripravenom roztoku za predpokladu, že platí aditivita 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 práškoveho zinku. Vypočítajte hmotnostný zlomok síranu meďnatého a síranu zinočnatého v roztoku po reakcii.

[$w(\text{CuSO}_4) = 0,11$; $w(\text{ZnSO}_4) = 0,084$]

6.7.23 Chlór sa pripravuje oxidáciou kyseliny chlorovodíkovej dichrómanom didraselným podľa schémy:



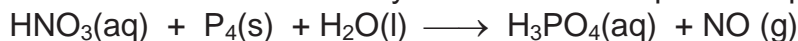
Vypočítajte:

- stechiometrické koeficienty látok,

b) objem uvoľneného chlóru pri teplote 24,0 °C a tlaku 98,0 kPa, ak sa na 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:

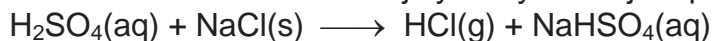


Vypočítajte:

- stechiometrické koeficienty látok,
- objem uvoľneného oxidu dusnatého pri teplote 20,0 °C a tlaku 103,0 kPa, ak sa na reakciu použilo 9,50 g fosforu a 475 cm³ 60,0 % roztoku kyseliny dusičnej. ($\rho(60,0\% \text{HNO}_3) = 1,367 \text{ g cm}^{-3}$)

[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,
- 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 žíhaním sa získalo 1,278 g oxidu železitého. Vypočítajte molalitu, hmotnostný zlomok a molový 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,
- hmotnosť vzniknutej zrazeniny.

[a) 0,100 mol dm⁻³, 0,200 mol dm⁻³; b) 3,32 g]

6.7.28 Po 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 reakciu pripravoval oxidáciou bromovodíka kyselinou sírovou, pričom ešte vznikol oxid siričitý a voda. Vypočítajte:

- hmotnosť oxidu antimonitého, ktorý obsahoval 1,20 % nereagujúcich prímiesí,
- 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 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. Reakcia syntézy sa uskutočnila v rozsahu 10,0 mmol. Chlór sa pre uvedenú 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 % z pripraveného množstva,
- hmotnosť chloridu železitého, ktorý sa syntézou pripravil

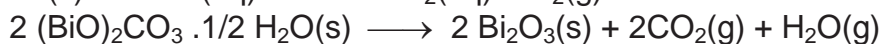
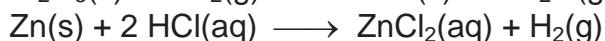
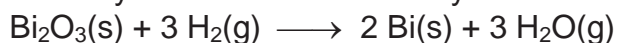
[a) 9,48 g, 41,2 cm³; b) 3,24 g]

6.7.31 Redukciou oxidu železitého vodíkom sa pripravilo 2,57 g práškového železa. Vodík pre túto reakciu sa pripravil reakciou zinku so zriedenou kyselinou chlorovodíkovou. Vypočítajte:

- hmotnosť zinku a objem 34,00 % kyseliny chlorovodíkovej, ak uvedenou reakciou treba vyrobiť desaťnásobne väčšie množstvo vodíka ako zodpovedá množstvu potrebnému na uvedenú prípravu práškového železa,
- hmotnosť oxidu železitého na prípravu uvedeného množstva železa za predpokladu, že obsahoval 15,4 % vody.

[a) 9,48 g, 41,2 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.

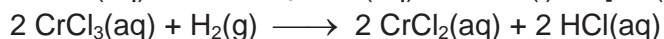
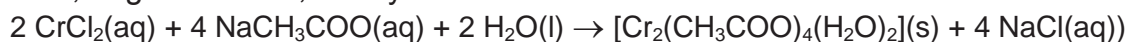


Vypočítajte:

- hmotnosť hemihydrátu uhličitanu bizmutyly, ktorá je potrebná na prípravu uvedeného množstva bizmutu,
- využitie vodíka pri tejto príprave,
- 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-diakvadichromnatý komplex sa pripravil reakciou chloridu chromnatého s octanom sodným. Roztok chloridu chromnatého 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.

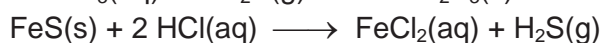


Vypočítajte:

- a) hmotnosť hexahydrátu chloridu chromitého a vody, ktoré sú potrebné na prípravu uvedeného množstva roztoku chloridu chromitého,
- b) hmotnosť trihydrátu octanu sodného, ak sa použilo 5,5-krát väčšie množstvo ako vyžaduje stechiometria reakcie,
- c) objem 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej potrebnej na prípravu vodíka,
- d) využitie vodíka pri redukcii chloridu chromitého,
- e) hmotnosť pripraveného tetraacetáto-diakvadichromnatého 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 reakciou sulfánu s chloridom antimonitým v 50,0 g 18,0 % roztoku. Sulfán potrebný na reakciu sa pripravil reakciou 11,5 g sulfidu železnateho s 16,5 cm³ 26,0 % kyselinou chlorovodíkovou. Nezreagovaný sulfán sa zachytával v 17,5 % roztoku hydroxidu draselného, kde reagoval.

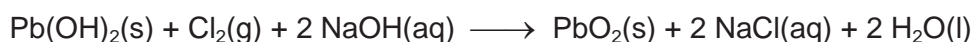


Vypočítajte:

- a) hmotnosť pripraveného sulfidu antimonitého,
- b) využitie sulfánu pri danej príprave,
- c) objem roztoku hydroxidu draselného, ktorý bol potrebný na zneškodnenie nezreagovaného sulfánu,
- d) 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 Reakciou hydroxidu olovnateho 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.

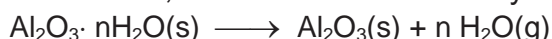


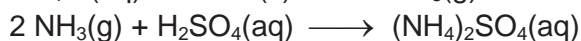
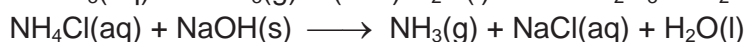
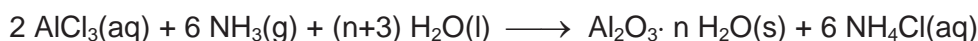
Vypočítajte:

- a) hmotnosť hydroxidu olovnateho a objem 40,0 % roztoku hydroxidu sodného, ktoré sú potrebné na prípravu uvedeného množstva oxidu olovičitého,
- b) 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) 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.



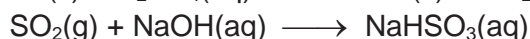
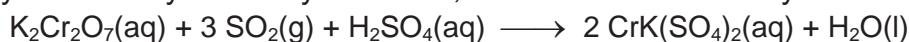


Vypočítajte:

- hmotnosť hexahydrátu chloridu hlinitého a objem vody, ktoré boli potrebné na prípravu uvedeného roztoku chloridu hlinitého,
- hmotnosť roztoku chloridu amónneho a hmotnosť hydroxidu sodného potrebných na prípravu amoniaku, ak jeho využitie pri zrážaní hydratovaného oxidu hlinitého bolo 70,0 %,
- 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 okyseleného kyselinou sírovou (stechiometrické množstvo) sa pripravil vodný roztok síranu draselno-chromitého. Oxid siričitý sa pripravil 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,
- objem 96,0 % kyseliny sírovej potrebný na okyselenie tohto nasýteného roztoku,
- hmotnosť pripraveného roztoku síranu draselno-chromitého a hmotnostný zlomok síranu draselno-chromitého v tomto roztoku.
- objem roztoku hydroxidu sodného potrebný na zneškodnenie nezreagovaného oxidu siričitého,
- využitie oxidu siričitého pri príprave síranu draselno-chromitého.

Rozpustnosť dichrómanu didraselného:

s(25 °C) = 13,1 g K₂Cr₂O₇ na 100 g roztoku

[a) 39,8 g; b) 1,14 cm³; c) 51,8 g, 0,112; d) 21,5 cm³; e) 39,5 %]

6.7.38 Vodný roztok dusičnanu draselného sa pripravil z 100,0 cm³ 26,00 % vodného roztoku hydroxidu draselného a 17,00 % vodného roztoku kyseliny dusičnej.

Vypočítajte:

- hmotnostný zlomok dusičnanu draselného v pripravenom roztoku,
- hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu draselného pri teplote 75 °C,
- hmotnosť vykryštalizovaného dusičnanu draselného ochladením nasýteného roztoku pri teplote 75 °C na teplotu 15 °C.

Rozpustnosť dusičnanu draselného:

s(75 °C) = 153,5 g KNO₃ na 100 g H₂O

s(15 °C) = 26,24 g KNO₃ na 100 g H₂O

[a) 0,1724; b) 241 g vody odpariť; c) 48,2 g]

6.7.39 Reakciou 18,45 g olova s kyselinou dusičnou vo vodnom 30,0 % roztoku sa pripravil roztok dusičnanu olovnatého. Vypočítajte:

- objem použitého roztoku kyseliny dusičnej,
- hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu olovnatého pri teplote 70 °C,
- hmotnosť dusičnanu olovnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 25 °C.

Rozpustnosť dusičnanu olovnatého:

$s(70\text{ °C}) = 51,00\text{ g Pb(NO}_3)_2$ na 100 g roztoku

$s(25\text{ °C}) = 37,50\text{ g Pb(NO}_3)_2$ 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 reakciou uhličitanu draselného s kyselinou chlorovodíkovou. Treba pripraviť 150 g nasýteného roztoku chloridu draselného pri teplote 70 °C. Vypočítajte:

- hmotnosť uhličitanu draselného a objem 22,0 % kyseliny chlorovodíkovej, ktoré treba zobrať na reakciu,
- hmotnosť vody, ktorú treba pridať alebo odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu draselného pri teplote 70 °C,
- 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 g roztoku

$s(20\text{ °C}) = 37,09\text{ g KCl}$ na 100 g roztoku

[a) 67,6 g, 146 cm³; b) 58,2 g vody odpariť; c) 31,3 g, 17,9 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 reakciou



Vypočítajte:

- hmotnosť oktahydrátu tetrahydroxo-pentaoxotetraboritanu disodného (bórxu) a objem 36,0 % kyseliny chlorovodíkovej potrebných na reakciu,
- hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok kyseliny trihydrogenboritej pri teplote 80 °C.

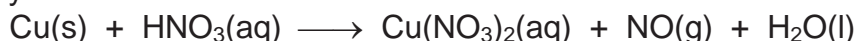
Rozpustnosť kyseliny trihydrogenboritej:

$s(80\text{ °C}) = 19,30\text{ g H}_3\text{BO}_3$ na 100 g roztoku

$s(20\text{ °C}) = 4,78\text{ g H}_3\text{BO}_3$ na 100 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. Vypočítajte:

- stechiometrické koeficienty látok,
- hmotnosť zreagovanej medi a objem spotrebovaného roztoku kyseliny dusičnej s hmotnostným zlomkom $w(\text{HNO}_3) = 0,280$,

- c) hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok dusičnanu meďnatého pri teplote 50 °C,
 d) hmotnosť trihydrátu dusičnanu meďnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 20 °C.

Rozpustnosť dusičnanu meďnatého:

$s(50\text{ °C}) = 62,0\text{ g Cu(NO}_3)_2$ na 100 g roztoku

$s(20\text{ °C}) = 55,6\text{ g Cu(NO}_3)_2$ na 100 g roztoku

[a) -3, -8, 3, 2, 4; b) 13,2 g, 107 cm³; c) 70,9 g vody odpariť; d) 19,7 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 arzšanu. Vypočítajte:

- a) stechiometrické koeficienty látok,
 b) hmotnosť použitého oxidu arzenitého a zinku,
 c) objem spotrebovaného roztoku kyseliny sírovej s hmotnostným zlomkom $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,42$,
 d) hmotnosť vody, ktorú treba do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok síranu zinočnatého pri teplote 40 °C,
 e) hmotnosť heptahydrátu síranu zinočnatého, ktorý z takto pripraveného nasýteného roztoku vykryštalizuje ochladením na teplotu 10 °C.

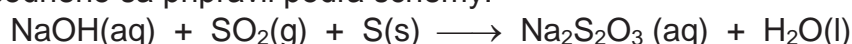
Rozpustnosť síranu zinočnatého:

$s(40\text{ °C}) = 41,0\text{ g ZnSO}_4$ 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 reakciu sa použil 28,0 % vodný roztok hydroxidu sodného.

Vypočítajte:

- a) stechiometrické koeficienty látok,
 b) hmotnosť vody, ktorá sa musela do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok tiosíranu sodného pri teplote 50 °C,
 c) 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 manganatého pri teplote 50 °C na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 12,0 g tetrahydrátu chloridu manganatého. Roztok chloridu manganatého sa pripravil podľa schémy:



Na reakciu sa použila 36,0 % kyselina chlorovodíková.

Vypočítajte:

- stochiometrické koeficienty látok,
- hmotnosť vody, ktorá sa musela do sústavy pridať alebo z nej odpariť, aby sa získal nasýtený roztok chloridu manganatého pri teplote 50 °C,
- objem uvoľneného chlóru pri teplote 50,0 °C a tlaku 101,0 kPa.

Rozpustnosť chloridu manganatého:

$s(50\text{ °C}) = 49,5\text{ g MnCl}_2$ 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 reakciou síranu draselného s kyselinou sírovou vo vodnom roztoku. Ochladením tohto nasýteného roztoku na teplotu 20 °C vykryštalizovalo 27,42 g hydrogensíranu draselného. Vypočítajte:

- hmotnosť síranu draselného, ktorú bolo treba na reakciu navážiť,
- zloženie a objem použitého vodného roztoku kyseliny sírovej,
- 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. Vypočítajte:

- hmotnosť hydroxidu sodného a vody potrebných na prípravu roztoku hydroxidu sodného,
- látkové množstvo vyrobeného oxidu siričitého, ak sa pri 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·x H₂O) s obsahom 7,27 % vlhkosti a 96,00 % roztoku kyseliny sírovej. Vypočítajte:

- objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na reakciu,
- hmotnosť vody, ktorú bolo treba pridať alebo odpariť zo sústavy, aby sa získal nasýtený roztok síranu kobaltnatého pri teplote 64 °C,
- 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 Reakciou medi 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 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 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. Vypočítajte:

- hmotnosť nezreagovanej medi,
- objem 96,00 % roztoku kyseliny sírovej potrebný na uvedené reakcie,
- hmotnosť vody, ktorú bolo treba do sústavy pridať pri príprave nasýteného roztoku (kyselina sírová bola dostupná iba v 96,00 % vodnom roztoku),
- výtťažok kryštalizácie v %.

Rozpustnosť síranu meďnatého:

s(60 °C) = 28,5 g CuSO₄ na 100 g roztoku

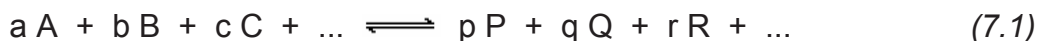
s(23 °C) = 17,0 g CuSO₄ na 100 g roztoku

[a) 1,66 g; b) 11,1 cm³; c) 37,8 g; d) 78,8 %]

7

CHEMICKÁ ROVNOVÁHA

Ak v určitej sústave zmiešame látky schopné navzájom spolu reagovať, prebieha v sústave chemický dej - chemická reakcia. Priebeh chemického deja je charakterizovaný tým, že látky ktoré sme zmiešali (východiskové látky, reaktanty) sa menia na iné látky (produkty reakcie). Chemická reakcia pozorovateľne prebieha len určitú dobu a po jej uplynutí nastane v sústave stav, ktorý sa nazýva **chemická rovnováha**. V chemickej rovnováhe existujú vedľa seba okrem produktov reakcie aj reaktanty v určitých často nie zanedbateľných množstvách. Existenciu rovnováhy v sústave zdôrazňujeme použitím obojsmernej šípky v chemickej rovnici.



Chemická rovnováha je **dynamický stav** čo znamená, že v skutočnosti prebiehajú premeny východiskových látok na produkty a produktov na východiskové látky, 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, C, ..., t.j. východiskové látky v rovnici (7.1), ale rovnovážny stav sa dosiahne aj vtedy, keď zmiešame navzájom látky P, Q, R, ..., t.j. produkty v rovnici reakcie (7.1), prípadne 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 dovedy, pokiaľ rovnováha existuje, t.j. dovedy, kým zásahom zvonku do sústavy určitého objemu 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 reakcia (7.1), charakterizuje **termodynamická rovnovážna konštanta** K_a , definovaná ako podiel súčinu aktivít produktov reakcie (7.1) umocnených na hodnoty príslušných koeficientov a súčinu aktivít východiskových látok reakcie (7.1) umocnených na hodnoty príslušných koeficientov.

$$K_a = \frac{a^p(P) a^q(Q) a^r(R) \dots}{a^a(A) a^b(B) a^c(C) \dots} \quad (7.2)$$

Aktivity jednotlivých látok L sú podľa termodynamiky (podrobnejšie sa obsahu pojmu aktivita bude venovať fyzikálna chémia) pre ideálne sa správajúce plynné, resp. kvapalné roztoky definované

$$a(L) = \frac{c(L)}{c^\theta} \quad (7.3)$$

Pritom $c(L)$ je koncentrácia látky L v danej sústave a c^θ je štandardná koncentrácia, ktorá sa obvykle volí $c^\theta = 1 \text{ mol dm}^{-3}$. Aktivity čistých látok v samostatnej fáze (napr. látky v heterogénnych rovnováhach) aj aktivity rozpúšťadiel sa v súlade s definíciou štandardného stavu považujú za jednotkové a z tohto dôvodu aktivita rozpúšťadla a aktivita látok v samostatných fázach sa obvykle vo vzťahu pre rovnovážnu konštantu ani neuvádzajú (bližšie pozri Šima J. a kol. Anorganická chémia I., Seminárne cvičenie, STU Bratislava 1998).

