

Chemické výpočty

RNDr. Kristýna Vondráčková

kristyna.vondrackova@email.cz

Atomová hmotnostní jednotka

- Hmotnost
 - Relativní
 - Absolutní



Jedna dvanáctina hmotnosti atomu uhlíku ${}^1_6\text{C}$ se nazývá atomová hmotnostní jednotka, značí se „u“ a její přibližná hodnota je $u = 1,66056 \cdot 10^{-27}$ kg.

Relativní atomová hmotnost



Relativní atomová hmotnost A_r je číslo, které udává, kolikrát je hmotnost přirozené směsi izotopů daného prvku větší než jedna dvanáctina hmotnosti izotopu uhlíku $^{12}_6C$.

$$A_r(X) = \frac{m(X)}{m_u}$$

Klidová hmotnost jednoho atomu jistého prvku je $7,4652 \cdot 10^{-26}$ kg. Určete neznámý prvek.

Nejdříve vypočítáme relativní atomovou hmotnost ze vztahu : $A_r(X) = \frac{m(X)}{m_u}$

$$A_r(X) = \frac{7,4652 \cdot 10^{-26}}{1,66056 \cdot 10^{-27}} = \underline{44,9559}$$

Relativní atomová hmotnost neznámého prvku je 44,9559 a z tabulek zjistíme, že jde o *skandium (Sc)*.

? *Jakou hmotnost má 1000 atomů vodíku, je-li jeho atomová relativní hmotnost 1,00797 ?*

! Z definice plyne, že 1 (průměrný) atom vodíku má hmotnost $A_r(H) \cdot u$, tedy 1000 atomů vodíku 1000x tolik: $m = 1000 \cdot 1,00797 \cdot 1,66056 \cdot 10^{-27} = \underline{\underline{1,67379 \cdot 10^{-24} \text{kg}}}$.

? *Proč se v tabulkách uvádí, že $A_r(C) = 12,011$? Proč není 12 přesně?*

V přírodním vzorku uhlíku se nenachází pouze izotop $^{12}_6\text{C}$. Ve velmi malém množství jsou přítomny i některé další izotopy, jejichž hmotnost je větší.

Přírodní gallium je směs izotopů ${}^{69}_{31}\text{Ga}$ a ${}^{71}_{31}\text{Ga}$ o atomových hmotnostech 68,9257u a 70,9248u. Obsah obou izotopů vyjádřený molárními zlomky je u nuklidu ${}^{69}_{31}\text{Ga}$ 60,5 % a u nuklidu ${}^{71}_{31}\text{Ga}$ 39,5 %. Vypočítejte střední relativní atomovou hmotnost přírodního gallia.

K řešení použijeme vztah $\bar{A}_r(\text{Ga}) = \sum_i A_r({}^i_Z\text{Ga}) \cdot x({}^i_Z\text{Ga})$,

do kterého dosadíme a vyřešíme.

$$\bar{A}_r(\text{Ga}) = A_r({}^{69}_{31}\text{Ga}) \cdot x({}^{69}_{31}\text{Ga}) + A_r({}^{71}_{31}\text{Ga}) \cdot x({}^{71}_{31}\text{Ga})$$

$$\bar{A}_r(\text{Ga}) = 68,9257 \cdot 0,605 + 70,9248 \cdot 0,395$$

$$\bar{A}_r(\text{Ga}) = \underline{69,7153}$$

Střední relativní atomová hmotnost přírodního gallia je 69,7153.

Měď je směsí dvou izotopů ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ a ${}^{65}_{29}\text{Cu}$ o atomových hmotnostech 62,928u a 64,928u. Vyjádřete zastoupení jednotlivých izotopů molárními zlomky, je-li střední atomová hmotnost mědi $\bar{A}_r(\text{Cu}) = 63,54$.

Použijeme vztah pro výpočet střední relativní atomové hmotnosti z předchozího příkladu a sestavíme rovnici:

$$\bar{A}_r(\text{Cu}) = A_r({}^{63}_{29}\text{Cu}) \cdot x({}^{63}_{29}\text{Cu}) + A_r({}^{65}_{29}\text{Cu}) \cdot x({}^{65}_{29}\text{Cu})$$

Molární zlomky vyjádříme pomocí neznámých x_1 a x_2 , kde $x_1 = x({}^{63}_{29}\text{Cu})$ a $x_2 = x({}^{65}_{29}\text{Cu})$ a řešíme soustavu dvou rovnic o dvou neznámých.

$$63,54 = 62,928 x_1 + 64,928 x_2$$

$$\frac{1 = x_1 + x_2}{x_1 = 1 - x_2}$$

$$63,54 = 62,928 \cdot (1 - x_2) + 64,928 x_2$$

$$x_2 = \underline{0,306} \quad \text{tedy : } x_2 = 30,6 \%$$

$$x_1 = 1 - 0,306 = \underline{0,694} \quad x_1 = 69,4 \%$$

Složení mědi v molárních zlomcích je 69,4 % ${}^{63}_{29}\text{Cu}$ a 30,6 % ${}^{65}_{29}\text{Cu}$.

Relativní molekulová hmotnost



Molekulová relativní hmotnost sloučeniny (M_r) má hodnotu součtu atomových relativních hmotností všech atomů v molekule.

