

## 2.1.6 Relativní atomová a relativní molekulová hmotnost

### Předpoklady:

**Pedagogická poznámka:** Tato a následující dvě hodiny jsou pokusem a trochu jiné podání problematiky. Standardní přístup znamená několik ne zcela průhledných definic a navzájem se pletoucích vzorců. I pro mě znamenaly molární veličiny dost nepřehlednou změť, kterou jsem si ujasnil, až když jsem se postavil na druhou stranu katedry způsobem, který je popsán níže.

Pokud se Vám nepodaří se domluvit s chemiky (kteří látku probírají o rok dříve) připravte se, že Vás čeká i boj proti stereotypům některých studentů, kteří sice většinou nechápou smysl, ale nějak (a často špatně) se už vzorce naučili a moc je nezajímá, co za tím vlastně stojí (například proč počítat hmotnost 1 molu uhlíku, když už víme, že je to relativní atomová hmotnost, nebo  $A_r$  v kg, nebo  $A_r$  v gramech?...).

- Hmotnost atomu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  je 0,00000000000000000000000000001992 kg .  
V exponenciálním vyjádření je číslo podstatně přehlednější  $1,992 \cdot 10^{-26}$  kg , ale ani hodnota v exponenciálním tvaru není příliš vhodná pro porovnávání hmotností atomů mezi sebou.
- Atomy se skládají z nukleonů v jádře a elektronů v elektronovém obalu. Hmotnost nukleonů je více než 1800x větší než hmotnost elektronů.

⇒ Rychlejší představu o vzájemné hmotnosti atomů získáme, když si řekneme kolikrát je náš atom těžší než nejjednodušší z atomů, atom vodíku  $^1_1\text{H}$  ⇒ **relativní atomová hmotnost**  $A_r$ .

Relativní atomová hmotnost  $A_r$  přibližně udává kolikrát je atom těžší než atom vodíku  $^1_1\text{H}$ .

Přesně: **Relativní atomová hmotnost je dána vztahem**  $A_r = \frac{m_a}{m_u}$ , kde  $m_a$  je hmotnost

atomu a  $m_u$  je atomová hmotnostní jednotka ( $m_u = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg ).

⇒  $A_r$  je bezrozměrová veličina (nemá jednotku).

Z čeho vychází hodnota  $m_u$  ?

Nejdříve se jednalo o hmotnost atomu  $^1_1\text{H}$ . S zpřesňováním měření se přešlo na šestnáctinu hmotnosti atomu kyslíku  $^{16}_8\text{O}$ . **Dnes jde o jednu dvanáctinu klidové hmotnosti atomu**  $^{12}_6\text{C}$ .

**Pedagogická poznámka:** Přibližná definice  $A_r$  je textu jako hlavní použita záměrně. Pro část studentů je velice obtížné si představit, že přes jednu dvanáctinu hmotnosti  $^{12}_6\text{C}$  se stále ještě vyjadřuje, kolikrát je atom těžší než atom vodíku  $^1_1\text{H}$ . Jde podle mého názoru o jedno z míst, kde přesnost (ve škole naprosto nevyužívaná) ubírá látce na srozumitelnosti (hlavně z hlediska představy o celkové užitečnosti  $A_r$ ).

Ve svých hodinách proto používám jistou formu doublespeaku. Mezi sebou používáme definici z modrého rámečku a studenti ví, že na veřejnosti musí vyrukovat s přesnou definicí uvedenou tučně.

**Př. 1:** Urči relativní atomovou hmotnost uhlíku  ${}^{12}_6\text{C}$ .

$m_u$  je dvanáctinou klidové hmotnosti atomu  ${}^{12}_6\text{C} \Rightarrow A_{r, {}^{12}_6\text{C}} = 12$ .

**Př. 2:** Jakých hodnot budou dosahovat relativní atomové hmotnosti prvků? Proč?

Hmotnost atomu je v podstatě součtem hmotností jeho nukleonů (elektrony jsou příliš lehké)  $\Rightarrow$  relativní atomové hmotnosti prvků by měly být kladná celá čísla (nebo čísla jim blízká), která se rovnají počtu nukleonů v jádře.

**Př. 3:** V tabulkách najdi  $A_r$  a s její pomocí vypočti hmotnost atomů u následujících prvků.

a) vodík                      b) železo                      c) zlato

a) vodík  $A_r = 1,0079 \Rightarrow m_a = A_r \cdot m_u = 1,0079 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,6737 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

b) železo  $A_r = 55,847 \Rightarrow m_a = A_r \cdot m_u = 55,847 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 9,3469 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

c) zlato  $A_r = 196,97 \Rightarrow m_a = A_r \cdot m_u = 196,97 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3,2708 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$

Proč je v tabulách u uhlíku uvedeno  $A_r = 12,011$ ? Proč nejsou  $A_r$  prvků celá čísla, když hmotnost prvku přibližně odpovídá počtu jeho nukleonů?