Vzhľadom k tomu, že zlomok $\frac{c(L)}{c^\theta}$ vyjadrujúci podiel koncentrácie $c(L)$ látky L a štandardnej koncentrácie c^θ predstavuje vlastne číselnú hodnotu koncentrácie látky, tak v doterajšej literatúre sa tento podiel označoval pojmom relatívna koncentrácia látky a používal sa pre ňu symbol $c_r(L)$.

Dosadením za aktivity jednotlivých látok vo vzťahu pre termodynamickú rovnovážnu konštantu dostávame.

$$K_a = \frac{\left(\frac{c(P)}{c^\theta}\right)^p \left(\frac{c(Q)}{c^\theta}\right)^q \left(\frac{c(R)}{c^\theta}\right)^r \dots}{\left(\frac{c(A)}{c^\theta}\right)^a \left(\frac{c(B)}{c^\theta}\right)^b \left(\frac{c(C)}{c^\theta}\right)^c \dots} \quad (7.4)$$

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 nahradili ich koncentraciami a zložený zlomok vo vzťahu (7.4) sa obvykle označuje ako **koncentračná rovnovážna konštant** K_c .

$$K_c = \frac{\left(\frac{c(P)}{c^\theta}\right)^p \left(\frac{c(Q)}{c^\theta}\right)^q \left(\frac{c(R)}{c^\theta}\right)^r \dots}{\left(\frac{c(A)}{c^\theta}\right)^a \left(\frac{c(B)}{c^\theta}\right)^b \left(\frac{c(C)}{c^\theta}\right)^c \dots} \quad (7.5)$$

V súlade s ostatnými učebnými textami budeme substituovať všetky zlomky relatívnou koncentraciou $c_r(L)$ ľubovolnej látky L a dostaneme pre koncentračnú konštantu vzťah v tvare:

$$K_c = \frac{c_r^p(P) c_r^q(Q) c_r^r(R) \dots}{c_r^a(A) c_r^b(B) c_r^c(C) \dots} \quad (7.6)$$

kde $c_r(P)$, $c_r(Q)$, $c_r(R)$ sú koncentrácie produktov reakcie; $c_r(A)$, $c_r(B)$, $c_r(C)$ sú koncentrácie východiskových látok; p , q , r , a , b , c sú koeficienty v rovnici (7.1). Pritom treba zdôrazniť, že takto sa do vzťahu (7.6) sa dosadzujú len bezrozmerné veličiny (koncentrácie) a tým sa dosiahne, že získaná konštant K_c je tiež bezrozmerná veličina. Veľmi často sa miesto symbolu c_r pre rovnovážnu koncentraciu používajú hranaté zátvorky a rovnovážna konštant sa potom zapisuje v tvare

$$K_c = \frac{[P]^p [Q]^q [R]^r \dots}{[A]^a [B]^b [C]^c \dots} \quad (7.7)$$

Hodnota rovnovážnej konštanty je mierou charakterizujúcou rovnovážny stav a zo vzťahov (7.2) a (7.4) až (7.7) vyplýva, že hodnoty konštant väčšie než jedna ($K > 1$) charakterizujú systavy, kde súčin rovnovážnych koncentrácií produktov je väčší než súčin rovnovážnych koncentrácií východiskových látok.

Významnou vlastnosťou každej rovnovážnej konštanty je skutočnosť, že kvantitatívne charakterizuje dosiahnutú rovnováhu v danej reakcii, t.j. vždy musí byť jednoznačne zadaná aj reakcia pre ktorú platí daná konštanta. Uvedený fakt možno dokumentovať na príklade jódu I_2 a vodíka H_2 , z ktorých vzniká jodovodík HI podľa reakcie



pre ktorú platí rovnážna konštanta v tvare

$$K_c(\text{vzniku HI}) = \frac{[HI]^2}{[I_2][H_2]} \quad (7.9)$$

Rovnako sa jodovodík HI rozpadá na jód I_2 a vodík H_2 podľa rovnice



pre ktorú platí rovnážna konštanta v tvare

$$K_c(\text{rozkladu HI}) = \frac{[I_2][H_2]}{[HI]^2} \quad (7.11)$$

Z porovnania vzťahov (7.10) a (7.12) jednoznačne vyplýva, že pre rovnaké stavové podmienky platí.

$$K_c(\text{vzniku HI}) = \frac{1}{K_c(\text{rozkladu HI})} \quad (7.12)$$

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 (začiatocného) zloženia sústavy. Prakticky dôsledok tohto tvrdenia možno uviesť na nasledujúcom príklade.

Pre rozhodovanie o smere prebiehajúceho deja sa využíva veličina pomenovaná **reakčný kvocient Q**, ktorá je definovaná analogicky ako rovnovážna konštanta, len na rozdiel od rovnovážnej konštanty vystupujú v reakčnom kvociente začiatocné (východiskové) koncentrácie jednotlivých látok.

$$Q = \left(\frac{c_r^p(P) c_r^q(Q) c_r^r(R) \dots}{c_r^a(A) c_r^b(B) c_r^c(C) \dots} \right)_{\text{vých}} \quad (7.13)$$

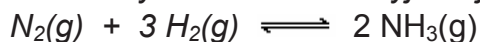
Ak je reakčný kvocient menší ako rovnovážna konštanta $Q < K$, t.j. podiel koncentrácií produktov a reaktantov umocnených na príslušné exponenty je menší ako príslúcha rovnovážnemu stavu, tak v sústave bude prebiehať dej, ktorý bude viesť k zvýšeniu koncentrácie produktov reakcie (7.1) a poklesu koncentrácie východiskových látok - reakcia zľava doprava. Je samozrejmé, že uvedené platí aj v opačnom prípade - ak je reakčný kvocient väčší ako hodnota rovnovážnej konštanty $Q > K$ pre dané podmienky, tak v sústave bude prebiehať dej zprava doľava. Ak $Q = K$ tak sústava je v rovnováhe a zloženie sústavy sa nemení.



7.1.1 Riešené príklady

7.1.1 Rovnovážna reakčná zmes z výroby amoniaku mala pri určitej teplote a tlaku dusík N_2 , vodík H_2 a amoniak NH_3 zloženie $c(N_2) = 4,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(H_2) = 1,35 \cdot 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(NH_3) = 9,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu konštantu K_c v danom experimente.

Riešenie: Výrobu amoniaku vyjadruje rovnica



pre ktorú má rovnovážna konštanta K_c tvar

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] [H_2]^3}$$

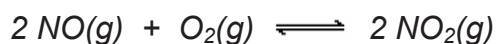
Dosadením hodnôt zadaných koncentrácií do uvedeného vzťahu dostávame

$$K_c = \frac{\{9,50 \cdot 10^{-3}\}^2}{\{4,50 \cdot 10^{-2}\} \cdot \{1,35 \cdot 10^{-1}\}^3} = 0,815 \quad \checkmark$$

Experimentálne zistená hodnota rovnovážnej konštanty pre syntézu amoniaku podľa uvedenej rovnice je za daných podmienok $K_c = 0,815$.

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 bol $c(O_2) = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(NO_2) = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu koncentráciu oxidu dusnatého NO v sústave za daných podmienok.

Riešenie: Oxidáciu oxidu dusnatého kyslíkom vyjadruje rovnica



pre ktorú má rovnovážna konštanta K_c tvar

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[O_2] [NO]^2} = 25,50$$

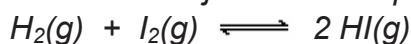
Dosadením zadaných hodnôt do vzťahu pre konštantu a jeho úpravou dostávame

$$[NO] = \sqrt{\frac{\{1,35 \cdot 10^{-2}\}^2}{25,5 \cdot \{5,2 \cdot 10^{-3}\}}} = 3,7 \cdot 10^{-2} \quad \checkmark$$

Koncentrácia oxidu dusnatého v rovnovážnej reakčnej zmesi je $c(NO) = 3,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$.

7.1.3 Dve rovnaké reakčné nádoby o objeme $10,00 \text{ dm}^3$ naplníme nasledovne: Do jednej dáme presne 1 mol jódu I_2 a 1 mol vodíka H_2 a do druhej dáme presne 2 mol jodovodíka HI . Obe nádoby zohrejeme na teplotu, pri ktorej má rovnovážna konštanta vzniku HI hodnotu $K_c = 55,50$. Vypočítajte zloženie sústav v oboch nádobách po dosiahnutí rovnováhy.

Riešenie: Vznik jodovodíka z prvkov vyjadruje rovnica



pre ktorú platí rovnovážna konštanta v tvare

$$K_c(\text{vzniku HI}) = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{I}_2][\text{H}_2]} = 55,50$$

V prvej nádobe sú na začiatku experimentu koncentrácie jódu a vodíka rovnaké $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$. Po dosiahnutí rovnováhy poklesnú obe koncentrácie o hodnotu x na $c(\text{H}_2) = x$ a na $c(\text{I}_2) = x$. V prvej nádobe nebol na začiatku experimentu žiaden jodovodík a po dosiahnutí rovnováhy bude jeho koncentrácia $2x$ (pozri stechiometriu reakcie vzniku HI). Dosadením uvedených hodnôt do vzťahu pre rovnovážnu konštantu dostávame

$$K_c(\text{vzniku HI}) = \frac{(2x)^2}{(0,1 - x) \cdot (0,1 - x)} = 55,50$$

Po úprave dostávame kvadratickú rovnicu v tvare

$$51,5x^2 - 11,1x + 0,555 = 0$$

z ktorej riešením dostaneme korene $x_1 = 0,1367$ a $x_2 = 0,0788$. Prvý koreň je nereálny (úbytok koncentrácie väčší ako východisková koncentrácia) a použitím druhého koreňa dostávame zloženie rovnovážnej zmesi

$$c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = \mathbf{0,0212 \text{ mol dm}^{-3}} \text{ a } c(\text{HI}) = \mathbf{0,1577 \text{ mol dm}^{-3}} \checkmark$$

V druhej nádobe je na začiatku experimentu koncentrácia jodovodíka $c(\text{HI}) = 0,20 \text{ mol dm}^{-3}$. Po dosiahnutí rovnováhy poklesne jeho koncentrácia o hodnotu y na hodnotu $c(\text{HI}) = y$. Na začiatku experimentu nebol v tejto nádobe žiaden jód ani vodík a po dosiahnutí rovnováhy budú ich koncentrácie $0,5y$ (pozri stechiometriu reakcie vzniku HI). Dosadením uvedených hodnôt do vzťahu pre rovnovážnu konštantu dostávame

$$K_c(\text{vzniku HI}) = \frac{(0,2 - y)^2}{(0,5y) \cdot (0,5y)} = 55,50$$

Po úprave dostávame kvadratickú rovnicu v tvare

$$12,875y^2 + 0,4y - 0,04 = 0$$

z ktorej riešením dostaneme korene $y_1 = 0,0423$ a $y_2 = -0,0734$. Druhý koreň je nereálny (koncentrácie nemôžu byť záporné) a použitím prvého koreňa dostávame zloženie rovnovážnej zmesi

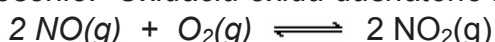
$$c(\text{HI}) = \mathbf{0,1577 \text{ mol dm}^{-3}} \text{ a } c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = \mathbf{0,0212 \text{ mol dm}^{-3}} \checkmark$$

Z uvedeného výpočtu vyplýva, že koncentrácie v oboch nádobách budú rovnaké, t.j. $c(\text{HI}) = 0,1577 \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = 0,0212 \text{ mol dm}^{-3}$.

7.1.4 Oxidáciu oxidu dusnatého NO na oxid dusičitý NO₂ kyslíkom O₂ pri určitých stavových podmienkach (teplote a tlaku) charakterizuje rovnovážna konštantka $K_c = 25,5$. Rozhodnite aká reakcia bude prebiehať v sústavách, v ktorých boli východiskové koncentrácie jednotlivých látok:

- a) $c(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{NO}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$;
 b) $c(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 0,010 \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{NO}_2) = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie: Oxidáciu oxidu dusnatého kyslíkom vyjadruje rovnica



pre ktorú má rovnovážna konštantka K_c tvar

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{O}_2][\text{NO}]^2} = 25,50$$

V prípade a) pre reakčný kvocient platí

$$Q = \left(\frac{c^2(\text{NO}_2)}{c(\text{O}_2) c^2(\text{NO})} \right)_{\text{vých}} = \frac{(0,100)^2}{(0,100) \cdot (0,100)^2} = 10,0 \checkmark$$

Hodnota reakčného kvocientu je menšia ako hodnota rovnovážnej konštanty a teda musí prebiehať reakcia v smere oxidácie NO na NO₂.

V prípade b) pre reakčný kvocient platí

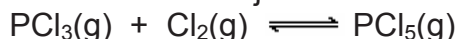
$$Q = \left(\frac{c^2(\text{NO}_2)}{c(\text{O}_2) c^2(\text{NO})} \right)_{\text{vých}} = \frac{(0,100)^2}{(0,010) \cdot (0,100)^2} = 100 \checkmark$$

Hodnota reakčného kvocientu je väčšia ako hodnota rovnovážnej konštanty a teda musí prebiehať reakcia v smere rozkladu NO₂ na NO a O₂.

7.2 Úlohy



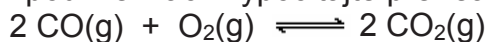
7.2.1 Reakcia oxidačnej adície chlóru Cl₂ na chlorid fosforitý prebieha podľa rovnice



Vypočítajte hodnotu rovnovážnej konštanty ak po dosiahnutí rovnováhy bolo zloženie reakčnej zmesi $c(\text{PCl}_5) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{PCl}_3) = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{Cl}_2) = 0,35 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_c = 1,4]$$

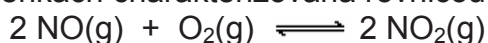
7.2.2 Rovnovážna reakčná zmes z oxidácie oxidu uhoľnatého CO kyslíkom O₂ na oxid uhličitý CO₂ obsahovala jednotlivé plyny v koncentráciach bolo $c(\text{CO}_2) = 1,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{CO}) = 9,50 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ a $c(\text{O}_2) = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Pri daných podmienkach vypočítajte pre reakciu



hodnotu rovnovážnej konštanty.

$$[K_c = 9,97 \cdot 10^3]$$

7.2.3 Oxidácia oxidu dusnatého NO kyslíkom O₂ na oxid dusičitý NO₂ je pri daných podmienkach charakterizovaná rovnicou reakcie



a hodnotou rovnovážnej konštanty $K_c = 37,50$. Obsah kyslíka O₂ v rovnovážnej zmesi bol $c(\text{O}_2) = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a obsah oxidu dusnatého NO v zmesi bol $c(\text{NO}) = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte rovnovážnu koncentráciu oxidu dusičitého NO₂ za daných podmienok v sústave.

$$[c(\text{NO}_2) = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}]$$

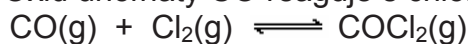
7.2.4 Termický rozklad chloridu fosforečného PCl₅ na chlór Cl₂ a chlorid fosforitý PCl₃ charakterizuje rovnica reakcie



a pri určitých podmienkach hodnota rovnovážnej konštanty $K_c = 0,255$. Vypočítajte, aká bola koncentrácia chloridu fosforitého v rovnovážnej zmesi, keď koncentrácie ďalších dvoch 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 fosgenu COCl_2 v reakcii



charakterizovanej za určitých podmienok rovnovážnou konštantou $K_c = 8,85 \cdot 10^4$. Vypočítajte zloženie rovnovážnej zmesi, keď do reaktora s objemom $2,50 \text{ dm}^3$ sa umiestnili látky v množstvách $m(\text{Cl}_2) = 1,00 \text{ g}$ a $m(\text{CO}) = 0,500 \text{ g}$.

$$[c(\text{Cl}_2) = 4,11 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}, c(\text{CO}) = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}, \\ c(\text{COCl}_2) = 5,60 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}]$$

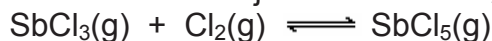
7.2.6 Oxid uhoľnatý CO a vodná para H_2O reagujú za vzniku oxidu uhličitého CO_2 a vodíka H_2 .



Rovnováhu v tejto reakcii za určitých podmienok charakterizuje rovnovážna konštantá $K_c = 726,3$. Vypočítajte obsah všetkých zložiek v rovnovážnej zmesi, keď zmes vstupujúca do reaktora obsahovala oxid uhoľnatý v koncentrácii $c(\text{CO}) = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, vodnú paru v koncentrácii $c(\text{H}_2\text{O}) = 5,32 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ a zvyšok tvoril pri daných podmienkach inertný dusík.

$$[c(\text{CO}_2) = 5,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}, c(\text{H}_2) = 5,30 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}, \\ c(\text{CO}) = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \text{ a } c(\text{H}_2\text{O}) = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}]$$

7.2.7 Reakcia oxidačnej adície chlóru Cl_2 na chlorid antimonitý SbCl_3



je pri určitých podmienkach charakterizovaná hodnotou rovnovážnej konštanty $K_c = 0,825$. Rozhodnite, aká reakcia bude prebiehať v systéme východiskového zloženia:

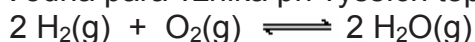
a) $c(\text{SbCl}_5) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{SbCl}_3) = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$,
 $c(\text{Cl}_2) = 0,35 \text{ mol dm}^{-3}$

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) $Q = 1,4$ bude prebiehať rozklad SbCl_5 na východiskové látky,

b) $Q = 0,14$ bude prebiehať vznik SbCl_5 z východiskových látok.]