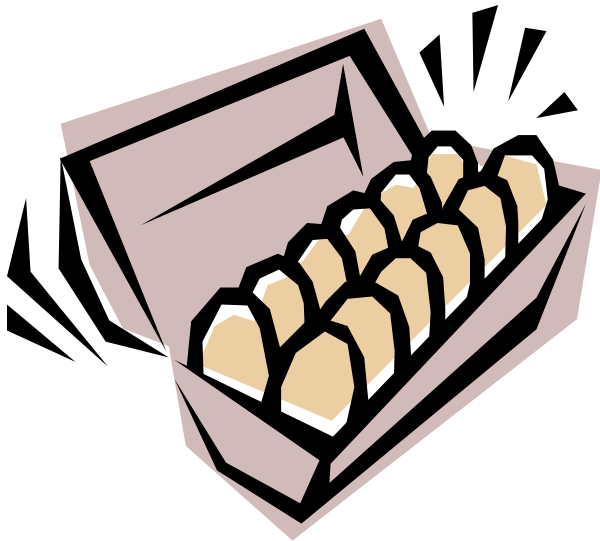
? *Určete neznámý prvek X, je-li hodnota M_r jeho bromidu o vzorci XBr_3 asi 252 .*

$$A_r(\text{Br}) = 75$$

! Z definice molekulové relativní hmotnosti víme, že $M_r(XBr_3) = A_r(X) + 3 \cdot A_r(\text{Br})$. Ze zadání známe hodnotu M_r a z tabulky zjistíme, že hodnota $A_r(\text{Br}) = 75$. Po dosazení tedy zjistíme $A_r(X)$: $A_r(X) = 252 - 3 \cdot 75 = \underline{\underline{27}}$. V tabulce najdeme prvek, který má přibližně atomovou relativní hmotnost 27. Vidíme, že je to hliník.

Pojmenování související s množstvím

Tucet = 12



Pár = 2

Napadají Vás nějaká další?

Látkové množství



Soustava má látkové množství jeden mol ($n = 1 \text{ mol}$) právě tehdy, když obsahuje tolik elementárních jedinců, kolik je atomů v 0,012 kg izotopu uhlíku $^{12}_6\text{C}$.

Elementárním jedincem může být cokoliv. Pro naše výpočty to většinou budou molekuly, atomy, ionty. 1 mol je vlastně pouze výraz pro nějaké velké množství. Má stejný význam jako slovo milion, miliarda, bilion atd. Vyjadřuje ovšem mnohem větší číslo.



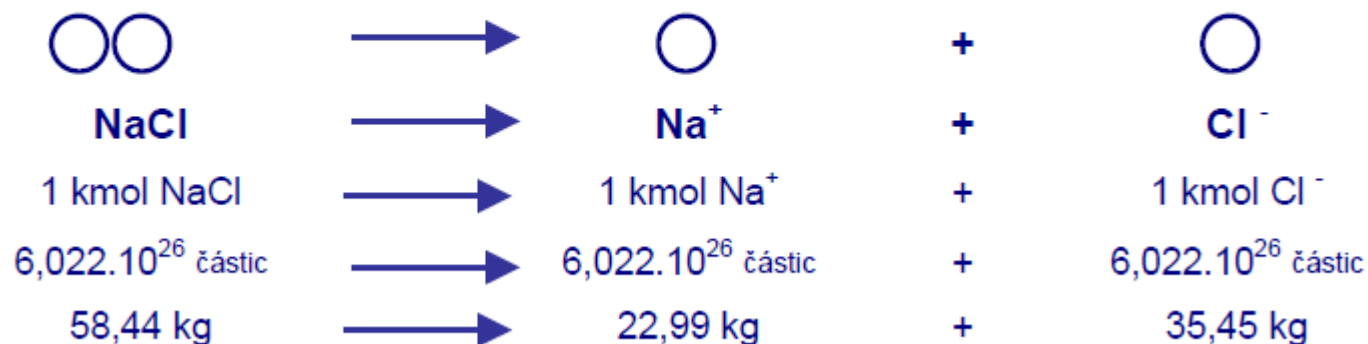
1 mol odpovídá množství asi $6,023 \cdot 10^{23}$ částic. Toto číslo je důležitou fyzikálně-chemickou konstantou. Nazývá se Avogadrova konstanta a značí se N_A .

Avogadrova konstanta [N_A] je dána podílem počtu částic látky N a látkového množství n .

$$N_A = \frac{N}{n} \quad [N_A] = \text{mol}^{-1}$$

- udává počet atomů obsažených ve 12 g $^{12}_6\text{C}$.

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ částic / mol} = 6,022 \cdot 10^{26} \text{ částic / kmol}$$



Kolik je 1 mol?

C



S



Hg



Cu



Fe



? *Představme si, že zrnko mouky má průměrně hmotnost 0,00002 g. Jaké látkové množství zrněk mouky odpovídá vagónu naloženého 50 tunami mouky?*

! 50 t = 50 000 000 g. Vagón tedy obsahuje 50 milionů gramů mouky. Musíme určit, kolik je to zrněk: $50\,000\,000 : 0,00002 = 2\,500\,000\,000\,000$. Látkové množství n určíme jako podíl počtu částic N a Avogadrovy konstanty N_A $n = \frac{2,5 \cdot 10^{12}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 4,15 \cdot 10^{-12}$. Vagón obsahuje asi 0,000 000 000 004 15 mol zrněk mouky.

? *Jakou hmotnost má 1 mol uhlíku?*

! Z definice 1 molu vyplývá, že atomů uhlíku musí být tolik, kolik jich je v 0,012kg uhlíku $^{12}_6C$. Odpověď by tedy mohla být 12 g. Víme však, že přírodní uhlík obsahuje i malé množství těžších izotopů a hmotnost jednoho molu je tak těžší přesně v tom poměru, v jakém je těžší „průměrný přírodní atom“ uhlíku těžší, než izotop $^{12}_6C$. Proto odpovídá A_r uhlíku, tedy podle tabulek 12,011g.

