

## 4. Základní chemické výpočty

### Atomová hmotnostní jednotka, relativní atomové a molekulové hmotnosti

Atomová hmotnostní jednotka  $m_u$  se používá k relativnímu porovnání hmotností mikročástic, atomů a molekul a je definována jako  $\frac{1}{12}$  hmotnosti atomu nuklidu  $^{12}_6\text{C}$ :

$$m_u = \frac{1}{12} \cdot m(^{12}_6\text{C}) = 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Srovnáním hmotností atomů konkrétních nuklidů s hmotností  $m_u$  získáváme bezrozměrné veličiny označované jako **relativní atomové hmotnosti**:

$$M_r(^A_z\text{X}) = \frac{m(^A_z\text{X})}{m_u} \quad \left[ \frac{\text{g}}{\text{g}} \right] \text{ ev. } \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right] \text{ ev. } [1]$$

V tabulkách jsou uváděny **střední relativní atomové hmotnosti**  $\overline{M}_r(^A_z\text{X})$  reprezentující přírodní směsi izotopů s přihlédnutím k zastoupení jednotlivých nuklidů. Střední relativní molekulové hmotnosti  $\overline{M}_r(M)$  pak obvykle získáváme jako součet  $\overline{M}_r(^A_z\text{X})$  jednotlivých atomů tvořících molekulu:

$$\overline{M}_r(M) = \sum \overline{M}_r(X)$$

### Mol jako jednotka látkového množství a vybrané molární veličiny

1 mol je takové **látkové množství**, v němž je obsažen stejný počet elementárních jednotek, entit (atomů, molekul, vzorcových jednotek, chemických ekvivalentů, iontů, elementárních částic, kvant energie apod.), kolik je atomů C ve 0,012 kg uhlíku  $^{12}_6\text{C}$ . Veličiny vztahené na 1 mol látky se nazývají molární.

**Molární hmotnost**  $M$  je hmotnost 1 molu látky a je definována vztahem

$$M = \frac{m}{n}, \text{ kde } m \text{ je hmotnost [kg] a } n \text{ je počet molů [mol]}$$

Dosud se molární hmotnosti běžně užívají v rozměru  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Počet částic v 1 molu látky**  $N_A$  se nazývá **Avogadrova konstanta**:

$$N_A = \frac{N}{n} = 6,02205 \cdot 10^{+23} \text{ mol}^{-1}, \text{ kde } N \text{ je počet částic.}$$

Pokusíme se krátce naznačit vztah  $m_u$  a  $N_A$ , z čehož současně vyplýne vztah  $M_r$  a  $M$ . Vypočítáme s použitím obou veličin hmotnost jedné částice, nejlépe atomu:

$$m = M_r(X) \cdot m_u$$

Srovnáním látkového množství vyjádřeného jednak pomocí hmotnosti, jednak pomocí počtu částic je

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, \quad N = 1 \text{ atom}$$

z toho  $M_r(X) \cdot m_u = \frac{M}{N_A}$ , a tedy

$$M = M_r(X) \cdot m_u \cdot N_A$$

O vztahu  $M$  a  $M_r(X)$  rozhoduje velikost součinu  $m_u \cdot N_A$

Dosadíme-li z definice za  $m_u = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C})$  a uvědomíme-li si, že  $N_A$  atomů  ${}^{12}_6\text{C}$  je právě

1 mol, který je definován na 0,012 kg = 12 g uhlíku, je součin

$$m_u \cdot N_A = 1, \text{ je-li hmotnost } m \text{ vyjádřena v [g].}$$

Je tedy  $m_u = \frac{1}{N_A}$  [g] a současně plyne, že

$$|M| = |M_r(X)|, \text{ numericky jsou obě veličiny shodné, liší se pouze rozměrem.}$$

**Standardní molární objem**  $V_m^0$  ideálního plynu je objem 1 molu ideálního plynu za standardních (normálních) podmínek, kterými jsou:  $T_0 = 273,15 \text{ K}$  ( $0^\circ\text{C}$ ),  $p_0 = 101325 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$  (dříve 1 fyzikální atmosféra dělená na 760 Torr) :

$$V_m^0 = \frac{V^0}{n} = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \text{ příp. } 22,41 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1},$$

kde  $V_0$  je objem plynu za standardních podmínek.