- Prvky se v přírodě obvykle vyskytují jako směs izotopů (atomy se stejným počtem protonů a různým počtem neutronů)  $\Rightarrow$  prvek je tedy tvořen směsí atomů s různou hmotností.
- Nukleony vázané v jádře mají menší hmotnost než když existují samostatně (hmotnostní úbytek, více si řekneme později).

$\Rightarrow$  V tabulkách jsou udávány střední relativní atomové hmotnosti pro směs izotopů v poměrech obvyklých v přírodě.

**Pedagogická poznámka:** Následující příklad je samozřejmě možné vynechat a tak regulovat časový průběh hodiny.

**Př. 4:** Dokumentuj oba předchozí efekty na tabulce, která ukazuje izotopové složení jednotlivých prvků.

prvek	střední relativní atomová hmotnost	izotopové složení
vodík	1,0079	${}^1_1\text{H}$ - 99,985%, ${}^2_1\text{H}$ - 0,015%
uhlík	12,011	${}^{12}_6\text{C}$ - 98,8%, ${}^{13}_6\text{C}$ - 1,1%
železo	55,847	${}^{54}_{26}\text{Fe}$ - 5,81%, ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ - 91,64% ${}^{57}_{26}\text{Fe}$ - 2,21%, ${}^{58}_{26}\text{Fe}$ - 0,034%
zlato	196,97	${}^{197}_{79}\text{Au}$ - 100%

**vodík:** v přírodě se vyskytuje i těžší vodík  ${}^2_1\text{H}$ , tím by se střední relativní atomová hmotnost zvýšila, ale málo v porovnání s uvedenou hodnotou (pouze na 1,00015, kdybychom počítali

$A_r({}_1^1\text{H}) = 1$  a  $A_r({}_1^2\text{H}) = 2 \Rightarrow$  hraje roli i to, že protony v jádře vodíku nejsou vázané a jsou tedy těžší než nukleony v jádře uhlíku, podle nichž se stanovuje hodnota  $m_u$ .

**uhlík:**  $A_r(\text{C}) > 12$ , protože uhlík je směsí izotopu  ${}^{12}_6\text{C}$  s těžším izotopem  ${}^{13}_6\text{C}$ .

**železo:** procentní zastoupení izotopu  ${}^{54}_{26}\text{Fe}$  je větší než zastoupení těžších izotopů  $\Rightarrow$  střední  $A_r$  je menší než by vycházela pro nejčastější izotop  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ .

**zlato:** zlato se skládá z jediného stabilního nuklidu  ${}^{197}_{79}\text{Au} \Rightarrow$  hmotnost nukleonů v jádře zlata je menší než hmotnost nukleonů v jádře uhlíku (zřejmě jsou více vázány).

**Př. 5: (BONUS)** Zkus vysvětlit, proč se pro určování relativní atomové hmotnosti raději používají (používaly) zlomky hmotnosti atomu uhlíku (dříve kyslíku) než přesná hodnota hmotnosti atomu vodíku  ${}_1^1\text{H}$ .

Proton v jádře vodíku  ${}_1^1\text{H}$  není vázán s žádným jiným nukleonem, proto je jeho hmotnost zřejmě větší než je typická hmotnost nukleonů vázaných ve složitějších jádrech. Proto je pro vyjadřování poměrné hmotnosti výhodnější použít hmotnost nukleonu ve složitějších jádrech.

Velká část látek se skládá z molekul  $\Rightarrow$  **relativní molekulová hmotnost  $M_r$** .

**Př. 6:** Definuj přibližný význam relativní molekulové hmotnosti  $M_r$ . Napiš pro relativní molekulovou hmotnost přesný definiční vztah.

Relativní molekulová hmotnost  $M_r$  přibližně udává kolikrát je molekula těžší než atom vodíku  ${}_1^1\text{H}$ .

**Relativní molekulová hmotnost je dána vztahem  $M_r = \frac{m_m}{m_u}$ , kde  $m_m$  je hmotnost molekuly a  $m_u$  je atomová hmotnostní jednotka.**

**Pedagogická poznámka:** Zejména sestavování vzorce pro  $M_r$  je velmi zajímavé. Studenti se snaží v čitateli zlomku uplatnit postup na výpočet  $M_r$  z relativních atomových hmotností. Ptám se jich, jak velké hodnoty by z takového vzorce mohli očekávat. Opět jde o to, aby měli představu o tom, jak velké hodnoty různé veličiny mají.