Je zřejmé, že obdobné to bude i u ostatních prvků a sloučenin. Hmotnost jednoho molu dané látky v gramech. Musí odpovídat molekulové (nebo atomové) relativní hmotnosti této látky. Zavádíme proto novou veličinu: **molární hmotnost**.

Molární hmotnost



Molární hmotnost dané látky (M) udává hmotnost jednoho molu této látky. Její jednotkou je $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (gram na mol). Číselná hodnota molární hmotnosti je stejná jako molekulové (nebo atomové) relativní hmotnosti.



Pro hmotnost, látkové množství a molární hmotnost platí: $n = \frac{m}{M}$.

? *Jakou hmotnost má 5 mol hydroxidu sodného?*

! $M_r(\text{NaOH}) = 23+16+1=40$. $M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Podle zadání je $n(\text{NaOH}) = 5 \text{ mol}$.
Jestliže $n = \frac{m}{M}$, pak $m = n \cdot M = 5 \cdot 40 = 200 \text{ g}$.

Molární objem



1 mol (ideálního) plynu má za normálních podmínek objem asi $22,4 \text{ dm}^3$. Tento objem se nazývá molární objem a značí se V_n . ($V_n = 22,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)



Pro objem a látkové množství daného plynu platí: $V = n \cdot V_n$.

Molární objem $[V_m]$ vyjadřuje objem, který zaujímá jeden mol dané látky za stanovených teplotních a tlakových podmínek.

$$V_m = \frac{V}{n} \quad [V_m] = \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

Standardní molární objem $[V_m^\circ]$ je objem jednoho molu ideálního plynu za standardních podmínek, tj. tlaku $p_o = 101\,325 \text{ Pa}$ a teploty $T_o = 273,15 \text{ K}$. Číselná hodnota tohoto objemu je $V_m^\circ = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$. V_m° je konstanta plynoucí z Avogadrova zákona, podle něhož platí, že stejné objemy plynů za stejných stavových podmínek obsahují stejný počet molekul.

? *Jakou hmotnost má oxid uhličitý o objemu 1 m^3 za normálních podmínek?*

! $V(\text{CO}_2) = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$, $M(\text{CO}_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Látkové množství oxidu uhličitého určíme ze vztahu $V = n \cdot V_n$, tedy $n = \frac{V}{V_n}$. Jestliže $n = \frac{m}{M}$, pak platí, že

$$m = n \cdot M = \frac{V}{V_n} \cdot M = \frac{1000}{22,4} \cdot 44 \doteq 1964 \text{ g}.$$


? *Jaký objem zabere 50 g vodíku?*

! $m(\text{H}_2) = 50 \text{ g}$, $M(\text{H}_2) = 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. $V = n \cdot V_n = \frac{m}{M} \cdot V_n = \frac{50}{2} \cdot 22,4 = 560 \text{ dm}^3$.


Příklady

- 1) Určete molární hmotnost ethanolu, síranu sodného a oxidu křemičitého.
- 2) Určete látkové množství 20 g kyseliny sírové.
- 3) Určete hmotnost chloridu draselného o látkovém množství 3 mol.
- 4) Jaký objem zaujme 10 g chloru za normálních podmínek?
- 5) Jakou hmotnost má $0,5 \text{ m}^3$ kyslíku za normálních podmínek?
- 6) Máte 10 g síry. Kolik g železa je třeba navážit, aby jeho látkové množství bylo stejné?
- 7) Jaký objem zaujímá 10 mol vody? ($\rho(H_2O) \doteq 1 \text{ g.cm}^{-3}$)
- 8) Určete hustotu ethanolu, jestliže 50 cm^3 této látky představuje 0,8576 mol.

Hmotnostní zlomek

 **Hmotnostní zlomek (w) části jistého celku je poměr hmotnosti této části ku hmotnosti celku, která tuto část obsahuje - $w = \frac{m(\text{část})}{m(\text{celek})}$.**

Hmotnostní zlomek je bezrozměrná veličina dosahující hodnot od 0 do 1. Někdy bývá po vynásobení 100 vyjádřena v procentech.

 **Hmotnostní zlomek je též jedním ze způsobů vyjádření koncentrace roztoků. $w(\text{rozp. látky}) = \frac{m(\text{rozp. látky})}{m(\text{roztoku})}$. Po vynásobení 100 se vyjadřuje v procentech.**

Uvědomte si, že hmotnost roztoku je součet hmotností rozpuštěné látky i rozpouštědla!

Promile
Ppm, ppb

Př.2/IV: Kolik tun železa lze maximálně získat z 50 t Fe_2O_3 ?



$$w_{\text{Fe}} = \frac{2 * M_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = \frac{2 * 55,85 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{159,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0,699 \text{ (viz předchozí příklad)}$$

Výpočet hmotnosti železa: $m_{\text{Fe}} = ?$

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 50 \text{ t} \quad w_{\text{Fe}} = 0,699$$

$$w_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \Rightarrow m_{\text{Fe}} = w_{\text{Fe}} * m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,699 * 50 \text{ t} = 35 \text{ t}$$

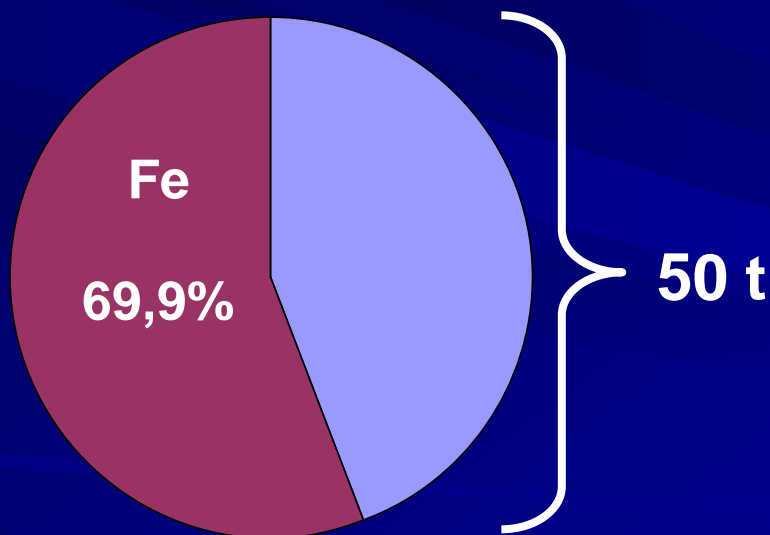
Z 50 t Fe_2O_3 lze teoreticky získat 35 t Fe.