Je na místě poznamenat, že ideální plynu je vlastně modelová představa předpokládající, že částice plynu jsou bodové útvary (s nulovým objemem), které na sebe vzájemně nepůsobí žádnými silami. Reálné plyny se svým chováním blíží plynu ideálnímu obecně za nízkých tlaků a vysokých teplot.

Všechny uvedené definice molárních veličin poslouží dobře k určování látkového množství (počtu molů) v soustavách, což bude všestranně použitelné pro výpočty:

$$n = \frac{m}{M} \quad n = \frac{V^0}{V_m^0} \quad n = \frac{N}{N_A}$$

Stav ideálního plynu za obecných podmínek  $p$ ,  $T$ ,  $V$  popisuje stavová rovnice:

$$pV = nRT$$

V ní  $R$  je tzv. univerzální plynová konstanta, jejíž hodnota vyplývá ze vztahu

$$R = \frac{p_0 V_m^0}{T_0} = 8,3144 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \left[ \frac{(\text{N}\cdot\text{m}^{-2}) \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})}{\text{K}} \right]$$

Pro účely chemických výpočtů lze stavovou rovnici použít též k určení látkového množství  $n$ , lze však s její pomocí dokázat i některé zákony využívané ve výpočtech:

**Objemový zákon:** slučují se dva nebo více plynů beze zbytku, pak poměr jejich objemů za týchž teplot a tlaků představuje malá celá čísla.

**Avogadrův zákon:** stejné objemy plynů obsahují za stejných teplot a tlaků stejný počet molekul.

Obě zákonitosti plynou z přímé úměry mezi objemem  $V$  a látkovým množstvím (a tedy i počtem částic  $N$ ), jak je zřejmé ze stavové rovnice.

Příklady:

4/1: Vypočítejte hmotnost 1 atomu zlata, je-li  $M(\text{Au}) = 197,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Z definice  $M_r$  plyne, že

$${}^1m = m_u \cdot M_r(\text{Au}) = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} \cdot 197,2 = 3,27 \cdot 10^{-22} \text{ g}.$$

Stejný výsledek dostaneme s použitím látkového množství, pro hmotnost je

$$m = n \cdot M = \frac{N}{N_A} \cdot M_u$$

$$\text{Pro } N = 1 \text{ je } m = \frac{M(\text{Au})}{N_A} = \frac{197,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 3,27 \cdot 10^{-22} \text{ g}$$

4/2: Vypočítejte hmotnost 1 molekuly ozonu  $\text{O}_3$ .  $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Z obou postupů naznačených v příkladu 4/1 uvádíme již jen druhý:

$$m = \frac{M(\text{O}_3)}{N_A} = \frac{3 \cdot 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 7,96 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

4/3: Zjistěte počet atomů Hg v 1 ml kapalné rtuti, která má specifickou hmotnost  $13,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .  $M(\text{Hg}) = 200,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$m_{\text{Hg}} = V \cdot \rho = 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$N = n \cdot N_A, \text{ z toho } N = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{13,6 \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{200,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4,08 \cdot 10^{22} \text{ atomů Hg}$$

4/4: Určete, kolik molekul dusíku  $\text{N}_2$  je obsaženo za standardních podmínek v 1 ml tohoto plynu.

Počet částic vyjádříme pomocí látkové množství dusíku, za něž dosadíme:

$$N = n \cdot N_A, \text{ z toho}$$

$$N = \frac{V^0}{V_m^0} \cdot N_A = \frac{10^{-3} \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 2,69 \cdot 10^{19} \text{ molekul } \text{N}_2$$

4/5: Jaký objem za standardních podmínek zaujímá 10 g vodíku  $\text{H}_2$  ?

$$V^0 = n \cdot V_m^0, \text{ po dosazení } V^0 = \frac{m}{M(\text{H}_2)} \cdot V_m^0 = \frac{10 \text{ g}}{2,016 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \cdot 22,41 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 111,16 \text{ dm}^3$$

4/6: Kolik litrů  $\text{O}_2$  (měřeno za standardních podmínek) vznikne rozkladem 20 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  na vodu a kyslík?