7.2.8 Vodná para vzniká pri vyšších teplotách horením vodíka H_2 a kyslíka O_2



a je za daných podmienok charakterizovaná rovnovážnou konštantou $K_c = 865,2$. Rozhodnite aká reakcia bude prebiehať v systéme zloženia:

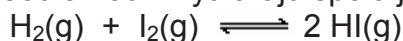
a) $c(\text{H}_2) = 7,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{O}_2) = 2,75 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 0,350 \text{ mol dm}^{-3}$

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) $Q = 792$ bude prebiehať horenie východiskových látok na vodnú paru,

b) $Q = 4,83 \cdot 10^{-2}$ bude prebiehať horenie východiskových látok na vodnú paru.]

7.2.9 Jód a vodík vytvárajú spolu jodovodík podľa rovnice reakcie.



Pre systém obsahujúci jednotlivé zložky v koncentráciach $c(\text{H}_2) = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{I}_2) = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{HI}) = 0,15 \text{ mol dm}^{-3}$ rozhodnite:

- aký dej bude prebiehať, ak pre dané podmienky rovnovážna konštanta vzniku jodovodíka hodnotu $K_c = 55,00$,
- aký bude rozsah prebiehajúcej reakcie v reaktore s objemom presne 1 dm^3 ,
- aké bude výsledné zloženie reakčnej zmesi v rovnováhe.

[a) $Q = 11$ bude prebiehať konverzia východiskových látok na jodovodík,

b) $\xi = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$,

c) $c(\text{H}_2) = 5,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{I}_2) = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{HI}) = 0,19 \text{ mol dm}^{-3}$.]

8

PROTOLYTICKÉ ROVNOVÁHY

Podľa Brónstedovej teórie sa za kyselinu považuje látka, ktorá je schopná odovzdávať protón (je donorom protónu)



a zásadu látka, ktorá môže protón prijímať (je akceptorom protónu).



Každá kyselina je spriahnutá so zodpovedajúcou zásadou, líšiacou sa protónom, tvorí tzv. konjugovanú dvojicu kyseliny a zásady (K_1 a Z_1 , K_2 a Z_2). V Brónstedovom poňatí môžu byť kyselinami a zásadami nielen elektroneutrálne molekuly, ale aj niektoré ióny (kationové, príp. aniónové kyseliny a zásady). Kyseliny a zásady sú označované spoločným názvom protolyty a reakcie medzi nimi ako protolytické.

8.1 Autoprotolýza a iónový súčin rozpúšťadla

Autoprotolýza je protolytická reakcia, pri ktorej dve molekuly tej istej látky SH vo funkcii Brónstedovej kyseliny a zásady si navzájom vymieňajú protón. Pritom vzniká solvatovaný protón SH_2^+ (lyóniový kation) a anión deprotonovaného rozpúšťadla S^- (lyátový anión). Ak označíme amfotérne rozpúšťadlo symbolom SH, môžeme jeho autoprotolýzu vyjadriť rovnicou



Rovnovážna konštanta autoprotolytickej reakcie, vyjadrená schémou (8.3), má tvar

$$K_c = \frac{[SH_2^+][S^-]}{[SH]^2} \quad (8.4)$$

Ak látka SH je málo ionizovaná, potom možno koncentráciu neionizovaných molekúl považovať za konštantnú. V tomto prípade možno zaviesť novú konštantu K_S (v angličtine je rozpúšťadlo solvent, z toho skratka S), ktorá charakterizuje rovnováhu (8.3), tzv. iónový súčin, čiže autoprotolytickú konštantu rozpúšťadla

$$K_S(SH) = K_c [SH]^2 = [SH_2^+][S^-] \quad (8.5)$$

Hodnoty autoprotolytických konštánt rôznych rozpúšťadiel sú uvedené v tabuľke 8.1.

V čistom rozpúšťadle vzhľadom na bilanciu náboja (5.6) platí $[SH_2^+] = [S^-]$, takže dosadením do rovnice (8.5) dostávame

$$K_S(SH) = [SH_2^+]^2 = [S^-]^2 \quad (8.6)$$

a z toho

$$[\text{SH}_2^+] = [\text{S}^-] = \sqrt{K_s(\text{SH})} \quad (8.7)$$

Ak $[\text{SH}_2^+] > \sqrt{K_s(\text{SH})}$, roztoky sú kyslé, ak $[\text{S}^-] > \sqrt{K_s(\text{SH})}$, roztoky sú zásadité ak $[\text{SH}_2^+] = [\text{S}^-] = \sqrt{K_s(\text{SH})}$, roztoky sú neutrálne.

Iónový súčin vody sa označuje symbolom K_v a má pri 25 °C hodnotu

$$K_v = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} \quad (8.8)$$

Tabuľka 8.1 Autoprotolytické konštanty niektorých rozpúšťadiel pri 18 až 25 °C

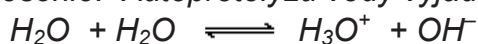
| Rozpúšťadlo | SH | $K_s(\text{SH})$ | $\text{p}K_s(\text{SH})$ |
|--------------------|--|------------------------------------|--------------------------|
| Amoniak | NH_3 | $1 \cdot 10^{-32}(-60 \text{ °C})$ | 32 (-60 °C) |
| Etanol | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | $7,9 \cdot 10^{-20}$ | 19,1 |
| Etanolamín | $\text{NH}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$ | $7,9 \cdot 10^{-6}$ | 5,1 |
| Etylénglykol | $\text{HOC}_2\text{H}_4\text{OH}$ | $1,6 \cdot 10^{-16}$ | 15,8 |
| Fluorovodík | HF | $2 \cdot 10^{-11}(0 \text{ °C})$ | 10,7 (0 °C) |
| Formamid | HCONH_2 | $1,6 \cdot 10^{-17}$ | 16,8 |
| Hydrazín | N_2H_4 | $1 \cdot 10^{-13}$ | 13 |
| Kyselina mravčia | HCOOH | $6,3 \cdot 10^{-7}$ | 6,2 |
| Kyselina octová | CH_3COOH | $3,2 \cdot 10^{-5}$ | 14,5 |
| Kyselina sírová | H_2SO_4 | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,6 |
| Metanol | CH_3OH | $2 \cdot 10^{-17}$ | 16,7 |
| Oxid deutérny | D_2O | $1,6 \cdot 10^{-15}$ | 14,8 |
| Peroxid vodíka | H_2O_2 | $1 \cdot 10^{-13}$ | 13 |
| izo-Propanol | izo- $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ | $1,6 \cdot 10^{-21}$ | 20,8 |
| <i>n</i> -Propanol | <i>n</i> - $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ | $4 \cdot 10^{-20}$ | 19,4 |
| 1,2-Propylénglykol | $\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2$ | $6,3 \cdot 10^{-18}$ | 17,2 |
| Voda | H_2O | $1 \cdot 10^{-14}$ | 14 |

8.1.1 Riešené príklady



8.1.1 Vypočítajte relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových katiónov H_3O^+ a hydroxidových aniónov OH^- v čistej vode pri teplote 25 °C.

Riešenie: Autoprotolýzu vody vyjadríme rovnicou



Z bilancie náboja platí $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ a dosadením do rovnice (8.8) pre iónový súčin vody dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 = K_v = 1,0 \cdot 10^{-14}$$

z čoho

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7} \checkmark$$

V čistej vode relatívne rovnovážne koncentrácie oxóniových katiónov H_3O^+ a hydroxidových aniónov OH^- sa navzájom rovnajú a majú hodnotu $1,0 \cdot 10^{-7}$.

8.2 Silné kyseliny a 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 silná zásada ľahko prijíma protón od rozpúšťadla.

Brønstedova kyselina HA pri reakcii so zásaditým rozpúšťadlom S podlieha ionizácii, ktorej zodpovedá schéma



Ak je rozpúšťadlom voda, ionizáciu kyseliny HA možno vyjadriť rovnicou



Z bilancie nábojov podľa rovnice (8.10) vyplýva vzťah $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$, z látkovej bilancie zložky A^- pri úplnej ionizácii HA vyplýva vzťah $[\text{A}^-] = c_r(\text{HA})$, kde $c_r(\text{HA})$ je celková relatívna analytická koncentrácia kyseliny vo všetkých formách, v ktorých sa v roztoku vyskytuje. Relatívna koncentrácia oxóniových katiónov v roztoku jednosýtnej silnej kyseliny sa rovná

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-] = c_r(\text{HA}) \quad (8.11)$$

potom

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log c_r(\text{HA}) \quad (8.12)$$

alebo opačne

$$c_r(\text{HA}) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \quad (8.13)$$

Ionizáciu Brønstedovej zásady B v kyslom rozpúšťadle SH vystihuje reakčná schéma



Ak sa jedná o vodné roztoky, ionizáciu zásady možno zapísať rovnicou



Z bilancie nábojov podľa rovnice (8.15) vyplýva, že $[\text{BH}^+] = [\text{OH}^-]$ a z bilancie zásady B pri jej úplnej ionizácii platí $[\text{BH}^+] = c_r(\text{B})$, kde $c_r(\text{B})$ je celková relatívna analytická koncentrácia zásady B. Relatívna koncentrácia hydroxidových aniónov vo vodnom roztoku silnej zásady sa rovná

$$[\text{OH}^-] = [\text{BH}^+] = c_r(\text{B}) \quad (8.16)$$

potom

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log c_r(\text{B}) \quad (8.17)$$

Logaritmovaním vzťahu (8.8) pre iónový súčin vody pri 25 °C a vynásobením (–1) dostaneme

$$-\log K_v = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] - \log [\text{OH}^-] = 14 \quad (8.18)$$

$$\text{p}K_v = \text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (8.19)$$

Poznámka: V príkladoch tejto kapitoly sa pri výpočtoch berie do úvahy iba jedna chemická rovnováha. Príklady, v ktorých treba uvažovať viaceré chemické

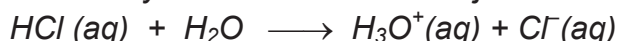
rovnováhy, napr. ionizácia kyseliny a autoprotolýza vody, ionizácia silnej kyseliny H_2SO_4 a stredne silnej kyseliny HSO_4^- sa budú počítať v analytickej a fyzikálnej chémii.



8.2.1 Riešené príklady

8.2.1. Vypočítajte pH vodného roztoku kyseliny chlorovodíkovej HCl s koncentráciou $c(\text{HCl}) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie: Kyselina chlorovodíková je vo vodnom roztoku úplne ionizovaná.



Platí

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c_r(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl})}{c^\theta} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 1,6 \cdot 10^{-3} = \mathbf{2,80} \checkmark$$

Roztok kyseliny chlorovodíkovej má $\text{pH} = 2,80$.

8.2.2 Vypočítajte relatívne rovnovážne koncentrácie oxóniových a hydroxidových iónov v roztoku kyseliny, ktorého $\text{pH} = 2,10$.

Riešenie:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2,10} = \mathbf{7,9 \cdot 10^{-3}} \checkmark$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_v}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{7,9 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{1,3 \cdot 10^{-12}} \checkmark$$

Relatívna rovnovážna koncentrácia oxóniového katiónu v roztoku kyseliny $[\text{H}_3\text{O}^+] = 7,9 \cdot 10^{-3}$ a hydroxidového aniónu $[\text{OH}^-] = 1,3 \cdot 10^{-12}$.

8.2.3 Vypočítajte pH 0,61% vodného roztoku hydroxidu sodného (hustota roztoku je $\rho = 1,007 \text{ g cm}^{-3}$).

Riešenie: Hydroxid sodný sa správa ako Arrheniova zásada, ktorá ionizuje za vzniku hydroxidových aniónov. Urobíme substitúciu $\text{NaOH} = \text{C}$

$$c(\text{C}) = \frac{n(\text{C})}{V} = \frac{\frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}}{\frac{m}{\rho}} = w(\text{C}) \frac{\rho}{M(\text{C})} =$$

$$= 0,0061 \frac{1007 \text{ g dm}^{-3}}{39,997 \text{ g mol}^{-1}} = 0,154 \text{ mol dm}^{-3}$$

Keďže hydroxid sodný je úplne ionizovaný, platí $[\text{OH}^-] = c_r(\text{C})$, potom $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\log[\text{OH}^-]) = 14 - (-\log 0,154) = \mathbf{13,19} \checkmark$

Roztok hydroxidu sodného má $\text{pH} = 13,19$.

8.3 Slabé kyseliny a zásady

Roztoky slabých kyselín HA sa od roztokov silných kyselín odlišujú tým, že slabé kyseliny sú v roztoku len čiastočne ionizované, t.j. v roztoku okrem ionizáciou vytvorených častíc A^- sa nachádzajú aj neionizované častice HA. Podobne je to aj v roztokoch slabých zásad, keď v roztoku sú prítomné ióny BH^+ , ale aj zásada v nezmenenej forme B.

Uvažujme ionizáciu jednosýtnej slabej kyseliny HA



Tabuľka 8.2 Ionizačné konštanty niektorých kyselín vo vode pri 25 °C

| Kyselina | HA | K(HA) | pK(HA) |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
| benzoová | C_6H_5COOH | $6,46 \cdot 10^{-5}$ | 4,19 |
| brómná | HBrO | $2,82 \cdot 10^{-9}$ | 8,55 |
| bromovodíková | Hbr | $1 \cdot 10^9$ | -9,00 |
| dusitá | HNO_2 | $5,62 \cdot 10^{-4}$ | 3,25 |
| dusičná | HNO_3 | 54 | -1,73 |
| fluorovodíková | 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 |
| 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 |
| chlorovodíková | 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 |
| jodovodíková | HI | $1 \cdot 10^{11}$ | -11,00 |
| kyanovodík | HCN | $6,17 \cdot 10^{-10}$ | 9,21 |
| mravčia | HCOOH | $1,78 \cdot 10^{-4}$ | 3,75 (20 °C) |
| octová | CH_3COOH | $1,75 \cdot 10^{-5}$ | 4,76 |
| oxálová | $H_2C_2O_4$ | $5,89 \cdot 10^{-2}$ | 1,23 |
| propiónová | C_2H_5COOH | $1,38 \cdot 10^{-5}$ | 4,86 |
| sírová | H_2SO_4 | $1 \cdot 10^3$ | -3,00 |
| sírovodíková | H_2S | $8,91 \cdot 10^{-8}$ | 7,05 |
| trihydrogenboritá | H_3BO_3 | $5,31 \cdot 10^{-10}$ | 9,27 (20 °C) |
| uhličitá | H_2CO_3 | $4,47 \cdot 10^{-7}$ | 6,35 |
| hexaakvahlinový kation | $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ | $1,3 \cdot 10^{-5}$ | 4,89 |
| hexaakvachromitý kation | $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,89 |
| akvamed'natý kation | $[Cu(H_2O)_n]^{2+}$ | $1 \cdot 10^{-8}$ | 8,0 |
| akvazinočnatý kation | $[Zn(H_2O)_n]^{2+}$ | $2 \cdot 10^{-10}$ | 9,7 |

pre ionizačnú konštantu kyseliny platí vzťah

$$K(\text{HA}) = \frac{[\text{SH}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (8.21)$$

Hodnoty ionizačných konštánt niektorých kyselín sú uvedené v tab. 8.2.

Keďže v laboratóriu pracujeme prevažne s vodnými roztokmi, ionizáciu kyseliny HA vo vode vystihuje rovnica



a pre ionizačnú konštantu kyseliny HA vo vodnom roztoku platí

$$K(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad (8.23)$$

Platí nábojová bilancia $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{A}^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu kyseliny HA platí $c_r(\text{HA}) = [\text{HA}] + [\text{A}^-]$. Dosadením týchto vzťahov do vzťahu pre ionizačnú konštantu kyseliny (8.23) dostávame

$$K(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_r(\text{HA}) - [\text{H}_3\text{O}^+]} \quad (8.24)$$

po úprave

$$[\text{H}_3\text{O}^+]^2 + K(\text{HA}) [\text{H}_3\text{O}^+] - K(\text{HA}) c_r(\text{HA}) = 0 \quad (8.25)$$

Riešenie tejto kvadratickej rovnice poskytuje dva korene, z ktorých reálny je koreň

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-K(\text{HA}) + \sqrt{\{K(\text{HA})\}^2 + 4K(\text{HA})c_r(\text{HA})}}{2} \quad (8.26)$$

Pre slabé kyseliny, ak platí $4c_r(\text{HA}) \gg K(\text{HA})$, môžeme považovať koncentráciu neionizovaného podielu kyseliny rovnú celkovej relatívnej analytickej koncentrácii kyseliny $[\text{HA}] = c_r(\text{HA})$, lebo ionizácia slabých kyselín je tak nepatrná, že ju možno zanedbať a dosadením do (8.23) dostaneme

$$K(\text{HA}) = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{c_r(\text{HA})} \quad (8.27)$$

Úpravou dostaneme zjednodušenú, často používanú rovnicu

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K(\text{HA})c_r(\text{HA})} \quad (8.28)$$

Ionizáciu kyselín možno charakterizovať aj pomocou stupňa ionizácie α , ktorý je definovaný ako podiel koncentrácie ionizovanej formy kyseliny a celkovej koncentrácie kyseliny

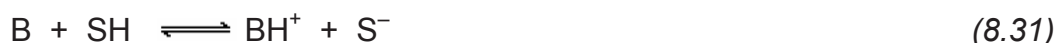
$$\alpha = \frac{[\text{A}^-]}{c_r(\text{HA})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_r(\text{HA})} \quad (8.29)$$

Pomocou stupňa ionizácie možno vyjadriť ionizačnú konštantu slabej jednosýtnej kyseliny Ostwaldovým zriedovacím zákonom

$$K(\text{HA}) = \frac{\alpha^2 c_r(\text{HA})}{1 - \alpha} \quad (8.30)$$

Z Ostwaldovho zákona vyplýva, že podiel ionizovanej formy, t.j. stupeň ionizácie so zriedovaním roztoku rastie, lebo pri znižovaní koncentrácie $c_r(\text{HA})$ v čitateli zlomku vyjadrujúceho definičný vzťah pre ionizačnú konštantu, sa musí znižovať hodnota menovateľa ($1 - \alpha$) a zvyšovať hodnota prvého člena čitateľa (α^2).