V tabulkách nejsou relativní molekulové hmotnosti uvedeny. Je to zbytečné, protože ji snadno určíme z relativních atomových hmotností atomů, ze kterých je molekula složena:

$$M_r(\text{CH}_4) = A_r(\text{C}) + 4 \cdot A_r(\text{H}) = 12,011 + 4 \cdot 1,0079 = 16,043.$$

**Př. 7:** Vypočti relativní molekulovou hmotnost a hmotnost molekuly.  
a)  $\text{CO}_2$                       b) vody                      c) kyseliny siřičité

a)  $\text{CO}_2$

$$M_r(\text{CO}_2) = A_r(\text{C}) + 2 \cdot A_r(\text{O}) = 12,011 + 2 \cdot 15,999 = 44,009$$

$$m_m = M_r \cdot m_u = 44,009 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 7,3079 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

b) voda

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1,0079 + 15,999 = 18,015$$

$$m_m = M_r \cdot m_u = 18,015 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 2,9915 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

c) kyselina siřičitá

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_3) = 2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{S}) + 3 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1,0079 + 32,06 + 3 \cdot 15,999 = 82,07$$

$$m_m = M_r \cdot m_u = 82,07 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,363 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

**Př. 8:** Urči počet částic, které obsahuje 12 g uhlíku  $^{12}_6\text{C}$ .

1 atom uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  má hmotnost  $12 \cdot m_u = 12 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,9926 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

$$12 \text{ g} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

Použijeme přímou úměrnost:

$$1 \text{ atom} \quad \dots \quad 1,9926 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$x \text{ atomů} \quad \dots \quad 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\frac{x}{1,2 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{1,9926 \cdot 10^{-26}} \Rightarrow x = \frac{1,2 \cdot 10^{-2}}{1,9926 \cdot 10^{-26}} = 6,0221 \cdot 10^{23}$$

12 g uhlíku obsahuje  $6,0221 \cdot 10^{23}$  částic.

Nespočítali jsme ledajaké číslo. Jde o číselné vyjádření **Avogadrovy konstanty**

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Tento počet částic používáme jako **typické množství mikroskopických částic**, které **dohromady dají množství látky vnímatelné člověkem**.

Abychom nemuseli neustále používat obrovskou hodnotu Avogadrovy konstanty

( $6,0221 \cdot 10^{23}$  částic) zavádíme novou veličinu: **látkové množství  $n$**  (udává počet částic látky).

Jednotkou látkového množství je **1 mol**.

O stejnorodé soustavě (soustava z jediného druhu částic) říkáme, že má látkové množství 1 mol, jestliže obsahuje  $6,02 \cdot 10^{23}$  částic (jinými slovy – obsahuje stejném množství částí, kolik obsahuje atomů 12 g nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$ ).

⇒

- Vzorec pro výpočet látkového množství:  $n = \frac{N}{N_A}$  (kde  $N$  je počet částic látky).
- Avogadrova konstanta není bezrozměrná:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

**Pedagogická poznámka:** Oba následující příklady slouží k upevnění vztahu:

$$1 \text{ mol} \Leftrightarrow 6,02 \cdot 10^{23} \text{ částic.}$$

**Př. 9:** Urči z paměti počet částic látky, pokud je látkové množství látky rovno:

- a) 2 mol                      b) 0,01 mol                      c)  $10^5$  mol                      d) 0,005 mol

a) 2 mol ⇒  $2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 12,04 \cdot 10^{23} = 1,204 \cdot 10^{24}$  částic

b) 0,01 mol ⇒  $0,01 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,02 \cdot 10^{21}$  částic

c)  $10^5 \text{ mol} \Rightarrow 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,02 \cdot 10^{28}$  částic

d)  $0,005 \text{ mol} \Rightarrow 0,005 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 0,01 \cdot 3,01 \cdot 10^{23} = 3,01 \cdot 10^{21}$  částic

**Př. 10:** Urči z paměti látkové množství látky, pokud obsahuje:

a)  $6,02 \cdot 10^{25}$       b)  $12,04 \cdot 10^{20}$       c) 602      částic

a)  $6,02 \cdot 10^{25} = 100 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$  částic  $\Rightarrow n = 100 \text{ mol}$

b)  $12,04 \cdot 10^{20} = 2 \cdot 0,001 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$  částic  $\Rightarrow n = 0,002 \text{ mol}$

c)  $602 = 100 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-23} = 10^{-21} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}$  částic  $\Rightarrow n = 10^{-21} \text{ mol}$

**Shrnutí:** Hmotnosti atomů (molekul) můžeme vyjadřovat tím, kolikrát jsou těžší než atom vodíku – relativní atomovou (molekulovou) hmotností.