Př.2/IV: Kolik tun železa lze maximálně získat z 50 t Fe_2O_3 ?



Výpočet hmotnosti železa ÚVAHOU $m_{\text{Fe}} = ?$

$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 50 \text{ t}$ $w_{\text{Fe}} = 0,699$ (= 69,9%) – viz předchozí výpočet



$$\begin{array}{r} 50\text{t} \dots\dots\dots 100\% \\ x \text{ t} \dots\dots\dots 69,9\% \\ \hline \end{array}$$

$$x = 50\text{t} * \frac{69,9}{100} = 35\text{t}$$

Z 50 t Fe_2O_3 lze teoreticky získat 35 t Fe.

? *Kolika procentní roztok vznikne rozpuštěním 2g chloridu sodného v 60 cm³ vody?*

!
$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{roztoku})} = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaCl})} = \frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaCl})} =$$

$$= \frac{2\text{g}}{60\text{g} + 2\text{g}} \doteq 0,0322. \text{ Uvedený roztok je asi } 3,22 \text{ \%}.$$

? *Kolik bromidu draselného je třeba rozpustit ve 100 cm³ vody, máte-li připravit 20 % roztok?*

!
$$w(\text{KBr}) = \frac{m(\text{KBr})}{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{KBr})}, \text{ tedy } 0,2 = \frac{m(\text{KBr})}{100\text{g} + m(\text{KBr})}.$$

? *Určete hmotnostní zlomek železa v jisté železné rudě, je-li v 10 kg této rudy obsaženo asi 7 240 g železa.*

! $w(Fe) = \frac{m(Fe)}{m(ruda)} = \frac{7240g}{10000g} = 0,724$. Železná ruda tedy obsahuje 72,4% železa.

? *Kolik hliníku lze získat z jedné tuny bauxitu, je-li jeho hmotnostní zlomek v této rudě přibližně $w \doteq 0,47$?*

! $m(Al) = w(Al) \cdot m(bauxit) = 0,47 \cdot 1000kg = 470kg$.

? *V jakém množství sirouhlíku musíme rozpustit 10g síry, aby $w(S) = 0,1$? (Hustota sirouhlíku je $1,26 \text{ g.cm}^3$)*

! $w(S) = \frac{m(S)}{m(\text{CS}_2) + m(S)}$, tedy $0,1 = \frac{10\text{g}}{m(\text{CS}_2) + 10\text{g}}$. Postupně vyjádříme hmotnost sirouhlíku:

$$0,1 \cdot (m(\text{CS}_2) + 10\text{g}) = 10\text{g}$$

$$0,1 \cdot m(\text{CS}_2) + 1\text{g} = 10\text{g}$$

$$0,1 \cdot m(\text{CS}_2) = 9\text{g}$$

$$m(\text{CS}_2) = 90\text{g}, \text{ a tedy } V(\text{CS}_2) = \frac{m(\text{CS}_2)}{\rho(\text{CS}_2)} = \frac{90\text{g}}{1,26\text{g.cm}^{-3}} \doteq 71,4\text{cm}^3.$$

Objemový zlomek

$$\varphi(A) = \frac{V(A)}{V}$$

poměr objemů, hlavně plyny

V jakém objemu vzduchu je za standardních podmínek obsažen dusík o hmotnosti 20 kg? Objemový zlomek dusíku ve vzduchu je 78,09 %.

Nejprve zjistíme látkové množství dusíku o hmotnosti 20 kg podle vztahu: $n = \frac{m}{M}$

$$n(\text{N}_2) = \frac{20}{28,01 \cdot 10^{-3}}$$

$$n(\text{N}_2) = \underline{714} \text{ mol}$$

Dále vypočteme objem daného množství dusíku za s.p. podle vztahu : $V = n \cdot V_m^\circ$

$$V(\text{N}_2) = 714 \cdot 22,41 \cdot 10^{-3}$$

$$V(\text{N}_2) = \underline{16} \text{ m}^3$$

A na závěr vypočteme objem vzduchu z objemového zlomku pro dusík : $\varphi_A = \frac{V_A}{V_S}$

$$V_S = \frac{16}{0,7809}$$

$$V_S = \underline{20,49} \text{ m}^3$$

Dusík o hmotnosti 20 kg je za s.p. obsažen ve 20,49 m³ vzduchu.

Stanovení empirického vzorce

Analýzou sloučeniny bylo zjištěno její hmotnostní složení: 32,86 % sodíku, 12,88% hliníku a 54,26 % fluoru. Odvoďte empirický vzorec sloučeniny.