Z rovnice rozkladu



z toho

$$m(\text{H}_2\text{O}_2) : M(\text{H}_2\text{O}_2) = 2V^0 : V_m^0$$

$$V^0 = \frac{m}{2 \cdot M(\text{H}_2\text{O}_2)} \cdot V_m^0 = \frac{20 \text{ g}}{2 \cdot 34 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \cdot 22,41 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 6,69 \text{ dm}^3 \text{ O}_2 \text{ (litrů O}_2)$$

Úkoly:

4/7: Jakou hmotnost v gramech má a) jeden atom hořčíku, ( $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )  
b) jedna molekula methanu.

4/8: Kolik atomů Zn je obsaženo v 10 gramech tohoto kovu?  $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

4/9: Kolik molekul  $\text{Br}_2$  je obsaženo v 5 ml kapalného bromu ( $M(\text{Br}) = 79,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ), je-li specifická hmotnost  $\text{Br}_2(l) = 3,12 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ?

4/10: Kolik molekul kyslíku je obsaženo v 5 litrech plynného kyslíku za standardních podmínek?

4/11: Kolik molekul je obsaženo ve 20 g  $\text{CO}_2$  a jaký objem za standardních podmínek toto množství plynu zaujímá?

## Určování empirického vzorce a výpočty podle empirického vzorce

Jak již bylo uvedeno ve 3. kapitole, empirický (stechiometrický, sumární) vzorec se odvozuje z výsledků chemické analýzy a představuje nejjednodušší celistvý poměr počtu atomů prvků zastoupených ve sloučenině. Protože poměr počtu atomů a poměr počtu molů atomů je shodný, můžeme na určování koeficientů  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ve stochiometrickém vzorci  $A_xB_yC_z$  pohlížet jako na určování počtu molů zastoupených prvků  $A$ ,  $B$ ,  $C$  v libovolném množství této sloučeniny:

$$x : y : z = \frac{m_A}{M(A)} : \frac{m_B}{M(B)} : \frac{m_C}{M(C)}$$

Jsou-li výsledky chemické analýzy prezentovány jako hmotnostní zlomky  $w_i$  (viz níže, lze si ve zvoleném množství látky (např. v 1 g) snadno představit, že hmotnostní zlomek reprezentuje  $w_i$  namísto hmotností  $m_i$ , zůstává tedy poměr zachován :

$$x : y : z = \frac{w_A}{M(A)} : \frac{w_B}{M(B)} : \frac{w_C}{M(C)}$$

Po výpočtu členů poměru upravíme poměr vydělením nejmenším členem poměru a výsledek podle potřeby ještě upravíme rozšířením.

Příklady:

4/12: Sloučenina železa a síry obsahuje 53,73 % Fe a 46,27 % S.

Určete její empirický vzorec.

$$x : y = \frac{w(Fe)}{M(Fe)} : \frac{w(S)}{M(S)} = \frac{0,5373}{55,85} : \frac{0,46327}{32,06} = 0,00962 : 0,01443 = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

Empirický vzorec je  $Fe_2S_3$ .

4/13: Minerál karnalit obsahuje 14,08 % K, 8,75 % Mg, 38,29 % Cl a 38,88 % vody. Určete jeho empirický vzorec.