Ionizáciu slabej zásady v rozpúšťadle SH možno vyjadriť rovnicou

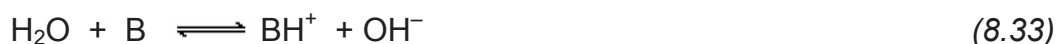


a pre ionizačnú konštantu zásady vyplýva

$$K(\text{B}) = \frac{[\text{BH}^+][\text{S}^-]}{[\text{B}]} \quad (8.32)$$

Hodnoty ionizačných konštánt rôznych zásad sú uvedené v tab. 8.3.

Vo vodných roztokoch je ionizácia slabej zásady B



charakterizovaná ionizačnou konštantou

$$K(\text{B}) = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} \quad (8.34)$$

Tabuľka 8.3 Ionizačné konštanty niektorých slabých zásad vo vode pri 25 °C

| Zásada | B | K(B) | pK(B) |
|--------------|---|--------------------------|-------|
| Amoniak | NH ₃ | 1,80 · 10 ⁻⁵ | 4,75 |
| Anilín | C ₆ H ₅ NH ₂ | 4,27 · 10 ⁻¹⁰ | 9,37 |
| Dimetylamín | (CH ₃) ₂ NH | 4,79 · 10 ⁻⁴ | 3,32 |
| Etylamín | NH ₂ C ₂ H ₅ | 5,01 · 10 ⁻⁴ | 3,30 |
| Imidazol | C ₃ H ₄ N ₂ | 8,97 · 10 ⁻⁸ | 7,05 |
| Metylamín | CH ₃ NH ₂ | 4,27 · 10 ⁻⁴ | 3,37 |
| Pyridín | C ₅ H ₅ N | 1,78 · 10 ⁻⁹ | 8,75 |
| Trimetylamín | (CH ₃) ₃ N | 6,81 · 10 ⁻⁵ | 4,20 |

Z nábojovej bilancie platí $[\text{BH}^+] = [\text{OH}^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu zásady B platí $c_r(\text{B}) = [\text{B}] + [\text{BH}^+]$. Dosadením týchto vzťahov do vzťahu pre ionizačnú konštantu zásady (8.34) dostaneme

$$K(\text{B}) = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_r(\text{B}) - [\text{OH}^-]} \quad (8.35)$$

Riešením tejto rovnice je kladný koreň

$$[\text{OH}^-] = \frac{-K(\text{B}) + \sqrt{\{K(\text{B})\}^2 + 4K(\text{B})c_r(\text{B})}}{2} \quad (8.36)$$

Pre veľmi slabé zásady, ak platí $4c_r(\text{B}) \gg K(\text{B})$, dostaneme zjednodušený vzťah

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K(\text{B}) c_r(\text{B})} \quad (8.37)$$

Lahko zistíme že, medzi ionizačnými konštantami ľubovoľnej konjugovanej dvojice $\text{K}_1 \rightleftharpoons \text{Z}_1 + \text{H}^+$ vo vodnom roztoku platí vzťah

$$K(\text{K}_1) K(\text{Z}_1) = K_v = 10^{-14} \quad (8.38)$$



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 $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:



dosadením hodnôt ionizačnej konštanty a celkovej relatívnej analytickej koncentrácie do vzťahu (8.26) dostávame

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-1,75 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,75 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,100}}{2} =$$

$$= 1,31 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,88 \checkmark$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_r(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{1,31 \cdot 10^{-3}}{0,100} = 0,0131 \checkmark$$

Použitím aproximatívneho vzťahu (8.28) dostaneme

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,100} = 1,32 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,88 \checkmark$$

Hodnoty pH vypočítané podľa presného a zjednodušeného vzťahu sa rovnajú, ak je pomer $\frac{4 c_r(\text{HA})}{K(\text{HA})} > 1000$.

Roztok kyseliny octovej má pH = 2,88 a je ionizovaný 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 $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:



dosadením hodnôt ionizačnej konštanty a relatívnej celkovej analytickej koncentrácie do vzťahu (8.26) dostávame

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{-1,75 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,75 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-5}}}{2} =$$

$$= 7,11 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5,15 \checkmark$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c_r(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{7,11 \cdot 10^{-6}}{1,00 \cdot 10^{-4}} = 0,711 \checkmark$$

Použitím aproximatívneho vzťahu (8.28) dostaneme

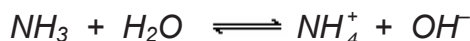
$$[H_3O^+] = \sqrt{1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-5}} = 1,32 \cdot 10^{-5}$$

dostávame nereálny výsledok, pretože hodnota koncentrácie oxóniových katiónov je väčšia ako hodnota celkovej koncentrácie kyseliny octovej.

Kyselina octová je v uvedenom roztoku ionizovaná na 71,1 %; pH roztoku je 5,15.

8.3.3 Vypočítajte pH a stupeň ionizácie vodného roztoku amoniaku s koncentráciou $c(NH_3) = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, keď $K(NH_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie:



Koncentrácia $[OH^-]$ sa podľa (8.36) rovná

$$[OH^-] = \frac{-1,80 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,80 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,80 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-4}}}{2}$$

$$= 3,44 \cdot 10^{-5}$$

$$pOH = -\log 3,44 \cdot 10^{-5} = 4,46$$

$$pH = 14 - pOH = 9,54 \checkmark$$

Stupeň ionizácie vypočítame podľa

$$\alpha = \frac{[OH^-]}{c_r(NH_3)} = 0,344 \checkmark$$

V uvedenom roztoku amoniaku je $pH = 9,54$ a amoniak je ionizovaný na 34,4 %.

8.3.4 Vodný roztok kyseliny dusitej s koncentráciou $c(HNO_2) = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ má $pH = 2,27$. Vypočítajte ionizačnú konštantu kyseliny dusitej.

Riešenie:



Z údajov o pH roztoku vypočítame relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových iónov

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,27} = 5,37 \cdot 10^{-3}$$

Dosadením údajov do vzťahu (8.24) dostaneme

$$K(HNO_2) = \frac{[H_3O^+]^2}{c_r(HNO_2) - [H_3O^+]} = \frac{(5,37 \cdot 10^{-3})^2}{4,5 \cdot 10^{-2} - 5,37 \cdot 10^{-3}} = 7,3 \cdot 10^{-4} \checkmark$$

Ionizačná konštantu kyseliny dusitej je $K(HNO_2) = 7,3 \cdot 10^{-4}$.

8.4 Hydrolýza

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 alebo dostatočne kyslý katión.

Hydrolýzu soli so zásaditým aniónom možno vyjadriť rovnicou



Pre rovnovážnu konštantu hydrolyzy môžeme napísať

$$K_{\text{hydr}} = K(A^-) = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]} = \frac{K_v}{K(HA)} \quad (8.40)$$

Z nábojovej bilancie platí $[HA] = [OH^-]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu hydrolyzujúceho aniónu A^- platí $c_r(A^-) = [A^-] + [HA]$, a tá je totožná s relatívnou koncentráciou soli $c_r(s)$ poskytujúcou tento anión*. Dosadením týchto vzťahov do vzťahu pre hydrolytickú konštantu (8.40) dostaneme

$$K(A^-) = \frac{[OH^-]^2}{c_r(s) - [OH^-]} \quad (8.41)$$

Úpravou a riešením tejto rovnice dostaneme

$$[OH^-] = \frac{-K(A^-) + \sqrt{\{K(A^-)\}^2 + 4K(A^-)c_r(s)}}{2} \quad (8.42)$$

V prípade ak $4c_r(s) \gg K(A^-)$, dostaneme

$$[OH^-] = \sqrt{K(A^-)c_r(s)} \quad (8.43)$$

Hydrolyza soli s kyslým kationom je opísaná rovnicou



Hydrolytická konštantá je určená výrazom

$$K_{\text{hydr}} = K(BH^+) = \frac{[H_3O^+][B]}{[BH^+]} = \frac{K_v}{K(B)} \quad (8.45)$$

Z nábojovej bilancie platí $[H_3O^+] = [B]$ a pre celkovú relatívnu analytickú koncentráciu hydrolyzujúceho kationu BH^+ platí $c_r(BH^+) = [BH^+] + [B]$, a tá je totožná s relatívnou koncentráciou soli $c_r(s)$ poskytujúcou tento kation*. Dosadením týchto vzťahov do vzťahu pre konštantu hydrolyzy (8.45) dostaneme

$$[H_3O^+] = \frac{-K(BH^+) + \sqrt{\{K(BH^+)\}^2 + 4K(BH^+)c_r(s)}}{2} \quad (8.46)$$

V prípade ak $4c_r(s) \gg K(BH^+)$, dostaneme

$$[H_3O^+] = \sqrt{K(BH^+)c_r(s)} \quad (8.47)$$

Ak ide o soľ, ktorá poskytuje kyslý kation a zásaditý anión, zúčastňujú sa obidva ióny na protolytickom deji. Hydrolyzu tohto druhu opisuje sumárna rovnica



Keď $K(HA) = K(B)$ je reakcia roztoku neutrálna. Ak $K(HA) > K(B)$, roztok soli má kyslú reakciu, ak $K(HA) < K(B)$, roztok sa vyznačuje zásaditou reakciou.

* Tento vzťah platí v prípade soli s pomerom kationu a aniónu rovným 1:1.

Hydrolýza sa kvantitatívne hodnotí stupňom hydrolýzy β , čo je podiel hydrolyzovaného množstva a celkového množstva rozpustenej soli. Ak je hydrolýza slabá, možno stupeň hydrolýzy soli so zásaditým aniónom alebo kyslým kationom vyjadriť približným vzťahom

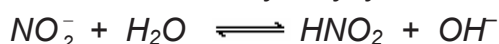
$$\beta = \sqrt{\frac{K_{\text{hydr}}}{c_r(s)}} \quad (8.49)$$



8.4.1 Riešené príklady

8.4.1 Vypočítajte pH vodného roztoku dusitanu sodného s koncentráciou $c(\text{NaNO}_2) = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, keď $K(\text{HNO}_2) = 5,1 \cdot 10^{-4}$.

Riešenie: Rovnica hydrolýzy



Podľa (8.40)

$$K(\text{NO}_2^-) = \frac{K_v}{K(\text{HNO}_2)} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{5,1 \cdot 10^{-4}} = 1,96 \cdot 10^{-11}$$

Môžeme počítať pomocou zjednodušeného vzťahu (8.43), lebo $4 c_r(s) \gg K(\text{NO}_2^-)$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K(\text{NO}_2^-) c_r(\text{NaNO}_2)} = \sqrt{1,96 \cdot 10^{-11} \cdot 2,00 \cdot 10^{-2}} = 6,26 \cdot 10^{-7}$$

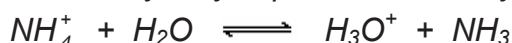
$$\text{pOH} = -\log 6,26 \cdot 10^{-7} = 6,20$$

$$\text{pH} = 14 - 6,20 = \mathbf{7,80} \checkmark$$

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 $K(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

Riešenie: Hydrolýze podlieha amónny kation. Rovnica hydrolýzy:



$$K(\text{NH}_4^+) = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{1,80 \cdot 10^{-5}} = 5,55 \cdot 10^{-10}$$

Výpočet urobíme pomocou zjednodušeného vzťahu (8.47)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{5,55 \cdot 10^{-10} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} = 3,71 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pH} = \mathbf{5,43} \checkmark$$

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 cm^3 uvedeného roztoku, ak $K(\text{HClO}) = 3,98 \cdot 10^{-8}$.

Riešenie: Rovnica hydrolýzy



Z údajov o pH roztoku vypočítame relatívnu rovnovážnu koncentráciu hydroxidových iónov

$$pOH = 14 - 9,7 = 4,30$$

$$[OH^-] = 5,0 \cdot 10^{-5}$$

Podľa (8.40)

$$K(ClO^-) = \frac{K_v}{K(HClO)} = \frac{1,00 \cdot 10^{-14}}{3,98 \cdot 10^{-8}} = 2,51 \cdot 10^{-7}$$

zároveň podľa (8.41)

$$K(ClO^-) = \frac{[OH^-]^2}{c_r(NaClO) - [OH^-]}$$

úpravou dostaneme

$$\begin{aligned} c_r(NaClO) &= \frac{[OH^-]^2 + K(ClO^-) [OH^-]}{K(ClO^-)} = \\ &= \frac{(5,0 \cdot 10^{-5})^2 + 2,51 \cdot 10^{-7} \cdot 5,0 \cdot 10^{-5}}{2,51 \cdot 10^{-7}} = 1,0 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

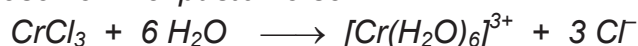
Ak poznáme koncentráciu soli, môžeme vypočítať hmotnosť chlórnanu sodného

$$\begin{aligned} m(NaClO) &= n(NaClO) M(NaClO) = c V M(NaClO) = \\ &= 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,300 \text{ dm}^3 \cdot 74,442 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,22 \text{ g}} \checkmark \end{aligned}$$

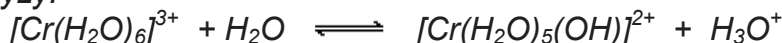
Na prípravu uvedeného roztoku je potrebné 0,22 g chlórnanu sodného.

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 $K([\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}) = 1,3 \cdot 10^{-4}$.

Riešenie: Rozpúšťanie soli



Hexaakvachromitý kation $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ má voči vode kyslý charakter. Rovnica hydrolyzy:



Podľa (8.46) platí

$$\begin{aligned} [\text{H}_3\text{O}^+] &= \frac{-1,3 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(1,3 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2}}}{2} = \\ &= 1,1 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$pH = \mathbf{2,96} \checkmark$$

Roztok chloridu chromitého má pH = 2,96.

8.5 Úlohy



8.5.1 Vypočítajte hodnoty relatívnych rovnovážnych koncentrácií iónov prítomných v čistom metanole CH_3OH . Hodnota iónového súčinu metanolu je pri teplote $25 \text{ }^\circ\text{C}$ $K_S = 2 \cdot 10^{-17}$.

$$[[\text{CH}_3\text{OH}_2^+] = [\text{CH}_3\text{O}^-] = 4,47 \cdot 10^{-9}]$$

8.5.2 Vypočítajte hodnotu iónového súčinu fluorovodíka pri teplote $0 \text{ }^\circ\text{C}$, keď koncentrácia iónov H_2F^+ a F^- sa rovná $4,47 \cdot 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_s(\text{HF}) = 2,0 \cdot 10^{-11}]$$

8.5.3 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 dm^3 vodného roztoku chlorovodíka (kyseliny chlorovodíkovej) s $\text{pH} = 4,00$. Aký objem 13 % roztoku chlorovodíka potrebujeme.

$$[V = 0,26 \text{ cm}^3]$$

8.5.8 Vypočítajte pH roztoku, ktorý sa pripraví zriedením $2,0 \text{ cm}^3$ 11 % roztoku hydroxidu draselného KOH na objem 950 cm^3 destilovanou vodou.

$$[\text{pH} = 11,66]$$

8.5.9 Akým objemom vody treba zriediť $4,0 \text{ cm}^3$ 9,0 % roztoku NaOH , aby sme získali roztok, ktorého $\text{pH} = 13,12$.

$$[V = 71 \text{ cm}^3]$$

8.5.10 Aké bude výsledné pH , ak 670 cm^3 roztoku hydroxidu tálneho s $\text{pH} = 13,10$ sa zriedi vodou na objem 1670 cm^3 .

$$[\text{pH} = 12,70]$$

8.5.11 Do $4,0 \text{ dm}^3$ roztoku kyseliny s $\text{pH} = 3,00$ prilejeme $6,0 \text{ dm}^3$ destilovanej vody. Vypočítajte pH zriedeného roztoku.

$$[\text{pH} = 3,40]$$

8.5.12 Zmiešame $3,0 \text{ dm}^3$ kyseliny s $\text{pH} = 2,00$ a $7,0 \text{ dm}^3$ kyseliny s $\text{pH} = 3,00$. Vypočítajte pH výsledného roztoku.

$$[\text{pH} = 2,43]$$

8.5.13 Vypočítajte pH roztoku hydroxidu sodného, keď 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 reakcii 120 cm³ roztoku chlorovodíka s $c(\text{HCl}) = 0,833 \text{ mol dm}^{-3}$ s 2,1 g hydroxidu draselného KOH a po doplnení 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 ($\rho = 1,043 \text{ g cm}^{-3}$), ktorý potrebujeme na rozloženie 36 g 92 % uhličitanu bárnateho a hmotnostný zlomok vzniknutého roztoku jodidu bárnateho.

