

používáme definici z modrého rámečku a studenti ví, že na veřejnosti musí vyřukovat s přesnou definicí uvedenou tučně.

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

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) chrom 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) chrom $A_r = 51,996 \Rightarrow m_a = A_r \cdot m_u = 51,996 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 8,6341 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

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

Dodatek: Při výpočtech je používána přesná hodnota m_u v kalkulačce, proto se zapsané výsledné hodnoty na posledních desetinných místech liší od hodnot získaných vynásobením čísel v postupu.

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, mají stejné chemické vlastnosti, ale jsou různě těžké) \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.

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 $A_r({}^2_1\text{H})=2$) \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. (Relativní molekulová hmotnost tedy udává kolikrát je atom těžší než 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) CO_2 b) vody c) kyseliny siřičité

a) 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 $^{12}_6\text{C}$. Čím je výsledek zajímavý.

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

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

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.

Jde o jednu ze základních fyzikálních konstant – Avogadrovu konstantu.

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