Pro  $K_xMg_yCl_z \cdot wH_2O$  je

$$\begin{aligned} x : y : z : w &= \frac{\%K}{M(K)} : \frac{\%Mg}{M(Mg)} : \frac{\%Cl}{M(Cl)} : \frac{\%H_2O}{M(H_2O)} = \frac{14,08}{38,1} : \frac{8,75}{24,3} : \frac{38,29}{35,45} : \frac{38,88}{18,016} = \\ &= 0,36 : 0,36 : 1,09 : 2,16 = 1 : 1 : 3 : 6 \end{aligned}$$

Vzorec je  $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$

4/14: Při organické elementární analýze bylo 0,162 g organické látky spáleno za vzniku 0,235 g  $CO_2$  a 0,112 g  $H_2O$ . Určete její empirický vzorec.

Není-li uvedeno jinak, předpokládáme složení  $C_xH_yO_z$ . Množství vodíku obsažené v látce vypočteme z hmotnosti vzniklé vody:

$$m_H = m_{H_2O} \cdot \frac{2M(H)}{M(H_2O)} = 0,112 \cdot \frac{2,016}{18,016} = 0,0124 \text{ g H}$$

Množství uhlíku, obsažené v látce, vypočteme z hmotnosti vzniklého oxidu uhličitého:

$$m_C = m_{CO_2} \cdot \frac{M(C)}{M(CO_2)} = 0,235 \cdot \frac{12,01}{44,01} = 0,0642 \text{ g C}$$

Množství kyslíku se dopočítá do zadané navážky látky:

$$m_O = 0,162 - (m_H + m_C) = 0,162 - 0,0766 = 0,0854 \text{ g O}$$

$$x : y : z = \frac{m_C}{M(C)} : \frac{m_H}{M(H)} : \frac{m_O}{M(O)} = \frac{0,0642}{12,01} : \frac{0,0124}{1,008} : \frac{0,0854}{16} = 0,00534 : 0,0124 : 0,00534 =$$

$$= 1 : 2,33 : 1 = 3 : 7 : 3$$

Empirický vzorec látky je  $C_3H_7O_3$ .

Při výpočtech podle empirického vzorce vycházíme z názorné představy, že celek reprezentovaný 1 molem látky  $A_xB_yC_z$  o molární hmotnosti  $M(A_xB_yC_z)$  je tvořen součástmi  $x \cdot M(A)$ ,  $y \cdot M(B)$ ,  $z \cdot M(C)$ . Obsah jednotlivých složek v % je pak

$$\%A = \frac{x \cdot M(A)}{M(A_xB_yC_z)} \cdot 100, \quad \%B = \frac{y \cdot M(B)}{M(A_xB_yC_z)} \cdot 100, \quad \%C = \frac{z \cdot M(C)}{M(A_xB_yC_z)} \cdot 100$$

Příklady:

4/15: Kolik % dusíku je obsaženo v dusičnanu amonném?

$$\%N = \frac{2M(N)}{M(NH_4NO_3)} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 14}{80} \cdot 100 = 35\% \quad N$$

4/16: Kolik % vody ztratí sušením pentahydrát síranu měďnatého?

$$\% H_2O = \frac{5 \cdot M(H_2O)}{M(CuSO_4 \cdot 5H_2O)} \cdot 100 = \frac{5 \cdot 18,026}{249,68} \cdot 100 = 36,2\% \quad H_2O$$

4/17: Kolik kg  $P_2O_5$  je formálně obsaženo ve 50 kg  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  ?

1 mol  $P_2O_5$  je obsažen ve 2 molech  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$

$M(P_2O_5)$  .....  $2 \cdot M(CaHPO_4 \cdot 2H_2O)$

$m_{P_2O_5}$  .....  $m_{CaHPO_4 \cdot 2H_2O}$

$$m_{P_2O_5} = \frac{m_{CaHPO_4 \cdot 2H_2O}}{M(CaHPO_4 \cdot 2H_2O)} \cdot \frac{1}{2} \cdot M(P_2O_5) = 50 \cdot \frac{M(P_2O_5)}{2 \cdot M(CaHPO_4 \cdot 2H_2O)} = 50 \cdot \frac{141,9}{2 \cdot 172,1} =$$

počet molů hydrogofosforečnanu                      „přepočítávací faktor“

počet molů  $P_2O_5$

$$= 20,6 \text{ kg } P_2O_5$$

Složení „přepočítávacího faktoru“ stojí za krátké zobecnění:

- v čitateli je vždy molární hmotnost látky, kterou výpočtem hledáme, ve jmenovateli molární hmotnost látky, z níž při výpočtu vycházíme,
- molární hmotnosti jsou brány tolikrát, aby ve faktoru byl v čitateli i ve jmenovateli stejný počet atomů klíčového prvku.