[$V = 0,75 \text{ dm}^3$, $w(\text{BaI}_2) = 0,081$]

8.5.17 Z 400 cm³ roztoku dusičnanu olovnateho s neznámou koncentráciou sme práve potrebným množstvom roztoku chlorovodíka s pH = 0,12 vyžrážali 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 olovnateho v pôvodnom roztoku.

[$V = 95,3 \text{ cm}^3$, $c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 9,04 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$]

8.5.18 Aké bude pH roztoku, ktorý vznikne zmiešaním rovnakých objemov kyseliny dusičnej s koncentráciou $c(\text{HNO}_3) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ a roztoku hydroxidu sodného s koncentráciou $c(\text{NaOH}) = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$.

[pH = 2,6]

8.5.19 Zmiešame 25 cm³ kyseliny chlorovodíkovej s koncentráciou $c(\text{HCl}) = 0,13 \text{ mol dm}^{-3}$ s 35 cm³ roztoku hydroxidu draselného s koncentráciou $c(\text{KOH}) = 0,12 \text{ mol dm}^{-3}$. Vypočítajte pH roztoku po reakcii. Platí aditivita objemov.

[pH = 12,20]

8.5.20 Vypočítajte pH roztoku, ktorý vznikol po reakcii 80 cm³ 2,8 % roztoku chlorovodíka ($\rho = 1,01 \text{ g cm}^{-3}$) s 25 cm³ roztoku hydroxidu sodného s hmotnostným zlomkom $w(\text{NaOH}) = 0,010$ ($\rho = 1,02 \text{ g cm}^{-3}$). (Objem roztoku po reakcii sa nemení.)

[pH = 0,28]

8.5.21 Na neutralizáciu 150 cm³ kyseliny chlorovodíkovej s koncentráciou $c(\text{HCl}) = 3,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ sa spotrebovalo 200 cm³ vodného roztoku hydroxidu sodného. Aké bolo pH roztoku hydroxidu sodného?

[pH = 12,35]

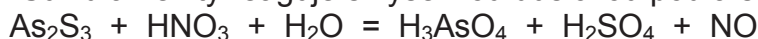
8.5.22 Na neutralizáciu 200 cm³ vodného roztoku hydroxidu draselného s koncentráciou $c(\text{KOH}) = 4,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ sa spotrebovalo 250 cm³ vodného roztoku kyseliny dusičnej. Aké bolo pH roztoku kyseliny dusičnej?

[pH = 1,50]

8.5.23 Po pridaní ekvivalentného množstva zinku do 500 cm³ roztoku chlorovodíka o neznámom pH 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 schémy:



Pri 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 $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$ je ionizovaný na 1,3 %. Vypočítajte pH roztoku a ionizačnú konštantu kyseliny octovej.

[pH = 2,89, $K = 1,71 \cdot 10^{-5}$]

8.5.26 Vypočítajte pH roztoku kyseliny fluorovodíkovej a jej ionizačný stupeň, ak koncentrácia roztoku je $c(\text{HF}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$ a $K(\text{HF}) = 6,75 \cdot 10^{-4}$.

[pH = 2,10, $\alpha = 0,079$]

8.5.27 Vypočítajte pH a ionizačný stupeň vodného roztoku amoniaku s koncentráciou $c(\text{NH}_3) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$.

[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.

[pH = 2,74]

8.5.29 Vypočítajte hmotnosť kyseliny benzoovej ($M = 122,12 \text{ g mol}^{-1}$) v 1,5 dm³ roztoku, ktorého pH = 4,00, ak $K(\text{benz}) = 6,76 \cdot 10^{-5}$.

[$m = 0,045 \text{ g}$]

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.

$$[K(\text{HCOOH}) = 2,00 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.31 Vypočítajte pH roztoku kyseliny dusitej s $w(\text{HNO}_2) = 0,024$ ($\rho = 1,06 \text{ g cm}^{-3}$), ak $K(\text{HNO}_2) = 4,5 \cdot 10^{-4}$.

$$[pH = 1,81]$$

8.5.32 Anilín je slabá jednosýtna zásada s ionizačnou konštantou $K(\text{anilín}) = 4,3 \cdot 10^{-10}$. Vypočítajte pH a ionizačný stupeň vodného roztoku anilínu s koncentráciou $c(\text{anilín}) = 0,010 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[pH = 8,32, \alpha = 2,1 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.33 Roztok dimetylamínu $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ s koncentráciou dimetylamínu $c((\text{CH}_3)_2\text{NH}) = 1,00 \text{ mol dm}^{-3}$ má $pH = 12,36$. Vypočítajte ionizačnú konštantu zásady.

$$[K = 5,37 \cdot 10^{-4}]$$

8.5.34 Vypočítajte pH vodného roztoku trimetylamínu obsahujúceho 5,5 g $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ v objeme 320 cm^3 , $K((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 8,1 \cdot 10^{-5}$.

$$[pH = 11,68]$$

8.5.35 Vodný roztok kyseliny trihydrogenboritej má mať $pH = 5,150$. Vypočítajte hmotnosť H_3BO_3 potrebnú na prípravu $50,0 \text{ cm}^3$ tohto roztoku, ak $K(\text{H}_3\text{BO}_3) = 6,50 \cdot 10^{-10}$.

$$[m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 0,238 \text{ g}]$$

8.5.36 Potrebujeme pripraviť roztok amoniaku s $pH = 11,50$. Aký objem vody potrebujeme na zriedenie $2,50 \text{ dm}^3$ 2,00 % roztoku amoniaku ($\rho = 0,991 \text{ g cm}^{-3}$).

$$[V = 2,70 \text{ dm}^3]$$

8.5.37 Vypočítajte pH roztoku, ktorý vznikne zriedením $2,6 \text{ cm}^3$ 98 % roztoku kyseliny mravčej ($\rho = 1,19 \text{ g cm}^{-3}$) 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 $K(\text{HClO}) = 2,95 \cdot 10^{-8}$.

$$[pH = 3,88]$$

8.5.39 Vypočítajte pH a ionizačný stupeň roztoku kyseliny chlórnej, 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 $K(\text{HClO}) = 2,95 \cdot 10^{-8}$.

$$[pH = 4,59, \alpha = 1,15 \cdot 10^{-3}]$$

8.5.40 Vypočítajte pH roztoku chloridu amónneho s koncentráciou $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,18 \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

[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 hydrolýzy a ionizačnú konštantu kyseliny brómnej.

[$K_{\text{hydr}} = 5,05 \cdot 10^{-6}$, $K(\text{HBrO}) = 1,98 \cdot 10^{-9}$]

8.5.42 Vypočítajte pH vodného roztoku, ktorého 500 cm^3 obsahuje 6,90 g dusitanu sodného NaNO_2 , $K(\text{HNO}_2) = 5,1 \cdot 10^{-4}$.

[pH = 8,30]

8.5.43 Vypočítajte pH vodného roztoku, ktorého 1500 cm^3 obsahuje 2,73 g octanu sodného ($M = 82,032 \text{ g mol}^{-1}$), $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

[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 $K(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

[m = 0,91 g]

8.5.45 Vypočítajte pH vodného roztoku síranu zinočnatého s koncentráciou $c(\text{ZnSO}_4) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$, ak $K([\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}) = 2,0 \cdot 10^{-10}$.

[pH = 5,35]

8.5.46 Vypočítajte koncentráciu vodného roztoku dusičnanu amónneho a stupeň hydrolýzy, ak pH = 5,76 a $K(\text{NH}_3) = 1,80 \cdot 10^{-5}$.

[$c = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $\beta = 3,20 \cdot 10^{-4}$]

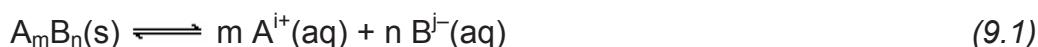
8.5.47 Vypočítajte pH vodného roztoku síranu nikelnatého, ktorý pripravíme rozpustením 3,7813 g $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ vo vode tak, aby výsledný objem roztoku bol $100,0 \text{ cm}^3$. $K([\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}) = 4,0 \cdot 10^{-10}$

[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 nad zrazeninou, v ktorom sú prítomné hydratované ióny málo rozpustného elektrolytu je nasýtený. Dej, pri ktorom sa začne vylučovať málo rozpustná látka (zrazenina) z nasýteného roztoku, nazývame zrážaním. Zloženie nasýteného roztoku udáva rozpustnosť príslušnej látky. Medzi tuhou fázou málo rozpustného silného elektrolytu a jeho hydratovanými iónmi sa ustáli rovnováha. Túto rovnováhu môžeme zapísať vzťahom



Rovnovážnu konštantu tejto rovnováhy K_s (index s je z angličtiny pre solubility čiže rozpustnosť) možno vyjadriť pomocou relatívnych rovnovážnych koncentrácií iónov vzťahom, ktorý sa nazýva súčin rozpustnosti zrazeniny

$$K_s(A_mB_n) = [A^{i+}]^m [B^{j-}]^n \quad (9.2)$$

Podľa toho, v nasýtenom roztoku málo rozpustného silného elektrolytu, súčin relatívnych rovnovážnych koncentrácií jeho iónov, umocnených na zodpovedajúce stechiometrické koeficienty, je pri danej teplote konštantná veličina.

Hodnoty súčinov rozpuťnosti niektorých látok sú uvedené v tab. 9.1.

Tabuľka 9.1 Hodnoty súčinov rozpustnosti niektorých zrazenín 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 |
| MgF ₂ | $5,16 \cdot 10^{-11}$ | 10,29 |

Tabuľka 9.1 Pokračovanie.

| A_mB_n | $K_s(A_mB_n)$ | $pK_s(A_mB_n)$ |
|--------------|-----------------------|----------------|
| 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 rovnicu (5.6), vyjadrujúcu zákon zachovania náboja. Majme roztok, ktorý má objem V a obsahuje látkové množstvá $n(A)$, $n(B)$, $n(P)$ zložiek A, B, P. Pre počet entít $N(X)$ zložky X podľa (2.1) a (3.10) platí $N(X) = n(X) N_A = c(X) V N_A$. Pretože súčin Avogadrovej konštanty a objemu je konštantný pre všetky zložky, môžeme rovnicu (5.6) upraviť na tvar

$$\sum_X c(X) z(X) = 0 \quad (9.3)$$

pretože výsledný náboj roztoku je nulový.



9.1.1 Riešené príklady

9.1.1 Vodný roztok hydrogensulfidu sodného NaHS obsahuje častice Na^+ , HS^- , H_2S , H_3O^+ , OH^- a H_2O . Napíšte rovnicu nábojovej bilancie pre túto sústavu a vyjadrite koncentráciu oxóniových katiónov $c(H_3O^+)$ v roztoku.

Riešenie: Podľa (9.3)

$$c(Na^+) z(Na^+) + c(HS^-) z(HS^-) + c(H_2S) z(H_2S) + c(H_3O^+) z(H_3O^+) + c(OH^-) z(OH^-) + c(H_2O) z(H_2O) = 0$$

Dosadením hodnôt pre nábojové čísla dostávame

$$c(Na^+) (+1) + c(HS^-) (-1) + c(H_3O^+) (+1) + c(OH^-) (-1) = 0$$

Potom

$$c(H_3O^+) = c(HS^-) + c(OH^-) - c(Na^+) \checkmark$$

Koncentrácia oxóniových iónov sa rovná $c(H_3O^+) = c(HS^-) + c(OH^-) - c(Na^+)$.

9.2 Súčin rozpustnosti a rozpustnosť málorozpustnej látky

Z hodnoty súčinu rozpustnosti možno určiť rozpustnosť látok. V dôsledku ionizácie sú v roztoku prítomné ióny A^{i+} a B^{j-} , z čoho možno odvodiť vzťah pre nábojovú bilanciu iónov málo rozpustnej látky v nasýtenom roztoku

$$i [A^{i+}] = j [B^{j-}] \quad (9.4)$$

alebo pre rozpustenú časť (rozpustnosť) elektrolytu $A_m B_n$ vyjadrenú relatívnou koncentráciou $c_r(A_m B_n)$ z rozsahu chemickej reakcie (9.1) pre jednotkový objem vyplýva

$$c_r(A_m B_n) = \frac{[A^{i+}]}{m} = \frac{[B^{j-}]}{n} \quad (9.5)$$

Dosadením (9.5) do rovnice súčinu rozpustnosti (9.2) a osamostatnením $c_r(A_m B_n)$, dostávame pre rozpustnosť elektrolytu $A_m B_n$ vzťah

$$c_r(A_m B_n) = \left[\frac{K_s(A_m B_n)}{m^m n^n} \right]^{\frac{1}{m+n}} \quad (9.6)$$

Z koncepcie súčinu rozpustnosti vyplývajú podmienky tvorby a rozpustnosti zrazenín. Aby sme mohli určiť podmienky tvorby zrazeniny potrebujeme vypočítať reakčný kvocient Q . Reakčný kvocient má ten istý matematický tvar ako súčin rozpustnosti, ale namiesto rovnovážnych koncentrácií doň dosadzujeme začiatočné koncentrácie.

Ak porovnáme hodnoty reakčného kvocientu Q a súčinu rozpustnosti K_s , môžu nastať tri možnosti.

Ak $Q < K_s$, roztok je nenasýtený, zrazenina sa netvorí.

Ak $Q = K_s$, roztok je nasýtený, zrazenina sa netvorí ani nerozpúšťa.

Ak $Q > K_s$, v roztoku nastáva tvorba zrazeniny.

Poznámka: Pri výpočtoch zloženia rovnovážnych systémov s málo rozpustnými látkami neuvažujeme o možnej hydrolýze aniónu, príp. hydratovaného kationu.



9.2.1 Riešené príklady

9.2.1 Vypočítajte rozpustnosť (v mol dm^{-3}) fluoridu olovnatého PbF_2 , ak hodnota súčinu rozpustnosti sa rovná $K_s(\text{PbF}_2) = 3,3 \cdot 10^{-8}$.

Riešenie: $\text{PbF}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{F}^{-}(\text{aq})$

Podľa (9.2) dostaneme

$$K_s(\text{PbF}_2) = [\text{Pb}^{2+}] [\text{F}^{-}]^2$$

Z nábojovej bilancie platí

$$2 [\text{Pb}^{2+}] = [\text{F}^{-}]$$

Rozpustnosť

$$c_r(\text{PbF}_2) = [\text{Pb}^{2+}] = \frac{[\text{F}^{-}]}{2}$$

čiže

$$[\text{Pb}^{2+}] = c_r(\text{PbF}_2)$$

$$[F^-] = 2 \cdot c_r(\text{PbF}_2)$$

Dosadením posledných dvoch vzťahov do vzťahu pre súčin rozpustnosti dostaneme

$$K_s(\text{PbF}_2) = c_r(\text{PbF}_2) \{2 c_r(\text{PbF}_2)\}^2 = 4 \{c_r(\text{PbF}_2)\}^3 = 3,3 \cdot 10^{-8}$$

z čoho

$$c_r(\text{PbF}_2) = \left(\frac{3,3 \cdot 10^{-8}}{4} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,0 \cdot 10^{-3} \checkmark$$

Rozpustnosť PbF_2 je $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$.

9.2.2 Vypočítajte hodnotu súčinu rozpustnosti chrómanu strieborného, ak jeho rozpustnosť je $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$.

Riešenie: $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons 2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$

$$K_s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}]$$

Podľa nábojovej bilancie (9.3) platí

$$[\text{CrO}_4^{2-}] = \frac{[\text{Ag}^+]}{2} = c_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$$

dosadením do vzťahu pre súčin rozpustnosti

$$K_s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = \{2 \cdot c_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)\}^2 c_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 4 \{c_r(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)\}^3 = 4 \cdot (6,5 \cdot 10^{-5})^3 = 1,1 \cdot 10^{-12} \checkmark$$

Hodnota súčinu 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: Pretože zmiešame dva rovnaké objemy, vo výslednom roztoku koncentrácia olovnatých iónov bude polovičná, čiže $c(\text{Pb}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ a podobne $c(\text{I}^-) = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$

Potom

$$Q = [\text{Pb}^{2+}] [\text{I}^-]^2 = 1,0 \cdot 10^{-12}$$

$$Q < K_s(\text{PbI}_2) \checkmark$$

Keďže $Q < K_s(\text{PbI}_2)$ zrazenina PbI_2 nevzniká.

Po zmiešaní roztokov zrazenina PbI_2 nevzniká.

9.2.4. V roztoku sú rovnaké koncentrácie chloridu manganatého a nikelnatého $c(\text{MnCl}_2) = c(\text{NiCl}_2) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. V akom rozmedzí pH sa bude selektívne zrážať sulfid nikelnatý nasýteným roztokom sírovodíka H_2S ($c(\text{H}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$)? $K_s(\text{MnS}) = 1,4 \cdot 10^{-15}$, $K_s(\text{NiS}) = 1,4 \cdot 10^{-24}$ a celková ionizačná konštanta sírovodíka $K(\text{H}_2\text{S}) = 6,8 \cdot 10^{-23}$.