Obecný vzorec sloučeniny je $\text{Na}_x\text{Al}_y\text{F}_z$ a pro poměr $x : y : z$ využijeme vztah

$$x : y : z = \frac{W_{\text{Na}}}{A_r(\text{Na})} : \frac{W_{\text{Al}}}{A_r(\text{Al})} : \frac{W_{\text{F}}}{A_r(\text{F})}, \text{ do kterého dosadíme}$$

$$x : y : z = \frac{32,86}{22,9898} : \frac{12,88}{26,9815} : \frac{54,26}{18,9984} = 1,4293 : 0,4774 : 2,8560$$

Nyní upravíme poměr vydělením nejmenším členem poměru a upravíme na poměr nejmenších celých čísel.

$$x : y : z = 2,9939 : 1 : 5,9825 = \underline{\underline{3 : 1 : 6}}$$

Empirický vzorec sloučeniny je Na_3AlF_6 .

Výpočty z chemických vzorců

? *Určete hmotnostní zlomek hliníku v oxidu hlinitém.*

$$! \quad w(\text{Al}) = \frac{2 \cdot M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{2 \cdot 27}{102} \doteq 0,53$$

? *Určete hmotnostní zlomek vody v modré skalici (pentahydrát síranu měďnatého).*

$$! \quad w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5 \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{5 \cdot (2 \cdot 1 + 16)}{64 + 32 + 4 \cdot 16 + 5 \cdot (2 \cdot 1 + 16)} = 0,36.$$

Výpočet procentového složení sloučeniny

? *Jaké je procentuální zastoupení jednotlivých prvků ve sloučenině KSO_3NH_2 ?*

! $M(KSO_3NH_2) = 39 + 32 + 3 \cdot 16 + 14 + 2 \cdot 1 = 135 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$w(K) = \frac{39}{135} \doteq 0,29. \text{ Obsah draslíku je asi 29 \%}.$$

$$w(S) = \frac{32}{135} \doteq 0,24. \text{ Obsah síry je asi 24 \%}.$$

$$w(O) = \frac{3 \cdot 16}{135} \doteq 0,36. \text{ Obsah kyslíku je asi 36 \%}.$$

$$w(N) = \frac{14}{135} \doteq 0,1. \text{ Obsah dusíku je asi 10 \%}.$$

$$w(H) = \frac{2 \cdot 1}{135} \doteq 0,01. \text{ Obsah vodíku je asi 1 \%}.$$

? *Jaký bude hmotnostní zlomek síranu měďnatého v roztoku, který vznikne rozpuštěním 50 g modré skalice v 450 g vody?*

! $m(\text{roztok}) = 50 + 450 = 500\text{g}$. Musíme si ovšem uvědomit, že hmotnost síranu měďnatého není 50g, ale méně, protože modrá skalice obsahuje ještě vodu

(pentahydrát síranu měďnatého). Nejprve určíme hmotnostní zlomek síranu měďnatého v modré skalici: $w_1(\text{CuSO}_4) = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{160}{250} = 0,64$. Podle

definice je $w_1(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}$, tedy $0,64 = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{50\text{g}}$. Odtud plyne, že

$m(\text{CuSO}_4) = 0,64 \cdot 50\text{g} = 32\text{g}$. Nyní můžeme vypočítat hmotnostní zlomek síranu

měďnatého v roztoku: $w_2(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(\text{roztoku})} = \frac{32}{500} = 0,064$.

Procvičování

- 9) Jaký je hmotnostní zlomek hydroxidu draselného v roztoku, který vznikl rozpuštěním 50 g této látky ve 150 g vody?
- 10) Kolik gramů jodidu draselného je rozpuštěno v roztoku, jehož hmotnostní zlomek je 0,05, bylo-li pro jeho přípravu použito 90g vody?
- 11) Sloučenina boru a vodíku obsahuje 78,14% boru a 21,86% vodíku. Molární hmotnost této sloučeniny je $27,67 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Vypočítejte sumární vzorec sloučeniny.
- 12) Jaký objem vody bude třeba, aby z 16 g manganistanu draselného byl připraven 2 % roztok této soli?
- 13) Kolik procent síranu železnatého obsahuje jeho heptahydrát (zelená skalice)?
- 14) Kolik gramů uhličitanu draselného se vyloučí odpařením veškeré vody z 500 cm^3 20% roztoku? (Hustota 20 % roztoku je $1,1898 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
- 15) Kolik železa se získá zpracováním 10 t železné rudy o vzorci Fe_3O_4 , jestliže tato ruda obsahuje navíc ještě 10 % nečistot?
- 16) Jaký je hmotnostní zlomek roztoku, který vznikl z 200 g již připraveného roztoku HCl o hmotnostním zlomku 0,15 a dalších 95 cm^3 vody?

Koncentrace roztoků



Molární koncentrace (c) udává, jaké látkové množství rozpuštěné látky se vyskytuje v 1 dm^3 roztoku: $c(\text{rozp. látky}) = \frac{n(\text{rozp. látky})}{V(\text{roztoku})}$. Jednotkou molární koncentrace je mol.dm^{-3} .

Zejména ve starší literatuře, ale především v laboratorní praxi i dnes se můžeme běžně setkat s tím, že jednotka mol.dm^{-3} se nahrazuje velkým písmenem **M**. Tento způsob sice není formálně zcela správný, ale stále se používá. Pro pochopení je uvedeno několik příkladů:

Roztok o koncentraci ..	Starší značení (a název)
.. $c = 1 \text{ mol.dm}^{-3}$	1M roztok (jednomolární roztok)
.. $c = 2 \text{ mol.dm}^{-3}$	2M roztok (dvoumolární roztok)
.. $c = 0,5 \text{ mol.dm}^{-3}$	0,5M roztok (půlmolární roztok)
.. $c = 0,1 \text{ mol.dm}^{-3}$	0,1M roztok (desetinomolární roztok)
.. $c = x \text{ mol.dm}^{-3}$	xM roztok (x-molární roztok nebo roztok o molaritě x)

? *Jakou molární koncentraci má roztok síranu sodného, jestliže je v 200cm^3 roztoku rozpuštěno 5g této soli?*