V našem případě jsou v čitateli i jmenovateli zastoupeny molární hmotnosti 2 molů P. Řada „přepočítávacího faktorů“ je tabelována. Použití vyplývá i z řešení příkladu 4/14

(výpočet  $m_H$  a  $m_C$ ). V podstatě se jedná o určitý typ údaje o složení, jmenovitě o tzv. hmotnostní zlomek  $w_i$ , o němž bude pojednáno v další subkapitole.

Úkoly:

- 4/18: Určete empirický vzorec látky, která obsahuje 70,43 % Pb, 10,53 % P a 19,04 % O.
- 4/19: 20 g hydratovaného síranu manganatého ztratilo sušením veškerou krystalovou vodu a zbylo 13,54 g bezvodého síranu manganatého. Vypočtete, s kolika molekulami vody krystalizuje  $MnSO_4$  (vzorec  $MnSO_4 \cdot xH_2O$ ).
- 4/20: 2 g organické látky (C, H, O) poskytly spálením 2,933 g  $CO_2$  a 1,200 g  $H_2O$ . Určete empirický vzorec látky.
- 4/21: Kolik hmotnostních % Fe obsahuje sloučenina  $Fe_3O_4$  a kolik kg Fe lze teoreticky získat redukcí 1 tuny této sloučeniny?
- 4/22: Kolik g  $Mg_2P_2O_7$  zbude po vyžhání 5 g  $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$  ?
- 4/23: Kolik hmotnostních procent  $P_2O_5$  obsahuje teoreticky superfosfát, který lze přibližně pokládat za směs, v níž na 3 moly  $Ca(H_2PO_4)_2$  připadá 7 molů  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

Poznámka: Potřebné molární hmotnosti naleznete v tabulkách.

## Roztoky a koncentrace

**Roztok** je homogenní soustava tvořená alespoň dvěma složkami. **Koncentrace** je mírou relativního složení roztoku a podle zvolených jednotek k vyjádření složení dostáváme jednotlivé typy vyjádření koncentrace. Pro kapalné roztoky, jejichž využití v laboratorní praxi je nejhojnější, jsou nejvíce používány údaje o koncentraci **hmotnostní zlomek** a **procento** a **látková koncentrace**, dříve označována jako molární koncentrace nebo molarita.

**Hmotnostní zlomky**  $w_i$ :  $m_i$  jsou hmotnosti složek směsi

$$w_A = \frac{m_A}{\sum_i m_i} = \frac{m_A}{m_{sm.}}, \quad c\% \text{ hm.}(A) = 100 \cdot w_A \quad [1]$$

**Látková koncentrace:**

$$c_A = \frac{n_A}{V_s} \quad [mol \cdot dm^{-3}]$$

kde  $n_A$  je látkové množství rozpuštěné látky A a  $V_s$  je objem **roztoku**.

Příklady:

4/24: Vypočtete hmotnosti složek na přípravu 250 g 15% roztoku NaCl.

$$m(\text{NaCl}) = m_s \cdot w_{\text{NaCl}} = 250 \cdot 0,15 = 37,5 \text{ g NaCl}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 250 - 37,5 = 212,5 \text{ g H}_2\text{O}$$

4/25: Jakou hmotnost  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  a jaký objem vody je třeba použít k přípravě 200 g 20% roztoku  $FeSO_4$ ?

$$m_{FeSO_4} = m_s \cdot w_{FeSO_4} = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ g } FeSO_4$$