Riešenie: Zo súčinu rozpustnosti sulfidu nikelnatého môžeme vypočítať relatívnu rovnovážnu koncentráciu sulfidových aniónov, potrebnú na zrážanie sulfidu nikelnatého pri danej koncentrácii nikelnatých iónov.

$$\text{Keďže } K_s(\text{NiS}) = [\text{Ni}^{2+}] [\text{S}^{2-}] \text{ potom}$$

$$[S^{2-}] = \frac{K_s(NiS)}{[Ni^{2+}]} = \frac{1,4 \cdot 10^{-24}}{1,0 \cdot 10^{-2}} = 1,4 \cdot 10^{-22}$$

Z celkovej ionizačnej konštanty sírovodíka môžeme vypočítať relatívnu rovnovážnu koncentráciu oxóniových kationov, pri ktorej koncentrácia sulfidových aniónov nadobúda vyžadovanú hodnotu $1,4 \cdot 10^{-22}$.

$$K(H_2S) = \frac{[H_3O^+]^2 [S^{2-}]}{[H_2S]}, \text{ pričom } [H_2S] = c_r(H_2S)$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{\frac{K(H_2S) [H_2S]}{[S^{2-}]}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-23} \cdot 0,10}{1,4 \cdot 10^{-22}}} = 0,220$$

$$pH = 0,66 \checkmark$$

Podobným spôsobom vypočítame pH, pri ktorom už nastáva zrážanie sulfidu manganatého.

$$K_s(MnS) = [Mn^{2+}] [S^{2-}]$$

$$[S^{2-}] = \frac{K_s(MnS)}{[Mn^{2+}]} = \frac{1,4 \cdot 10^{-15}}{1,0 \cdot 10^{-2}} = 1,4 \cdot 10^{-13}$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{\frac{K(H_2S) [H_2S]}{[S^{2-}]}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^{-23} \cdot 0,10}{1,4 \cdot 10^{-13}}} = 6,97 \cdot 10^{-6}$$

$$pH = 5,16 \checkmark$$

Sulfid nikelnatý sa bude selektívne zrážať v rozmedzí pH 0,66 až 5,16.

9.3 Rozpustnosť zrazeniny v roztoku so spoločným iónom

Ak pridáme do roztoku, ktorý obsahuje rozpustenú málo rozpustnú binárnu zlúčeninu AB s jednotkovými nábojmi určité množstvo dobre rozpustnej látky AC, ktorá má so zrazeninou spoločný kation A^+ a ak v sústave nevznikajú komplexné zlúčeniny, rozpustnosť zrazeniny sa zníži.

Uvedené deje môžeme zapísať



Rozpustnosť zrazeniny v prítomnosti spoločného kationu vypočítame nasledujúcim spôsobom:

$$K_s(AB) = [A^+] [B^-] \quad (9.9)$$

Podľa nábojovej bilancie (9.3) platí

$$[A^+] = [B^-] + [C^-] \quad (9.10)$$

Ak za $[B^-]$ dosadíme výraz zo súčiny rozpustnosti (9.9), potom rozpustnosť zrazeniny vyjadrená relatívnou koncentráciou podľa (9.5) sa rovná

$$c_r(AB) = [B^-] = \frac{K_s(AB)}{[A^+]} \quad (9.11)$$

Podľa rovníc (9.10) a (9.11) dostaneme

$$[A^+] = c_r(AB) + c_r(AC) \quad (9.12)$$

kde $c_r(AC) = [C^-]$ je celková relatívna (analytická) koncentrácia pridanej látky. Po dosadení $[A^+]$ do rovnice (9.11) dostaneme

$$c_r(AB) = \frac{K_s(AB)}{c_r(AB) + c_r(AC)} \quad (9.13)$$

Úpravou získame kvadratickú rovnicu

$$\{c_r(AB)\}^2 + c_r(AB) c_r(AC) - K_s(AB) = 0 \quad (9.14)$$

Často je rozpustnosť látky vyjadrená relatívnou koncentráciou oveľa menšia ako relatívna koncentrácia pridanej látky so spoločným katiónom. V tom prípade platí $c_r(AC) \gg c_r(AB)$ a potom v rovnici (9.13) možno v menovateli prvý člen zanedbať a získame aproximatívny vzťah

$$c_r(AB) = \frac{K_s(AB)}{c_r(AC)} \quad (9.15)$$

Analogickým postupom možno odvodiť vzťah pre rozpustnosť zrazeniny vyjadrenú relatívnou koncentráciou, ak pridáme do roztoku rozpustnú látku DB, ktorá má spoločný anión B^- so zrazeninou.

$$c_r(AB) = \frac{K_s(AB)}{c_r(AB) + c_r(DB)} \quad (9.16)$$

príp., ak platí $c_r(DB) \gg c_r(AB)$, zjednodušený vzťah

$$c_r(AB) = \frac{K_s(AB)}{c_r(DB)} \quad (9.17)$$



9.3.1 Riešené príklady

9.3.1 Vypočítajte, koľkokrát sa zníži rozpustnosť chloridu strieborného, ak k presne 1 dm^3 nasýteného roztoku AgCl sa pridá $1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ chloridu sodného. $K_s = 1,10 \cdot 10^{-10}$.

Riešenie: $\text{AgCl}(s) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$

Podľa (9.2) platí

$$K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

Najprv musíme vypočítať relatívnu rozpustnosť AgCl v čistej vode $s_r(\text{AgCl})$

$$c_r(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = \sqrt{K_s(\text{AgCl})} = 1,05 \cdot 10^{-5} \checkmark$$

Ďalej musíme vypočítať relatívnu koncentráciu pridanej látky. Chlorid sodný sa po pridaní do nasýteného roztoku AgCl rozpustí



a vzniká roztok s koncentráciou

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{Na}^+)}{1 \text{ dm}^3} = \frac{n(\text{NaCl})}{1 \text{ dm}^3} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

Keďže $[Ag^+] = c_r(AgCl)$, potom relatívna rovnovážna koncentrácia chloridového aniónu sa rovná

$$[Cl^-] = [Na^+] + [Ag^+] = c_r(NaCl) + [Ag^+]$$

Dosadením do súčinu rozpustnosti dostávame

$$K_s(AgCl) = [Ag^+] \{ c_r(NaCl) + [Ag^+] \}$$

Úpravou dostaneme kvadratickú rovnicu

$$[Ag^+]^2 + c_r(NaCl) [Ag^+] - K_s(AgCl) = 0$$

ktorej riešením po dosadení číselných hodnôt

$$[Ag^+]^2 + 1,00 \cdot 10^{-4} [Ag^+] - 1,10 \cdot 10^{-10} = 0$$

$$[Ag^+] = 1,09 \cdot 10^{-6} \checkmark$$

Rozpustnosť AgCl vo vode je $c_r(AgCl) = 1,05 \cdot 10^{-5}$ a rozpustnosť AgCl v roztoku chloridu sodného NaCl je $1,09 \cdot 10^{-6}$ čo je **9,63-krát menšia**. ✓

Použitím zjednodušeného vzťahu (9.15) dostávame

$$c_r(AgCl) = \frac{K_s(AgCl)}{c_r(NaCl)} = \frac{1,10 \cdot 10^{-10}}{1,00 \cdot 10^{-4}} = 1,10 \cdot 10^{-6} \checkmark$$

Rozpustnosť AgCl v roztoku chloridu sodného je 9,55-krát menšia ako vo vode.

Rozpustnosť chloridu strieborného v $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ roztoku chloridu sodného je 9,63-krát menšia ako vo vode.

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 $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$.

$$[K_s(Ca_3(PO_4)_2) = 1,3 \cdot 10^{-26}]$$

9.4.4 Vypočítajte súčin rozpustnosti bromidu olovnatého, ak jeho rozpustnosť je 0,392 g na 100 g vody.

$$[K_s(PbBr_2) = 4,9 \cdot 10^{-6}]$$

9.4.5 Vypočítajte $pK_s(FeOH)_2$, ak hmotnostná koncentrácia hydroxidu železnatého v nasýtenom roztoku je $\rho(Fe(OH)_2) = 6,919 \cdot 10^{-5} \text{ g dm}^{-3}$.

$$[pK_s(FeOH)_2 = 17,74]$$

9.4.6 Vypočítajte rozpustnosť (v mol dm^{-3}) chrómanu strieborného, ak súčin rozpustnosti $K_s(Ag_2CrO_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$.

$$[s(Ag_2CrO_4) = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}]$$

9.4.7 Vypočítajte rozpustnosť (v mol dm^{-3}) jodidu olovnatého, ak 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 dekantuje 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 Určte hodnotu pH v nasýtenom roztoku hydroxidu kadmennateho. $K_s(\text{Cd}(\text{OH})_2) = 1,2 \cdot 10^{-14}$.

$$[\text{pH} = 9,46]$$

9.4.11 Vypočítajte najmenšiu koncentráciu strieborných iónov, pri ktorej sa 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 zráža dichróman distrieborný. $K_s(\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 2,0 \cdot 10^{-7}$.

$$[c(\text{Ag}^+) = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}]$$

9.4.12 Vypočítajte, či bude vznikať zrazenina, ak zmiešame rovnaké objemy 50 cm^3 roztoku chloridu bárnateho s $c(\text{BaCl}_2) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ a roztoku síranu sodného s $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. $K_s(\text{BaSO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

$$[Q > K_s, \text{ zrazenina vzniká}]$$

9.4.13 Vypočítajte látkové množstvo fluoridu strontnatého SrF_2 , ktoré sa rozpustí v 1,0 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 , ktorá 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 dm^3 nasýteného roztoku AgBrO_3 rozpustíme 0,30 mol NaBrO_3 , pričom objem roztoku sa nezmení. $K_s(\text{AgBrO}_3) = 5,3 \cdot 10^{-5}$.

$$[41\text{krát}]$$

9.4.16 Vypočítajte rozpustnosť (v mol dm⁻³) sulfidu kobaltnatého CoS

a) vo vode,

b) v roztoku sulfidu sodného s $c(\text{Na}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$,

ak $K_s(\text{CoS}) = 5 \cdot 10^{-22}$.

[a) $2,23 \cdot 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$; b) $5 \cdot 10^{-21} \text{ mol dm}^{-3}$]

9.4.17 Vypočítajte rozpustnosť (v mol dm⁻³) fluoridu vápenatého CaF₂

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 $c(\text{NaF}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$,

ak $K_s(\text{CaF}_2) = 3,9 \cdot 10^{-11}$.

[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 SrF₂ s 1,750 dm³ vody,

b) pri dekantácii zrazeniny SrF₂ s 1,750 dm³ roztoku dusičnanu strontnatého, s koncentráciou $c(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0,550 \text{ mol dm}^{-3}$,

ak $K_s(\text{SrF}_2) = 2,900 \cdot 10^{-9}$.

[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 manganatých iónov $c(\text{Co}^{2+}) = c(\text{Mn}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. V akom rozmedzí pH sa bude selektívne zrážať sulfid kobaltnatý nasýteným roztokom sírovodíka H₂S ($c(\text{H}_2\text{S}) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$)? $K_s(\text{CoS}) = 5,0 \cdot 10^{-22}$, $K_s(\text{MnS}) = 1,4 \cdot 10^{-15}$, $K(\text{H}_2\text{S}) = 6,8 \cdot 10^{-23}$.

[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 $c(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Pb}^{2+}) = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}$, $K_s(\text{CuS}) = 4 \cdot 10^{-38}$ a $K_s(\text{PbS}) = 3,4 \cdot 10^{-28}$.

[$c(\text{S}^{2-}) = 2 \cdot 10^{-37} \text{ mol dm}^{-3}$ 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 jedným alebo niekoľkými **ligandmi** L (atómy, molekuly alebo ióny). Podľa počtu centrálnych atómov, ktoré sa nachádzajú v komplexe, rozlišujeme **jednojadrové** a **viacjadrové komplexy** (napr.: štvorjadrový komplex obsahuje štyri centrálny atómy). Ligand môže obsahovať jeden alebo viac **donorových atómov**, ktoré podmieňujú jeho potenciálnu **donorovosť** (**denticitu, funkčnosť**) k centrálnemu atómu. Počet donorových atómov ligandov viazaných σ -väzbami s centrálnym atómom komplexu, t.j. ktoré sa nachádzajú v jeho **koordinačnej sfére**, udáva **koordinačné číslo**. Zlúčeniny, ktoré obsahujú komplexné častice, sa nazývajú **koordinačné (komplexné) zlúčeniny**.

Tvorbu komplexných častíc (neutrálne molekuly, katióny alebo anióny) môžeme opísať ako reakciu Lewisových zásad s Lewisovými kyselinami. Každý ligand má donorový atóm, na ktorom sa nachádza voľný elektrónový pár a používa ho na vznik **koordinačnej (donorovo-akceptorovej) väzby** s centrálnym atómom (akceptorom).

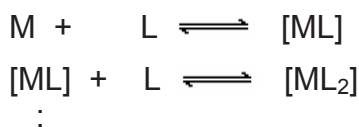
10.1 Stupňovité a celkové konštanty tvorby komplexov

Najviac meraní stálosti (stability) koordinačných 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 $[M(H_2O)_i]^{m+}$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Pridaním jednofunkčného ligandu L do vodného roztoku soli sa nahradí koordinovaná molekula vody ligandom, čo môžeme vyjadriť rovnicou:



Postupným zvyšovaním koncentrácie ligandu v roztoku prebieha substitúcia ďalších koordinovaných molekúl vody ligandom za vzniku komplexu $[ML_n]^{m+}$, kde n je maximálne koordinačné číslo. Pri zriedovaní roztoku prebieha opačný dej. Z toho vyplýva, že reakcie spojené s tvorbou alebo rozkladom komplexu predstavujú hlavne reakcie substitúcie ligandov v koordinačnej sfére. V závislosti od koncentrácie reaktantov, napr. od koncentrácie katiónu $M^{m+}(aq)$ a ligandu L , môžu vzniknúť jednojadrové alebo viacjadrové komplexy.

Vznik jednojadrových komplexov $[ML_i]$, kde L je jednofunkčný ligand, môžeme zjednodušene zapísať pomocou nasledujúcej sústavy chemických rovníc, v ktorých sú pre jednoduchosť vynechané náboje a molekuly rozpúšťadla (napr. vody).





Pre rovnováhy reakcií (10.2) platia rovnovážne konštanty K_j

$$K_1 = \frac{[\text{ML}]}{[\text{M}][\text{L}]}; \quad K_2 = \frac{[\text{ML}_2]}{[\text{ML}][\text{L}]}; \quad K_n = \frac{[\text{ML}_n]}{[\text{ML}_{n-1}][\text{L}]} \quad (10.3)$$

Konštanty K_1 až K_n sa označujú ako **stupňovité konštanty stálosti (stability)** alebo **tvorby** komplexov $[\text{ML}_i]$. V uvedenej sústave (napr. v roztoku) sa ustávajú rovnovážne reakcie, čiže sa tam nachádzajú všetky častice obsahujúce centrálny atóm M s rôznou koncentráciou. Stabilitu jednotlivých komplexov $[\text{ML}_i]$, ktoré sa nachádzajú v roztoku a sú súčasne v rovnováhe, porovnávame pomocou hodnôt stupňovitých konštant stálosti K_j ($j = 1, 2, \dots, n$).

Tvorbu jednojadrových komplexov $[\text{ML}_i]$ môžeme zapísať tiež pomocou nasledujúcej sústavy chemických rovníc:



Rovnováhy reakcií (10.4) môžeme charakterizovať rovnovážnymi konštantami β_i .

$$\beta_1 = \frac{[\text{ML}]}{[\text{M}][\text{L}]}; \quad \beta_2 = \frac{[\text{ML}_2]}{[\text{M}][\text{L}]^2}; \quad \beta_n = \frac{[\text{ML}_n]}{[\text{M}][\text{L}]^n} \quad (10.5)$$

Konštanty β_i ($i = 1, 2, \dots, n$), ktoré vyjadrujú rovnovážny stav v celkovej reakcii tvorby komplexov $[\text{ML}_i]$, nazývame **celkovými konštantami stálosti (stability)** komplexov. Tieto konštanty charakterizujú celkovú stabilitu komplexov. Pomocou hodnôt konštant stálosti β_i môžeme posúdiť stálosť komplexov určitého centrálného atómu M s rôznymi ligandmi ($\text{L} = \text{A}, \text{B}, \text{C}, \text{atď.}$), t. j. $[\text{MA}_i]$, $[\text{MB}_i]$, $[\text{MC}_i]$, alebo určitého ligandu L s rozličnými centrálnymi atómami ($\text{M} = \text{N}, \text{P}, \text{R}, \text{atď.}$), t. j. $[\text{NL}_i]$, $[\text{PL}_i]$, $[\text{RL}_i]$.

Upozornenie: Vonkajšie (trochu väčšie) hranaté zátvorky vo vzťahoch (10.3) a (10.5) označujú rovnovážne relatívne koncentrácie komplexných častíc $[\text{ML}_i]$.

Vzájomné súvislosti medzi celkovými konštantami stálosti β_i a stupňovitými konštantami stálosti K_j môžeme vyjadriť nasledujúcimi vzťahmi:

$$\beta_1 = K_1; \quad \beta_2 = K_1 K_2; \quad \dots \quad \beta_n = K_1 K_2 \dots K_n. \quad (10.6)$$

Celková konštant stálosti β_n je daná súčinom stupňovitých konštant stálosti K_1 až K_n , pretože každá rovnica celkovej tvorby komplexu (10.4) je súčtom príslušného počtu z rovníc (10.2).