! $V(\text{roztoku}) = 0,2\text{ dm}^3$. Tento převod jednotek je vždy nutný! Molární koncentrace se v praxi nikdy neuvádí v $\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$. Látkové množství síranu sodného vypočítáme podle známého vzorce: $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \frac{5}{142} \doteq 0,035\text{ mol}$. Nyní zbývá vypočítat

molární koncentraci dle definice: $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{V(\text{roztoku})} = \frac{0,035}{0,2} = 0,175\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

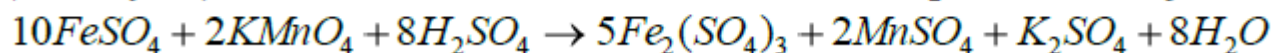
? *Kolik gramů chloridu amonného je třeba k přípravě 300 cm^3 jeho roztoku o molární koncentraci $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,5\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$?*

! Z definice c plyne, že $n(\text{NH}_4\text{Cl}) = c(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot V(\text{roztoku}) = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15\text{ mol}$. A pak vypočítáme hmotnost: $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = n(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot M(\text{NH}_4\text{Cl}) \doteq 0,15 \cdot 53 = 7,95\text{ g}$.

? *Kolik chloridu sodného je třeba k přípravě 100cm³ 3M roztoku?*

! $m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = c(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M(\text{NaCl}) = 3 \cdot 0,1 \cdot 58,5 = 17,55\text{g}$

? *Kolik cm³ 0,1M roztoku manganistanu draselného je potřeba, aby bylo kvantitativně (bezezbytku) zoxidováno 50 cm³ 0,1M roztoku FeSO₄ podle následující rovnice:*



! Nejprve musíme určit, jaké látkové množství síranu železnatého má být zoxidováno: $n(\text{FeSO}_4) = c(\text{FeSO}_4) \cdot V(\text{roztoku FeSO}_4) = 0,1 \cdot 0,05 = 0,005\text{mol}$. Z uvedené rovnice (u jednoduchých rovnic nebude jejich sestavení součástí zadání) vyplývá, že na každých 10 mol FeSO₄ připadají 2 mol KMnO₄, tedy pětkrát méně. Odtud plyne, že $n(\text{KMnO}_4) = \frac{1}{5} \cdot n(\text{FeSO}_4) = 0,001\text{mol}$. Nyní již je možno vypočítat potřebný objem

roztoku KMnO₄: $V(\text{roztoku KMnO}_4) = \frac{n(\text{KMnO}_4)}{c(\text{KMnO}_4)} = \frac{0,001}{0,1} = 0,01\text{dm}^3 = 10\text{cm}^3$.

? *Jaký je hmotnostní zlomek 1,673M roztoku kyseliny dusičné? (hustota uvedeného roztoku je 1,0543 g.cm⁻³)*

! $w(HNO_3) = \frac{m(HNO_3)}{m(\text{roztoku})} = \frac{n(HNO_3) \cdot M(HNO_3)}{m(\text{roztoku})}$. Za látkové množství můžeme

dosadit ze vztahu pro molární koncentraci $c = \frac{n}{V}$, a proto $n = c \cdot V$. Za hmotnost roztoku můžeme dosadit ze vztahu $m = \rho \cdot V$. Dostaneme tak následující vztah:

$$w(HNO_3) = \frac{c(HNO_3) \cdot V(\text{roztoku}) \cdot M(HNO_3)}{\rho(\text{roztoku}) \cdot V(\text{roztoku})} = \frac{c(HNO_3) \cdot M(HNO_3)}{\rho(\text{roztoku})}$$
. Než do něho

dosadíme, musíme si uvědomit, v jakých jednotkách jsou jednotlivé veličiny obvykle vyjádřeny. M v **g.mol⁻¹**, c v **mol.dm⁻³** a ρ v **g.cm⁻³**. Vidíme, že v molární koncentraci se vyskytují **dm³**, zatímco v hustotě **cm³**! Pokud bychom v této podobě dosadili, obdrželi bychom 1000x větší hodnotu, než odpovídá skutečnosti. Musíme tedy buď převést hustotu ($1,0543 \text{g.cm}^{-3} = 1054,3 \text{g.dm}^{-3}$), nebo molární koncentraci ($1,673 \text{mol.dm}^{-3} = 0,001673 \text{mol.cm}^{-3}$) a poté dosadit:

$$w(HNO_3) = \frac{1,673 \text{mol.dm}^{-3} \cdot 63 \text{g.mol}^{-1}}{1054,3 \text{g.dm}^{-3}} \doteq 0,1$$
. Jedná se tedy o desetiprocentní roztok.



Pro přepočet molární koncentrace látky A na hmotnostní zlomek platí následující

vzorec: $w(A) = \frac{c(A) \cdot M(A)}{\rho(\text{roztoku})}$. Přitom musí být jednotky upraveny takto: molární

koncentrace v mol.dm^{-3} , molární hmotnost v g.mol^{-1} a hustota v g.dm^{-3} !

? Roztok uhličitanu sodného má molární koncentraci $c = 0,495 \text{ mol.dm}^{-3}$. Jaký je jeho hmotnostní zlomek? (hustota roztoku je $1,0502 \text{ g.cm}^{-3}$)

!
$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{\rho(\text{roztoku})} = \frac{0,495 \cdot 106}{1050,2} \doteq 0,05 .$$



Pro přepočet hmotnostního zlomku roztoku látky A na molární koncentraci platí

vztah $c(A) = \frac{w(A) \cdot \rho(\text{roztoku})}{M(A)}$. Přitom musí být jednotky upraveny jako

v předcházejícím případě: molární hmotnost v $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ a hustota v $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$!