1 mol  $FeSO_4$  je obsažen v 1 molu  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , z toho  $n(FeSO_4) = n(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$  a

$$m_{FeSO_4 \cdot 7H_2O} = 40 \cdot \frac{M(FeSO_4 \cdot 7H_2O)}{M(FeSO_4)} = 40 \cdot \frac{278}{151,9} = 73,2 \text{ g } FeSO_4 \cdot 7H_2O$$

$$m_{H_2O} = 200 - 73,2 = 126,8 \text{ g vody, } V_{H_2O} = 126,8 \text{ ml}$$

4/26: Jakou hmotnost KOH a jaký objem vody je třeba použít na přípravu 500 ml 20% KOH, jehož specifická hmotnost je  $1,186 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Z objemu roztoku je nezbytné nejprve vypočítat hmotnost:

$$m_s = V_s \cdot \rho = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,186 \cdot 10^3 = 0,593 \text{ kg}$$

$$m_{\text{KOH}} = m_s \cdot w_{\text{KOH}} = 0,593 \cdot 0,20 = 118,6 \text{ g KOH}$$

$$m_{H_2O} = 593 - 118,6 = 474,4 \text{ g, tj. přibližně 474,4 ml vody.}$$

4/27: Jaký objem 65%  $\text{HNO}_3$ ,  $\rho = 1,39$ , a vody je třeba použít na přípravu 1 litru 20% roztoku  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,115$ ).

$$m_s = 1000 \cdot 1,115 = 1115 \text{ g}$$

$$m_{\text{HNO}_3} = 1115 \cdot 0,20 = 223 \text{ g HNO}_3$$

Látka, která není čistá, stoprocentní, je třeba použít úměrně více, v našem případě

$$m(65\% \text{ HNO}_3) = \frac{100}{65} \cdot 223 = 343 \text{ g HNO}_3 \text{ (platí nepřímá úměra), druhá složka se}$$

zásadně dopočítává do hmotnosti celku:  $m_{H_2O} = 1115 - 343 = 772 \text{ g vody}$

$$\text{V objemovém vyjádření: } V_{\text{HNO}_3} = \frac{343}{1,39} = 246,8 \text{ ml } 65\% \text{ HNO}_3$$

$$V_{H_2O} = 772 \text{ ml vody}$$

(Pozn.: objemy nejsou aditivní, při směšování často dochází k objemové kontrakci).

4/28: Jakou hmotnost NaCl je třeba odvážit na přípravu 250 ml roztoku NaCl o látkové koncentraci  $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ?

$$c_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{V_s}, \quad n_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{M(\text{NaCl})}, \text{ spojením dostaneme:}$$

$$m_{\text{NaCl}} = c \cdot V_s \cdot M(\text{NaCl}) = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 58,45 = 1,461 \text{ g NaCl}$$

4/29: Jaký objem 96%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (spec. hmotnost  $1,84 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) je třeba použít k přípravě 2 l roztoku  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o látkové koncentraci  $0,2 \text{ mol} / \text{dm}^3$ ?

Podle zkušeností z příkladů 4/28 a 27 dodržíme následující postup:

$$\boxed{n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \xleftarrow{M} m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \xleftarrow{w} m_{96\% \text{H}_2\text{SO}_4} \xleftarrow{\rho} V_{96\% \text{H}_2\text{SO}_4}}$$

$$n = V_s \cdot c = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ molu } \text{H}_2\text{SO}_4$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n \cdot M = 0,4 \cdot 98,08 = 39,2 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \text{ (čisté)}$$

$$m(96\% \text{ H}_2\text{SO}_4) = 39,2 \cdot \frac{100}{96} = 40,8 \text{ g (opět nepřímá úměra)}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{40,8}{1,84} = 22,2 \text{ ml } 96\% \text{ H}_2\text{SO}_4$$

Úkoly:

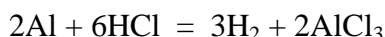
4/30: Jakou hmotnost  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  a jaký objem vody je třeba použít k přípravě 200 g 10% roztoku  $\text{CuSO}_4$ ?