Prevrátené hodnoty konštant stálosti vyjadrujú rovnovážny stav v reakciách (10.2) a (10.4), ak tieto prebiehajú opačným smerom, čiže sprava doľava. Keďže sa jedná vlastne o rozklad komplexov, rovnovážne konštanty β_i' sa nazývajú **konštanty nestálosti (nestability)** komplexov:

$$\beta_i' = \beta_i^{-1} \quad (10.7)$$

Konštanty stálosti K_j a β_i v chémii koordinačných zlúčenín patria medzi základné charakteristické veličiny. Hodnoty konštant stálosti sú tabelované, väčšinou ako dekadické logaritmy celkových konštant stálosti $\log \beta_i$ a môžeme ich nájsť aj v bežných chemických tabuľkách. Medzi hodnotami konštant stálosti a dekadickými logaritmi hodnot konštant stálosti platí vzťah

$$\beta_i = 10^{\log \beta_i}$$

alebo

$$K_j = 10^{\log K_j} \quad (10.8)$$



10.1.1 Riešené príklady

10.1.1 Po pridaní vodného roztoku amoniaku do vodného roztoku chloridu nikelnatého vznikajú amminnikelnaté komplexy $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$ ($n = 1$ až 6), ktoré sa nachádzajú v roztoku vo vzájomnej rovnováhe. Na základe hodnôt stupňovitých konštant stálosti zoradte jednotlivé komplexy $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$ podľa klesajúcej stability.

Stupňovité konštanty stálosti komplexných katiónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

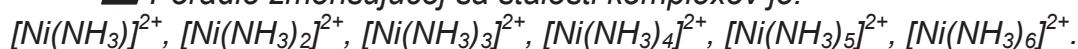
$$\begin{aligned} \log \{K_1([\text{Ni}(\text{NH}_3)]^{2+})\} &= 2,72 & \log \{K_2([\text{Ni}(\text{NH}_3)_2]^{2+})\} &= 2,17 \\ \log \{K_3([\text{Ni}(\text{NH}_3)_3]^{2+})\} &= 1,66 & \log \{K_4([\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+})\} &= 1,12 \\ \log \{K_5([\text{Ni}(\text{NH}_3)_5]^{2+})\} &= 0,67 & \log \{K_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})\} &= -0,03 \end{aligned}$$

Riešenie: Najstálejší je ten komplex, ktorý má najväčšiu hodnotu stupňovitej konštanty stálosti; najnestálejší komplex má najmenšiu hodnotu konštanty stálosti, teda aj hodnoty logaritmu konštanty.

Z porovnania hodnôt logaritmov stupňovitých konštant stálosti $\log K_i$ amminnikelnatých komplexov (alebo z porovnania hodnôt stupňovitých konštant stálosti K_j vypočítaných podľa vzťahu (10.8)) vyplýva, že stálosť komplexov sa znižuje v poradí:



✓ Poradie znižujúcej sa stálosti komplexov je:



10.1.2 Niektoré katióny kovov M^{2+} ($M = \text{Ni}, \text{Co}$ a Cd) tvoria s amoniakom vo vodnom roztoku komplexné katióny $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$. Porovnajme stabilitu amminkomplexov $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ a zoradte ich podľa zväčšujúcej sa stálosti.

Celkové konštanty stálosti β_6 jednotlivých komplexných katiónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\begin{aligned} \log \{\beta_6([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+})\} &= 8,31 & \log \{\beta_6([\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+})\} &= 4,39 \\ \log \{\beta_6([\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+})\} &= 5,14 \end{aligned}$$

Riešenie: Stálosť komplexov $[\text{M}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ rôznych centrálnych atómov M ($M^{2+} = \text{Ni}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Cd}^{2+}$), ktoré obsahujú rovnaký ligand (v našej úlohe je to amoniak) posudzujeme na základe hodnôt celkových konštant stálosti β_6 . Najmenej stály je

kobaltnatý komplex, lebo má najmenšiu hodnotu $\log \beta_6$; najstálejší je nikelnatý komplex s najväčšou hodnotou $\log \beta_6$ (alebo β_6).

✓ Stálosť amminokomplexov $[M(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ 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 Reakciou zinočnatých katiónov s niektorými aniónovými ligandmi L^- ($\text{L}^- = \text{NCS}^-, \text{CN}^-, \text{OH}^-$) vznikajú vo vodnom roztoku komplexné anióny $[\text{ZnL}_4]^{2-}$.

- a) Zoradte uvedené zinočnaté komplexné anióny podľa zväčšujúcej sa stálosti.
 b) Porovnajtie stabilitu komplexov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$ a vypočítajte, koľkokrát je najstabilnejší komplexný anión stálejší ako najmenej stály komplexný anión.

Celkové konštanty stálosti β_4 jednotlivých komplexných aniónov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$ boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\log \{\beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-})\} = 1,60$$

$$\log \{\beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-})\} = 19,62$$

$$\log \{\beta_4([\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-})\} = 15,51$$

✍ Riešenie: Stálosť komplexov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$, teda komplexov, ktoré majú rovnaký centrálny atóm (Zn^{2+}), ale majú rozličné ligandy L ($\text{L}^- = \text{NCS}^-, \text{CN}^-, \text{OH}^-$), posudzujeme na základe hodnôt celkových konštant stálosti β_4 (alebo $\log \beta_4$).

a) Najmenej stály je tiokyanátový komplex a najstálejší je kyanidový komplex. Stabilita zinočnatých komplexných aniónov sa zväčšuje v poradí:



b) Stabilitu komplexov $[\text{ZnL}_4]^{2-}$ posudzujeme porovnávaním celkových konštant stálosti β_4 ako pomer konštanty stálosti najstálejšieho komplexu voči najmenej stálemu komplexu:

$$x = \frac{\beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-})}{\beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-})} = \frac{1 \cdot 10^{19,62}}{1 \cdot 10^{1,60}} = 1 \cdot 10^{18,02} = \mathbf{1,0 \cdot 10^{18}}$$

alebo ako rozdiel logaritmov:

$$\begin{aligned} \log x &= \log \{\beta_4([\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-})\} - \log \{\beta_4([\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-})\} = \\ &= 19,62 - 1,60 = 18,02 \end{aligned}$$

$$x = \mathbf{1,0 \cdot 10^{18}} \checkmark$$

Poznámka: Pri zaokrúhľovaní konečných výsledkov sme postupovali podľa pravidla (1.2.3 d) platného pre logaritmy, ktoré je uvedené v kapitole 1.2.3.

✓ Stabilita komplexných aniónov sa zväčšuje v poradí:
 $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$. 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 Reakciou strieborných katiónov s tiosíranom sodným vznikajú vo vodnom roztoku tiosulfátostrieborné anióny. Celkové konštanty stability komplexných aniónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\log \{\beta_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-)\} = 8,82 \qquad \log \{\beta_2([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-})\} = 13,67$$

$$\log \{\beta_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-})\} = 14,20$$

Vypočítajte:

- a) hodnoty stupňovitých konštant stability K_j ($j = 1, 2, 3$) uvedených komplexných aniónov,

b) koľkokrát je stálejší najstabilnejší komplexný anión vzhľadom na najmenej stály anión, keď sa tieto anióny nachádzajú v roztoku a sú vo vzájomnej rovnováhe.

Riešenie:

a) Pri výpočte hodnôt stupňovitých konštánt stability tiosulfátostriebornanových aniónov vychádzame zo vzťahu (10.6), ktorý sme upravili do logaritmickej formy.

$$\log \beta_1 = \log K_1 = 8,82$$

$$K_1 = 1 \cdot 10^{8,82} = 6,61 \cdot 10^8 = 6,6 \cdot 10^8 \checkmark$$

$$\log \beta_2 = \log K_1 + \log K_2$$

$$\log K_2 = \log \beta_2 - \log K_1 = \log \beta_2 - \log \beta_1 = 13,67 - 8,82 = 4,85$$

$$K_2 = 1 \cdot 10^{4,85} = 7,08 \cdot 10^4 = 7,1 \cdot 10^4 \checkmark$$

$$\log \beta_3 = \log K_1 + \log K_2 + \log K_3;$$

$$\log K_3 = \log \beta_3 - \log K_1 - \log K_2 = \log \beta_3 - \log \beta_2 =$$

$$= 14,20 - 13,67 = 0,53$$

$$K_3 = 1 \cdot 10^{0,53} = 3,39 = 3,4 \checkmark$$

Hodnoty stupňovitých konštánt stability K_i môžeme vypočítať aj iným spôsobom. Zo zadaných hodnôt logaritmov celkových konštánt stability si vypočítame hodnoty konštánt β_i podľa vzťahu (10.8) a do upraveného vzťahu (10.6) dosadíme hodnoty β_i .

b) Na základe vypočítaných hodnôt stupňovitých konštánt stability uvedených komplexných aniónov, môžeme uviesť, že najstabilnejší je anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ a najmenej stabilný je anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}$. Porovnaním stupňovitých konštánt stability K_1 a K_3 , čiže vypočítaním pomeru medzi konštantami stability najstálejšieho komplexu a najmenej stáleho komplexu (alebo rozdielu ich logaritmov), zistíme koľkokrát je stálejší najstabilnejší komplexný anión vzhľadom na najmenej stabilný anión:

$$x = \frac{K_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-)}{K_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-})} = \frac{6,61 \cdot 10^8}{3,39} = 1,94 \cdot 10^8 = 1,9 \cdot 10^8 \checkmark$$

alebo ako rozdiel logaritmov:

$$\log x = \log \{K_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-)\} - \log \{K_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-})\} =$$

$$= 8,82 - 0,53 = 8,29$$

$$x = 1,94 \cdot 10^8 = 1,9 \cdot 10^8 \checkmark$$

✓ Hodnoty stupňovitých konštánt stability K_i striebornanových aniónov sú:

$K_1([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-) = 6,6 \cdot 10^8$; $K_2([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 7,1 \cdot 10^4$; $K_3([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-}) = 3,4$.

Komplexný anión $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-$ je $1,9 \cdot 10^8$ -krát stálejší ako najmenej stály 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 $[\text{M}(\text{py})_i]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Ni}$; $i = 1, 2$). Stupňovité konštanty stálosti K_j komplexných katiónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\log \{K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+})\} = 0,6$$

$$\log \{K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+})\} = 1,85$$

$$\log \{K_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+})\} = 0,3$$

$$\log \{K_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+})\} = 1,25$$

a) Pre uvedené komplexné katióny $[\text{M}(\text{py})_i]^{2+}$ vypočítajte hodnoty celkových konštánt stability β_i a hodnoty ich logaritmov $\log \beta_i$.

b) Porovnajme stabilitu železnatých a nikelnatých komplexov.

Riešenie:

a) Pri výpočte hodnôt celkových konštánt stálosti β_i vychádzame z logaritmickej formy vzťahu (10.6) a vzťahu (10.8):

$$\log \{\beta_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+})\} = \log \{K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+})\} = 0,6 \checkmark$$

$$\beta_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+}) = 1 \cdot 10^{0,6} = 3,98 = 4 \checkmark$$

$$\log \{\beta_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+})\} = \log \{K_1([\text{Fe}(\text{py})]^{2+})\} + \log \{K_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+})\} = \\ = 0,6 + 0,3 = 0,9 \checkmark$$

$$\beta_2([\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}) = 1 \cdot 10^{0,9} = 7,94 = 8 \checkmark$$

$$\log \{\beta_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+})\} = \log \{K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+})\} = 1,85 \checkmark$$

$$\beta_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+}) = 1 \cdot 10^{1,85} = 70,8 = 71 \checkmark$$

$$\log \{\beta_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+})\} = \log \{K_1([\text{Ni}(\text{py})]^{2+})\} + \log \{K_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+})\} = \\ = 1,85 + 1,25 = 3,10 \checkmark$$

$$\beta_2([\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}) = 1 \cdot 10^{3,10} = 1,26 \cdot 10^3 = 1,3 \cdot 10^3 \checkmark$$

b) Vypočítané hodnoty β_i ($i = 1, 2$), prípadne $\log \beta_i$, pre železnaté komplexy sú menšie ako pre nikelnaté komplexy. Z toho vyplýva, že celková stálosť železnatých komplexov je menšia ako nikelnatých komplexov.

Vypočítané hodnoty celkových konštánt stálosti β_i a ich logaritmov $\log \beta_i$ pre železnaté a nikelnaté komplexné katióny sú zhrnuté v tabuľke:

| Komplex | $\log K_j$ | $\log \beta_i$ | β_i |
|---------------------------------|------------|----------------|------------------|
| $[\text{Fe}(\text{py})]^{2+}$ | 0,6 | 0,6 | 4 |
| $[\text{Fe}(\text{py})_2]^{2+}$ | 0,3 | 0,9 | 8 |
| $[\text{Ni}(\text{py})]^{2+}$ | 1,85 | 1,85 | 71 |
| $[\text{Ni}(\text{py})_2]^{2+}$ | 1,25 | 3,10 | $1,3 \cdot 10^3$ |

Železnaté komplexné katióny sú menej stále ako nikelnaté komplexné katióny.

10.1.6 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 K_j boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\log \{K_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+})\} = 6,01$$

$$\log \{K_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{-})\} = 4,53$$

$$\log \{K_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]\} = 5,11$$

$$\log \{K_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-})\} = 2,27$$

Vypočítajte hodnoty celkových konštánt stálosti β_i a hodnoty celkových konštánt nestálosti β'_i komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$.

Riešenie:

Hodnoty celkových konštánt stálosti β_i komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ vypočítame na základe logaritmickej formy vzťahu (10.6) a vzťahu (10.8).

$$\log \{\beta_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+})\} = \log \{K_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+})\} = 6,01$$

$$\beta_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+}) = 1 \cdot 10^{6,01} = 1,02 \cdot 10^6 = 1,0 \cdot 10^6 \checkmark$$

$$\log \{\beta_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]\} = \log \{K_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+})\} + \log \{K_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]\} = \\ = 6,01 + 5,11 = 11,12$$

$$\beta_2([\text{Cd}(\text{CN})_2] = 1 \cdot 10^{11,12} = 1,32 \cdot 10^{11} = 1,3 \cdot 10^{11} \checkmark$$

$$\log \{\beta_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{-})\} = \log \{K_1([\text{Cd}(\text{CN})]^{+})\} + \log \{K_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]\} + \\ + \log \{K_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{-})\}$$

$$\begin{aligned} \log \{\beta_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^-)\} &= \log \{\beta_2([\text{Cd}(\text{CN})_2]\} + \log \{K_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^-)\} = \\ &= 11,12 + 4,53 = 15,65 \\ \beta_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^-) &= 1 \cdot 10^{15,65} = 4,47 \cdot 10^{15} = \mathbf{4,5 \cdot 10^{15}} \checkmark \\ \log \{\beta_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-})\} &= \log \{\beta_3([\text{Cd}(\text{CN})_3]^-)\} + \log \{K_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-})\} = \\ &= 15,65 + 2,27 = 17,92 \\ \beta_4([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}) &= 1 \cdot 10^{17,92} = 8,32 \cdot 10^{17} = \mathbf{8,3 \cdot 10^{17}} \checkmark \end{aligned}$$

Hodnoty celkových konštánt nestálosti β_i' komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ vypočítame podľa vzťahu (10.7).

$$\begin{aligned} \beta_1'([\text{Cd}(\text{CN})]^{2+}) &= \beta_1^{-1}([\text{Cd}(\text{CN})]^{2+}) = 1 \cdot 10^{-6,01} = 9,77 \cdot 10^{-7} = \mathbf{9,8 \cdot 10^{-7}} \checkmark \\ \beta_2'([\text{Cd}(\text{CN})_2]^{2+}) &= \beta_2^{-1}([\text{Cd}(\text{CN})_2]^{2+}) = 1 \cdot 10^{-11,12} = 7,59 \cdot 10^{-12} = \mathbf{7,6 \cdot 10^{-12}} \checkmark \\ \beta_3'([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{2+}) &= \beta_3^{-1}([\text{Cd}(\text{CN})_3]^{2+}) = 1 \cdot 10^{-15,65} = 2,24 \cdot 10^{-16} = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-16}} \checkmark \\ \beta_4'([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2+}) &= \beta_4^{-1}([\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2+}) = 1 \cdot 10^{-17,92} = 1,20 \cdot 10^{-18} = \\ &= \mathbf{1,2 \cdot 10^{-18}} \checkmark \end{aligned}$$

Poznámka: Hodnoty celkových konštánt nestálosti β_i' komplexných iónov $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ môžeme tiež vypočítať ako prevrátané hodnoty vypočítaných hodnôt celkových konštánt stálosti β_i : $\beta_i' = \frac{1}{\beta_i}$.

Vypočítané hodnoty celkových konštánt stálosti β_i a celkových konštánt nestálosti β_i' pre kademnaté komplexy $[\text{Cd}(\text{CN})_i]^{2-i}$ ($i = 1$ až 4) sú zhrnuté v tabuľke:

| Komplex | $\log K_j$ | β_i | β_i' |
|---------------------------------|------------|---------------------|----------------------|
| $[\text{Cd}(\text{CN})]^{2+}$ | 6,01 | $1,0 \cdot 10^6$ | $9,8 \cdot 10^{-7}$ |
| $[\text{Cd}(\text{CN})_2]^{2+}$ | 5,11 | $1,3 \cdot 10^{11}$ | $7,6 \cdot 10^{-12}$ |
| $[\text{Cd}(\text{CN})_3]^{2+}$ | 4,53 | $4,5 \cdot 10^{15}$ | $2,2 \cdot 10^{-16}$ |
| $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2+}$ | 2,27 | $8,3 \cdot 10^{17}$ | $1,2 \cdot 10^{-18}$ |

10.2 Úlohy



10.2.1 Po zmiešaní vodných roztokov chloridu kademnatého 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 boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\begin{aligned} \log \{\beta_1([\text{Cd}(\text{NH}_3)]^{2+})\} &= 2,55 & \log \{\beta_4([\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+})\} &= 6,74 \\ \log \{\beta_2([\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+})\} &= 4,56 & \log \{\beta_5([\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+})\} &= 7,02 \\ \log \{\beta_3([\text{Cd}(\text{NH}_3)_3]^{2+})\} &= 5,90 & \log \{\beta_6([\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+})\} &= 5,41 \end{aligned}$$

Vypočítajte:

- hodnoty stupňovitých konštánt stability K_j komplexných katiónov $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ a zoradte komplexné katióny podľa ich zväčšujúcej sa stálosti,
- koľkokrát je stálejší katión $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ ako $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$.