? *Jaká je molární koncentrace roztoku uhličitanu sodného o hmotnostním zlomku $w=0,14175$, jestliže hustota takového roztoku je $\rho=1,0502\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$?*

! A) Pomocí vztahu: $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,14175 \cdot 1050,2}{106} \doteq 1,4\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$

-

Opakování

- 17) Vypočítejte molární koncentraci roztoku kyseliny bromovodíkové, jestliže 0,2 kg roztoku obsahuje 92,04 g bromovodíku.
- 18) Kolik gramů kyseliny dusičné obsahují 2 litry jejího 1M roztoku?
- 19) Kolik gramů modré skalice (pentahydrát síranu měďnatého) je třeba navážít pro přípravu 250 cm³ 0,1M roztoku?
- 20) Kolik cm³ 0,1M roztoku AgNO₃ musí být přidáno k 15 cm³ 0,3M roztoku KBr, aby se veškeré ionty vysrážely ve formě AgBr?
- 21) Bylo by možné převést veškerou kyselinu sírovou obsaženou v 0,2 dm³ jejího 0,2M roztoku na síran sodný reakcí s 0,9 dm³ 0,1 M roztoku NaOH?
- 22) Z roztoku síranu měďnatého je možno vytěsnit kovovou měď reakcí s práškovým zinkem. Kolik gramů mědi je možno získat reakcí 200 cm³ roztoku síranu měďnatého o $c = 0,8 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ s nadbytkem zinku?

Ředění roztoků – směšovací rovnice



Jestliže smícháme roztok o hmotnosti m_1 a hmotnostním zlomku w_1 s roztokem o hmotnosti m_2 a hmotnostním zlomku w_2 získáme roztok o hmotnosti m_3 a hmotnostním zlomku w_3 . Pro tyto veličiny platí vztah: $m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = m_3 \cdot w_3$. Zároveň je zřejmé, že platí $m_3 = m_1 + m_2$.

? *Jaký roztok síranu měďnatého vznikne smícháním 5g 10% roztoku a 20g 30% roztoku?*

! Dosadíme do zředovací rovnice: $5 \cdot 0,1 + 20 \cdot 0,3 = (5 + 20) \cdot w_3$ a vyjádříme hmotnostní zlomek získaného roztoku: $w_3 = \frac{0,5 + 6}{25} = 0,26$. Získáme 25 g roztoku o hmotnostním zlomku 0,26 (26% roztoku).

? *Kolik 10% a kolik 60% roztoku je třeba k získání 50g 40% roztoku hydroxidu sodného?*

! $m_3 = 50\text{g} = m_1 + m_2$, tedy $m_2 = 50 - m_1$. Po dosazení do zředovací rovnice obdržíme:

$$m_1 \cdot 0,1 + (50 - m_1) \cdot 0,6 = 50 \cdot 0,4$$

$$m_1 \cdot 0,1 + 30 - m_1 \cdot 0,6 = 20$$

$$-0,5 \cdot m_1 = -10$$

$$m_1 = 20\text{g}$$

Odtud plyne, že $m_2 = 50 - 20 = 30\text{g}$.

K získání 50g 40% roztoku hydroxidu sodného potřebujeme smíchat 20g 10% a 30g 60% roztoku této látky.

? *Jaká množství 50% a 98% kyseliny sírové je třeba slít, abychom získali 100 cm³ 80% roztoku. Hustota 50% roztoku $\rho_1=1,395\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 98% roztoku $\rho_2=1,8361\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a 80% roztoku $\rho_3=1,727\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.*

! Dosazením vztahu pro hustotu, objem a hmotnost do zředovací rovnice získáme:

$$V_1 \cdot \rho_1 \cdot w_1 + V_2 \cdot \rho_2 \cdot w_2 = V_3 \cdot \rho_3 \cdot w_3 \quad (1)$$

$$V_3 \cdot \rho_3 = V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2 \quad (2)$$

Ze vztahu (2) vyjádříme součin $V_2 \cdot \rho_2$ a dosadíme do (1):

$$V_1 \cdot \rho_1 \cdot w_1 + (V_3 \cdot \rho_3 - V_1 \cdot \rho_1) \cdot w_2 = V_3 \cdot \rho_3 \cdot w_3 \quad \text{a dosadíme známé hodnoty:}$$

$$V_1 \cdot 1,395 \cdot 0,5 + (100 \cdot 1,727 - V_1 \cdot 1,395) \cdot 0,98 = 100 \cdot 1,727 \cdot 0,8$$

$$V_1 \cdot 0,6975 + 169,246 - V_1 \cdot 1,3671 = 138,16$$

$$-0,6696 \cdot V_1 = -31,086$$

$$V_1 = \frac{-31,086}{-0,6696} \doteq 46,42\text{cm}^3$$

Objem druhého roztoku vypočítáme ze vztahu (2) vyjádřením V_2 :

$$V_2 = \frac{V_3 \cdot \rho_3 - V_1 \cdot \rho_1}{\rho_2} = \frac{100 \cdot 1,727 - 46,42 \cdot 1,395}{1,8361} \doteq 58,79\text{cm}^3$$

100cm³ 80% roztoku kyseliny sírové získáme slitím 46,42cm³ 50% roztoku a 58,79cm³ 98% roztoku této kyseliny.

Všimněte si důležitého faktu. Součet objemů výchozích roztoků je větší než objem roztoku výsledného. Při výpočtu V_2 tedy nemůžeme od hodnoty V_3 pouze odečíst V_1 .