- 4/31: Jakou hmotnost NaOH a jaký objem vody je třeba použít na přípravu 2 litrů 30% roztoku NaOH (spec. hmotnost  $1,328 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )?
- 4/32: Jakou hmotnost  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  je třeba navážít k přípravě 2 litrů 0,1M  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ?
- 4/33: Jaký objem 36% HCl (spec. hmotnost  $1,18 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) je třeba použít k přípravě 5 litrů roztoku HCl o látkové koncentraci  $2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ?

## Výpočty podle chemických rovnic

Stechiometrické koeficienty vystupující u jednotlivých látek ve vyčíslené chemické rovnici neurčují sice absolutní látkové množství reagujících a vznikajících komponent, poskytují ale informaci o jejich **molárním poměru**.

Např. z rovnice



plyne, že **zreagují-li** 2 moly Al, je k tomu **zapotřebí** 6 molů HCl a **vzniknou** při tom 3 moly  $\text{H}_2$  2 moly  $\text{AlCl}_3$ . Toto slovní vyjádření sloužící k sestavení úměry lze vyjádřit i jinak, např.

$$\frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{Al}}} = \frac{3}{2} \quad \text{nebo} \quad \frac{n_{\text{HCl}}}{n_{\text{Al}}} = \frac{6}{2} = 3$$

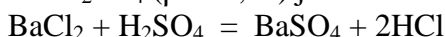
Příklady:

- 4/34: Jaký objem vodíku (měřeno za standardních podmínek) vznikne při rozpouštění 0,2 molu Al v kyselině chlorovodíkové?

$$n_{\text{H}_2} = \frac{3}{2} n_{\text{Al}} = 0,3 \text{ molu } \text{H}_2, \text{ který zaujímá objem}$$

$$V^0 = n \cdot V_m^0 = 0,3 \cdot 22,41 = 6,72 \text{ litrů } \text{H}_2$$

- 4/35: Srážením se má připravit 20 g  $\text{BaSO}_4$ . Jaká hmotnost  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a jaký objem 5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,03$ ) je k tomu třeba?



$$n_{\text{BaSO}_4} = \frac{m}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{20}{233,5} = 0,08565 \text{ molu } \text{BaSO}_4$$

Z rovnice je zřejmé, že  $n_{\text{BaSO}_4} = n_{\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$

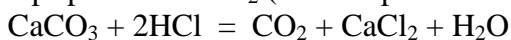
$$m_{\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = n \cdot M(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,08565 \cdot 244,3 = 20,92 \text{ g}$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,08565 \cdot 98,08 = 8,40 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4$$

5% roztoku bude třeba více (opět podle nepřímé úměry), a sice

$$m_{5\% \text{H}_2\text{SO}_4} = 8,40 \cdot \frac{100}{5} = 168 \text{ g}, \quad \text{z toho } V_{5\% \text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{168}{1,03} = 163,1 \text{ ml } 5\% \text{H}_2\text{SO}_4$$

- 4/36: Jakou hmotnost 90%  $\text{CaCO}_3$  a jaký objem 20% HCl ( $\rho = 1,1$ ) je třeba použít k přípravě 10 l  $\text{CO}_2$  (měřeno při tlaku 103 kPa a teplotě  $20^\circ\text{C}$ )?



Ze stavové rovnice zjistíme, jaké látkové množství  $\text{CO}_2$  máme připravit:

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{pV}{RT} = \frac{1,03 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 10^{-2} \text{ m}^3}{8,314 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 293 \text{ K}} = 0,422 \text{ mol}$$

Z rovnice plyne, že počet molů  $\text{CaCO}_3$  má být stejný, počet molů HCl dvojnásobný:



$$a. m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M(\text{CaCO}_3) = 0,422 \cdot 100,1 = 42,3 \text{ g čistého CaCO}_3$$