[a] Vypočítané hodnoty stupňovitých konštánt stability K_j pre komplexné katióny $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_i]^{2+}$ ($i = 1$ až 6) sú uvedené v tabuľke:

| Komplex | K_i | Komplex | K_i | Komplex | K_i |
|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------|
| $[\text{Cd}(\text{NH}_3)]^{2+}$ | $3,5 \cdot 10^2$ | $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_3]^{2+}$ | $2,2 \cdot 10^1$ | $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ | 1,9 |
| $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$ | $1,0 \cdot 10^2$ | $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | 6,9 | $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ | $2,5 \cdot 10^{-2}$ |

Stálosť komplexných katiónov 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) Katión $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ je 78-krát stálejší ako $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$

10.2.2 Reakciou meďných katiónov s tiosíranom sodným vznikajú vo vodnom roztoku tiosulfátomeďnanové anióny, ktoré sú vo vzájomnej rovnováhe. Stupňovité konštanty stability K_i komplexných aniónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

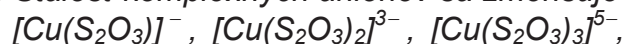
$$\log \{K_1([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)]^-)\} = 10,35 \quad \log \{K_2([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-})\} = 1,92$$

$$\log \{K_3([\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{5-})\} = 1,44$$

a) Zoradte komplexné anióny podľa klesajúcej stálosti.

b) Vypočítajte hodnoty celkových konštant stability β_i uvedených komplexných aniónov.

[a] Stálosť komplexných aniónov sa znižuje v poradí:



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 katióny kovov M^{2+} ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Mn}$) tvoria s 2,2'-bipyridínom komplexné katióny $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$. Stupňovité konštanty stability K_i komplexných katiónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\log \{K_1([\text{Fe}(\text{bipy})]^{2+})\} = 4,36 \quad \log \{K_2([\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+})\} = 3,54$$

$$\log \{K_1([\text{Co}(\text{bipy})]^{2+})\} = 5,80 \quad \log \{K_2([\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+})\} = 5,44$$

$$\log \{K_1([\text{Mn}(\text{bipy})]^{2+})\} = 2,62 \quad \log \{K_2([\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+})\} = 2,00$$

a) Vypočítajte hodnoty celkových konštant stability β_2 komplexných katiónov $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Mn}$).

b) Vypočítajte koľkokrát je stálejší komplexný katión $[\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ako menej stále komplexné katióny $[\text{M}(\text{bipy})_2]^{2+}$ ($\text{M} = \text{Fe}, \text{Mn}$).

$$[a] \beta_2([\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 7,9 \cdot 10^7, \quad \beta_2([\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 1,7 \cdot 10^{11},$$

$\beta_2([\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}) = 4,2 \cdot 10^4$; b) Komplexný katión $[\text{Co}(\text{bipy})_2]^{2+}$ je $2,2 \cdot 10^3$ -krát stálejší ako $[\text{Fe}(\text{bipy})_2]^{2+}$ a $4,2 \cdot 10^6$ -krát stálejší ako $[\text{Mn}(\text{bipy})_2]^{2+}$.

10.2.4 Reakciou ortuťnatých katiónov s kyanidmi a tiokyanatanami 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 boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty 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 tiokyanátooruťnaté komplexy $[\text{Hg}(\text{NCS})_i]^{2-i}$ podľa zväčšujúcej sa stability.
 b) Zoradte kyanooruťnaté komplexy $[\text{Hg}(\text{CN})_i]^{2-i}$ podľa zväčšujúcej sa stability.
 c) Vypočítajte hodnoty celkových konštant stálosti β_4 komplexných aniónov $[\text{HgL}_4]^{2-}$.
 d) Porovnajte stabilitu komplexov $[\text{HgL}_4]^{2-}$, ak $\text{L}^- = \text{CN}^-$ a NCS^- .
 [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) Komplexný anión $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ je $1,5 \cdot 10^{17}$ -krát stálejší ako $[\text{Hg}(\text{NCS})_4]^{2-}$]

10.2.5 Katióny kovov M^{2+} ($\text{M} = \text{Cd}, \text{Hg}$) tvoria s jodidovými aniónmi komplexné ióny $[\text{Ml}_n]^{2-n}$ ($n = 1$ až 4). Celkové konštanty stálosti β_n komplexných katiónov boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú:

$$\begin{array}{ll} \log \{\beta_1[\text{Cdl}]^+\} = 2,28 & \log \{\beta_1[\text{Hgl}]^+\} = 12,87 \\ \log \{\beta_2[\text{Cdl}_2]\} = 3,92 & \log \{\beta_2[\text{Hgl}_2]\} = 23,82 \\ \log \{\beta_3[\text{Cdl}_3]^{-}\} = 5,04 & \log \{\beta_3[\text{Hgl}_3]^{-}\} = 27,60 \\ \log \{\beta_4[\text{Cdl}_4]^{2-}\} = 6,03 & \log \{\beta_4[\text{Hgl}_4]^{2-}\} = 29,83 \end{array}$$

- a) Porovnajte navzájom celkovú stabilitu kademnatých a ortuťnatých komplexov.
 b) Určite, ktorý komplex $[\text{Ml}_4]^{2-}$ ($\text{M} = \text{Cd}, \text{Hg}$) je stálejší a vypočítajte koľkokrát je stálejší ako menej stály komplex.
 c) Vypočítajte hodnoty celkových konštant nestálosti β_4' komplexných aniónov $[\text{Ml}_4]^{2-}$.
 d) Vypočítajte hodnoty stupňovitých konštant stálosti K_4 komplexných aniónov $[\text{Ml}_4]^{2-}$.

- [a) Kademnaté komplexy sú menej stále ako ortuťnaté komplexy;
 b) Komplexný anión $[\text{Hgl}_4]^{2-}$ je $6,3 \cdot 10^{23}$ -krát stálejší ako $[\text{Cdl}_4]^{2-}$;
 c) $\beta_4'([\text{Cdl}_4]^{2-}) = 9,3 \cdot 10^{-7}$ $\beta_4'([\text{Hgl}_4]^{2-}) = 1,5 \cdot 10^{-30}$;
 d) $K_4([\text{Cdl}_4]^{2-}) = 9,8$; $K_4([\text{Hgl}_4]^{2-}) = 1,7 \cdot 10^2$]

10.2.6 Niektoré katióny kovov M^{3+} ($\text{M} = \text{Al}, \text{Ga}, \text{In}$) vo vodnom roztoku reagujú s hydroxidmi alkalických kovov za vzniku hydroxokomplexov. Celkové konštanty nestálosti β_4' komplexov $[\text{M}(\text{OH})_4]^-$ boli stanovené za rovnakých podmienok a ich hodnoty sú: $\beta_4'([\text{Al}(\text{OH})_4]^-) = 1,0 \cdot 10^{-33}$ $\beta_4'([\text{Ga}(\text{OH})_4]^-) = 4,0 \cdot 10^{-40}$
 $\beta_4'([\text{In}(\text{OH})_4]^-) = 1,3 \cdot 10^{-34}$

- a) Vypočítajte hodnoty celkových konštant stálosti β_4 komplexných aniónov $[\text{M}(\text{OH})_4]^-$.
 b) Porovnajte navzájom stabilitu komplexných aniónov $[\text{M}(\text{OH})_4]^-$.

- [a) $\beta_4([\text{Al}(\text{OH})_4]^-) = 1,0 \cdot 10^{33}$, $\beta_4([\text{Ga}(\text{OH})_4]^-) = 2,5 \cdot 10^{39}$,
 $\beta_4([\text{In}(\text{OH})_4]^-) = 7,7 \cdot 10^{33}$;
 b) Stálosť komplexných aniónov sa znižuje v poradí:
 $[\text{Ga}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{In}(\text{OH})_4]^-$, $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$]

11

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. Hájek, B., Jenšovský, L., Klimešová, V.: Příklady z obecní a anorganické chemie. SNTL, Praha 1967.
2. Langfelderová, H., Kotočová, A., Klas, J., Kordík, D., Sirota, A., Valigura, D.: Anorganická chémia. Príklady a úlohy v anorganickej chémii. ALFA, Bratislava 1990.
3. Gažo, J., Horváth, E., Kohout, J., Serátor, M., Šramko, T., Toušková, A., Valtr, Z.: Anorganická chémia. Laboratórne cvičenia a výpočty. ALFA, Bratislava 1977.
4. Kohout, J., Melník, M.: Anorganická chémia. Základy anorganickej chémie. STU, Bratislava 1997.
5. Gillespie, R. J., Humphreys, D. A., Baird, N. C., Robinson, E. A.: Chemistry. PRENTICE HALL, New Jersey 1988.
6. Ulická, Ľ., Ulický, L.: Príklady zo všeobecnej a anorganickej chémie. ALFA, Bratislava 1987.
7. Chang, R.: Chemistry. McGRAW-HILL, INC. 1991.
8. Valigura, D. a kol.: Chemické tabuľky. STU, Bratislava 1997.
9. Lide, D. R.: CRC Handbook of Chemistry and Physics. 78th Edition. CRC PRESS, INC., Boca Raton, New York 1997 - 1998.
10. Veličiny a jednotky, 0. časť: Všeobecné zásady, 1997, STN ISO 31-0 (01 1301).
11. Veličiny a jednotky, 8. časť: Fyzikálna chémia a molekulová fyzika, 1997, STN ISO 31-8 (01 1301).

12

OBSAH

| | | | | | | | | | |
|-------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | PREDHOVOR | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 3 |
| 1 | ÚVOD.. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 5 |
| 1.1 | Sústava SI, niektoré veličiny potrebné v chémii | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 5 |
| 1.2 | Presnosť meraní a platné číslice | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 6 |
| 1.2.1 | Zapisovanie čísiel | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 7 |
| 1.2.2 | Zaokrúhľovanie čísiel | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 8 |
| 1.2.3 | Platné číslice vo výpočtoch | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 8 |
| 1.2.4 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 9 |
| 1.3 | Úlohy | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 10 |
| 2 | MNOŽSTVO CHEMICKÝCH LÁTKOK | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 12 |
| 2.1 | Veličiny vyjadrujúce množstvo látky | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 12 |
| 2.2 | Prepočty medzi veličinami vyjadrujúcimi množstvo látky | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 12 |
| 2.2.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 14 |
| 2.3 | Úlohy | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 18 |
| 3 | SÚSTAVY LÁTKOK A KVANTITATÍVNE VYJADRENIE ICH ZLOŽENIA | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 21 |
| 3.1 | Vyjadrenie zloženia sústav pomocou pomerného zastúpenia zložiek | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 21 |
| 3.1.1 | Molový zlomok | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 22 |
| 3.1.2 | Hmotnostný zlomok | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 22 |
| 3.1.3 | Objemový zlomok | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 22 |
| 3.1.4 | Hustota roztokov | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 23 |
| 3.1.5 | Priemerná molová hmotnosť | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 23 |
| 3.1.6 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 23 |
| 3.2 | Vyjadrenie zloženia sústav pomocou koncentrácií | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 27 |
| 3.2.1 | Koncentrácia látkového množstva | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 27 |
| 3.2.2 | Hmotnostná koncentrácia | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 27 |
| 3.2.3 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 28 |
| 3.3 | Vyjadrenia zloženia sústav iným spôsobom | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 29 |
| 3.3.1 | Molalita | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 29 |
| 3.3.2 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 29 |
| 3.4 | Lineárna interpolácia | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 29 |
| 3.4.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 30 |
| 3.5 | Prepočty jednotlivých spôsobov vyjadrenia zloženia roztokov.. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 31 |
| 3.5.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 31 |
| 3.6 | Stechiometrický vzorec | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 33 |
| 3.6.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 34 |
| 3.7 | Úlohy | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 35 |
| 4 | LÁTKOVÉ BILANCIE V SÚSTAVÁCH LÁTKOK BEZ CHEMICKÉHO DEJA.. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 41 |
| 4.1 | Príprava roztokov | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 43 |
| 4.1.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 43 |
| 4.2 | Kryštalizácia látok z roztokov | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 52 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.1 | Riešené príklady | 52 |
| 4.3 | Kombinované látkové bilancie | 57 |
| 4.3.1 | Riešené príklady | 58 |
| 4.4 | Úlohy | 60 |
| 5. | CHEMICKÉ REAKCIE - ZÁPIS CHEMICKÉHO DEJA | 67 |
| 5.1 | Acidobázické reakcie | 69 |
| 5.1.1 | Riešené príklady | 69 |
| 5.2 | Vylučovacie reakcie | 70 |
| 5.2.1 | Riešené príklady | 71 |
| 5.3 | Redoxné reakcie | 72 |
| 5.3.1 | Pravidlá pre určovanie oxidačných čísiel: | 72 |
| 5.3.2 | Riešené príklady | 73 |
| 5.3.3 | Bilancovanie redoxných rovníc: | 75 |
| 5.3.4 | Riešené príklady | 75 |
| 5.4 | Úlohy | 80 |
| 6 | LÁTKOVÉ BILANCIE V SÚSTAVÁCH S CHEMICKÝM DEJOM | 88 |
| 6.1 | Rozsah reakcie | 88 |
| 6.1.1 | Riešené príklady | 89 |
| 6.2 | Stechiometrické výpočty pre čistými látkami | 90 |
| 6.2.1 | Riešené príklady | 90 |
| 6.3 | Stechiometrické výpočty pre sústavami látok | 92 |
| 6.3.1 | Riešené príklady | 92 |
| 6.4 | Nestechiometrické množstvá reagujúcich látok | 95 |
| 6.4.1 | Riešené príklady | 95 |
| 6.5 | Stechiometrické výpočty pre nadväzujúce chemické reakcie | 99 |
| 6.5.1 | Riešené príklady | 99 |
| 6.6 | Stechiometrické výpočty spojené s fyzikálnymi dejmi | 102 |
| 6.6.1 | Riešené príklady | 102 |
| 6.7 | Úlohy | 109 |
| 7 | CHEMICKÁ ROVNOVÁHA.. .. . | 121 |
| 7.1 | Rovnovážna konštanta a zloženie rovnovážnych sústav | 121 |
| 7.1.1 | Riešené príklady | 124 |
| 7.2 | Úlohy | 126 |
| 8 | PROTOLYTICKÉ ROVNOVÁHY | 129 |
| 8.1 | Autoprotolýza a iónový súčin rozpúšťadla | 129 |
| 8.1.1 | Riešené príklady | 130 |
| 8.2 | Silné kyseliny a zásady | 131 |
| 8.2.1 | Riešené príklady | 132 |
| 8.3 | Slabé kyseliny a zásady | 133 |
| 8.3.1 | Riešené príklady | 136 |
| 8.4 | Hydrolyza | 137 |
| 8.4.1 | Riešené príklady | 139 |
| 8.5 | Úlohy | 140 |
| 9 | ROVNOVÁHY MÁLO ROZPUSTNÝCH ELEKTROLYTOV | 146 |
| 9.1 | Nábojová bilancia v roztokoch elektrolytov | 147 |
| 9.1.1 | Riešené príklady | 147 |
| 9.2 | Súčin rozpustnosti a rozpustnosť málorozpustnej látky | 148 |
| 9.2. | Riešené príklady | 148 |
| 9.3 | Rozpustnosť zrazeniny v roztoku so spoločným iónom.. .. . | 150 |

| | | | | | | | | | |
|--------|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 9.3.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 151 |
| 9.4 | Úlohy | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 152 |
| 10 | KOMPLEXOTVORNÉ ROVNOVÁHY | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 155 |
| 10.1 | Stupňovité a celkové konštanty tvorby komplexov | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 155 |
| 10.1.1 | Riešené príklady | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 157 |
| 10.2 | Úlohy | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 161 |
| 11 | ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 164 |

doc. Ing. Anna Mašlejová, PhD., doc. RNDr. Adela Kotočová, CSc.,
doc. Ing. Iveta Ondrejkočová, PhD., doc. Ing. Blažena Papánková, PhD.,
doc. Ing. Dušan Valigura, PhD.

VÝPOČTY V ANORGANICKEJ CHÉMII

Vydala Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU,
Bratislava, Vazovova 5, v roku 2018.

Edícia skrípt

Rozsah 167 strán, 4 tabuľky, 13,472 AH, 13,715 VH,
3. vydanie, edičné číslo 5961, tlač ForPress NITRIANSKE TLAČIARNE, s. r. o.

85 – 201 – 2018

ISBN 978-80-227-4766-0
ISBN 978-80-227-3804-0 (2. opravené vydanie, r. 2012)
ISBN 80-227-1271-X (1. vydanie, r. 1999)