? *Kolik gramů vody je třeba přidat ke 350g 10% roztoku jodidu draselného, aby vznikl 6% roztok?*

! Je-li hmotnost vody m_2 , pak platí, že $m_2 = m_3 - m_1$. Hmotnost původního roztoku známe, chybí nám hmotnost výsledného 6% roztoku. Tu vypočítáme ze zjednodušené zředovací rovnice: $m_3 = \frac{m_1 \cdot w_1}{w_3} = \frac{350 \cdot 0,1}{0,06} \doteq 583,33\text{g}$. Odtud vyplývá, že hmotnost vody musí být $m_2 = m_3 - m_1 = 583,33 - 350 = 233,33\text{g}$.

? *Kolik gramů dusičnanu draselného je třeba přidat ke 100cm^3 10% roztoku, aby vznikl 20% roztok? (Hustota 10% roztoku $\rho_1 = 1,063\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)*

! Můžeme použít úplnou zředovací rovnici, pokud si uvědomíme, že druhým „roztokem“ je čistý dusičnan draselný, a proto je $w_2 = 1$ („100% roztok“).

$$\underbrace{V_1 \cdot \rho_1 \cdot w_1}_{m_1} + m_2 \cdot w_2 = \underbrace{(V_1 \cdot \rho_1 + m_2)}_{m_3} \cdot w_3$$

$$100 \cdot 1,063 \cdot 0,1 + m_2 \cdot 1 = (100 \cdot 1,063 + m_2) \cdot 0,2$$

$$10,63 + m_2 = 21,26 + 0,2 \cdot m_2$$

$$0,8 \cdot m_2 = 10,63$$

$$m_2 = \frac{10,63}{0,8} \doteq 13,29\text{g}$$

? Kolik gramů dihydrátu chloridu barnatého je třeba přidat ke 100cm^3 20% roztoku, aby vznik 30% roztok? (Hustota 20% roztoku $\rho_1=1,203\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

! Musíme si uvědomit, že prvý roztok mísíme s „druhým roztokem“, který má však podobu pevné látky. Jeho hmotnostní zlomek vypočítáme molárních hmotností:

$$w_2 = \frac{M(\text{BaCl}_2)}{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} \doteq \frac{137,3 + 2 \cdot 35,5}{137,3 + 2 \cdot 35,5 + 2 \cdot (2 \cdot 1 + 16)} \doteq 0,85 \quad . \quad \text{Dihydrát chloridu}$$

barnatého lze tedy chápat jako 85% „roztok“ této látky.

$$\underbrace{V_1 \cdot \rho_1 \cdot w_1}_{m_1} + m_2 \cdot w_2 = \underbrace{(V_1 \cdot \rho_1 + m_2)}_{m_3} \cdot w_3$$

$$100 \cdot 1,203 \cdot 0,2 + m_2 \cdot 0,85 = (100 \cdot 1,203 + m_2) \cdot 0,3$$

$$\text{Odtud obvyklými úpravami vyjádříme neznámou } m_2 = \frac{12,03}{0,55} \doteq 21,87\text{g} .$$

Ke 100cm^3 20% roztoku chloridu barnatého musíme přidat 21,87g dihydrátu chloridu barnatého.

Opakování

- 23) Jaký je hmotnostní zlomek 19,07M roztoku hydroxidu sodného, jehož hustota je $1,5253\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$?
- 24) Kolik cm^3 20% roztoku chloridu sodného o hustotě $1,148\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ je třeba k přípravě 250cm^3 desetimolárního roztoku?
- 25) Jaká je molární koncentrace 27% roztoku hydroxidu draselného o hustotě $1,252\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$?
- 26) Na jaký objem je třeba zředit roztok, který vznikl rozpuštěním 50g heptahydrátu síranu zinečnatého ve 250cm^3 vody, aby výsledný roztok síranu byl $0,1\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$?
- 27) Jaký objem 0,1M roztoku kyseliny sírové je možné připravit z 55cm^3 jejího 50% roztoku? ($\rho_{50\%}=1,3951\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
- 28) Kolik cm^3 26% kyseliny fosforečné o hustotě $1,1529\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ je třeba na přípravu 1000cm^3 jejího dvoumolárního roztoku?
- 29) Jaký je hmotnostní zlomek 0,495M roztoku uhličitanu sodného? ($\rho=1,0502\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
- 30) Kolik cm^3 50% roztoku kyseliny dusičné ($\rho=1,31\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a kolik cm^3 vody bude třeba na přípravu 1500cm^3 20% roztoku této kyseliny ($\rho=1,115\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)?

Opakování

- 31) Kolik 60% kyseliny dusičné ($\rho=1,3667\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a kolik 10% roztoku této kyseliny ($\rho=1,0543\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) je třeba smísit pro přípravu 5dm^3 30% roztoku ($\rho=1,18\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)?
- 32) Jaký je hmotnostní zlomek roztoku dusitanu draselného, který vznikl odpařením 200g vody z 650g 6% roztoku?
- 33) Jaké objemy roztoku uhličitanu sodného o hmotnostních zlomcích $w_1=0,05$ ($\rho_1=1,05\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a $w_2=0,14$ ($\rho_2=1,146\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) je třeba smísit pro získání 400cm^3 8% roztoku ($\rho_3=1,082\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
- 34) Kolik gramů modré skalice ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) je třeba rozpustit v 350cm^3 10% roztoku síranu měďnatého, aby vznikl 15% roztok? ($\rho_{10\%}=1,107\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)?
- 35) Na jaký objem je třeba zředit 100cm^3 roztoku žluté krevní soli o koncentraci $c=1\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, aby vznikl roztok půlmolární.
- 36) Jaký roztok vznikne smícháním 100cm^3 16% roztoku hydroxidu sodného ($\rho_1=1,175\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a 200cm^3 42% roztoku ($\rho_2=1,449\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)?