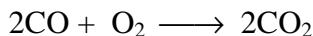
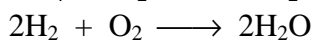
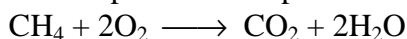
$$m_{90\% \text{ CaCO}_3} = 42,3 \cdot \frac{100}{90} = 47 \text{ g}$$

$$b. m_{\text{HCl}} = n_{\text{HCl}} \cdot M(\text{HCl}) = 0,844 \cdot 36,45 = 30,8 \text{ g čistého HCl}$$

$$m_{20\% \text{ HCl}} = 30,8 \cdot \frac{100}{20} = 154 \text{ g}$$

$$V_{20\% \text{ HCl}} = \frac{154}{1,1} = 140 \text{ ml 20\% HCl}$$

4/37: Plyná směs obsahuje 20 obj.% CH<sub>4</sub>, 50 obj.% H<sub>2</sub> a 30 obj.% CO. Kolik m<sup>3</sup> vzduchu se spotřebuje na spálení 1 m<sup>3</sup> plyné směsi (měřeno za stejných podmínek p, T)?  
V 1 m<sup>3</sup> plyné směsi je 200 l CH<sub>4</sub>, 500 l H<sub>2</sub> a 300 l CO. Pro každou složku směsi je třeba napsat rovnici spalování zvlášť:



Podle „objemového zákona“ se na spálení

200 l CH <sub>4</sub>	spotřebuje	400 l O <sub>2</sub>
500 l H <sub>2</sub>	– “ –	250 l O <sub>2</sub> a
300 l CO	– “ –	150 l O <sub>2</sub> ,

celkem tedy 800 litrů O<sub>2</sub>. Obsahuje-li vzduch asi 21 obj.% kyslíku, bude spotřeba činit

$$0,8 \cdot \frac{100}{21} = 3,81 \text{ m}^3 .$$

Úkoly:

4/38: Chlorečnan draselný se zahřevem rozkládá na chlorid draselný a kyslík. Napište rovnici rozkladu a vypočítejte, jaký objem plyného O<sub>2</sub> (měřeno za standardních podmínek) lze připravit rozkladem 0,3 molu KClO<sub>3</sub>.

4/39: Jakou hmotnost KOH a jaký objem 96% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ρ = 1,83.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) je třeba použít k přípravě 25 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ?

4/40: Jakou hmotnost MnO<sub>2</sub> a jaký objem 36% HCl (ρ = 1,18.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) je třeba teoreticky použít pro přípravu 10 litrů plyného Cl<sub>2</sub> (měřeno za tlaku 10<sup>5</sup> Pa a teploty 27°C) ?

4/41: Plyná směs obsahuje 30 obj.% CH<sub>4</sub> a 70 obj.% CO. Jaký objem kyslíku je třeba použít na spálení 10 litrů této směsi na CO<sub>2</sub> a vodu (oba objemy jsou měřeny za stejné teploty a tlaku)?

4/42: Roztok chloridu železitého se sráží roztokem hydroxidu sodného, vzniká hydroxid železitý a chlorid sodný. Hydroxid železitý se žíháním převede na oxid železitý. Popište oba děje rovnicemi a vypočítejte, jakou hmotnost FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O a jaký objem 10% roztoku NaOH (ρ = 1,109.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) se použije na přípravu 10 g Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

4/43: Reakcí H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a KMnO<sub>4</sub> v prostředí H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vzniká kyslík, MnSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a voda.

Vyčíslete rovnici a vypočítejte:

a) jaký objem O<sub>2</sub> (měřeno za stand. podmínek) lze připravit při použití 20 g KMnO<sub>4</sub> ,

b) jaký objem 10% roztoku H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ρ = 1,11.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) a

c) jaký objem 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ρ = 1,032.10<sup>3</sup> kg.m<sup>-3</sup>) je k tomu třeba.

4/44: Jaký objem plyného amoniaku (měřeno za standardních podmínek) se spotřebuje na neutralizaci 500 ml 60% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ρ = 1,498 g.cm<sup>-3</sup>) a jakou hmotnost bude mít reakcí vzniklý síran amonný ?