

Hmotnost atomů a molekul

Zařazení učiva:

Obecná chemie: ZŠ – neprobírá se
SŠ – 1. ročník, 1–2,5 hod (1–2 hod základní výuka, 0,5 hod laboratorní cvičení)

Výchozí situace:

Látka není běžně probírána na ZŠ, jedná se tedy o nové učivo. Nicméně žáci mají obecnou představu o tom, že atomy jsou malé (tedy i jejich skutečná hmotnost je malá).

Učivo *Hmotnost atomů a molekul* bývá na SŠ obvykle zařazováno hned na několika odlišných místech učiva obecné chemie prvního ročníku. Podle nejčastějších středoškolských učebnic se vyskytují následující přístupy k organizaci učiva.

1. Mareček, Honza: Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl

Kapitola je zařazena na konec tématu *radioaktivita* (v závěru kapitoly o stavbě atomu) a bezprostředně před učivem *chemická vazba* (str. 31–33). Zmíněna je atomová hmotnostní konstanta, relativní atomová hmotnost a relativní molekulová hmotnost.

Výhody

- dávkování výpočtů během celého učiva (probírání po menších tematických celcích)
- podpoření představy o velikosti a hmotnosti jádra a atomu, propojení s výpočtem
- možnost operovat s pojmem dříve

Nevýhody

- odtrženost od pojmů molární hmotnost a látkové množství – studenti často na zavedené relativní hmotnosti zapomenou, než se uvede hmotnost molární

2. Taktik: Obecná chemie 1. díl

Kapitola věnující se Hmotnosti atomů je na rozdíl od první učebnice předřazena tématu *radioaktivita* (str. 19–22). Následuje tedy bezprostředně po představení pojmů jako je nuklid, izotop a stabilita atomových jader. Zavedené pojmy jsou vysvětleny i na výpočtech.

Výhody

- dávkování výpočtů během celého učiva
- podpoření představy o velikosti a hmotnosti jádra a atomu, propojení s výpočtem
- možnost operovat s pojmem dříve (např. v rámci později probírané periodické tabulky)

Nevýhody

- odtrženost od pojmů molární hmotnost a látkové množství – studenti často na zavedené relativní hmotnosti zapomenou, než se zavede hmotnost molární
- zařazení za stabilitu atomových jader a před samotné téma radioaktivita – rozseknutí dvou spolu-souvisejících témat

3. Didaktis: Odmaturuj z chemie

Učebnice vyčleňuje všechny pojmy týkající se důležitých chemických veličin a výpočtů do samostatné kapitoly, která je řazena na závěr obecné chemie – za učivo o chemických rovnováhách (str. 37–50). Za zmínku stojí jistě i pořadí, v jakém jsou dané veličiny uváděny, a to začínaje látkovým množstvím, molární hmotností a molárním objemem. Teprve poté se čtenář dozvídá o relativních hmotnostech. Při hodnocení však nesmíme zapomenout, že učebnice má sloužit spíše jako přehled učiva.

Uvedené zařazení však vhodně představuje další z přístupů zařazení učiva o hmotnosti atomů, a to společně se všemi ostatními veličinami a výpočty, často navíc hned v úvodních hodinách prvních ročníků. Podobný přístup k zařazení nalezneme i v učebnici od autorky Evy Streblové: *Souhrnné texty z chemie 1. díl* (po tématu chemická vazba a před soustavami látek, str. 73–92) či v *Chemii pro střední školy* od nakladatelství SPN (po tématu chemická vazba a názvosloví, před chemickými reakcemi, str. 27–29).

Výhody

- možnost přistupovat k souhrnné kapitole o výpočtech jako k příloze, a tedy ji opakovaně využívat od začátku výuky
- ucelenost a propojení souvisejících veličin a pojmů
- pokud např. probíráme téma složení roztoků a hmotnostní zlomek, potřebujeme pojmy o molární a relativní hmotnosti, chceme-li zařazovat výpočty využívající tyto veličiny^a

^aNěkdy bývá učivo o složení roztoků a hmotnostním zlomku odtrženo a předřazeno hmotnostem atomů a molekul – například v *Chemii pro střední školy*, SPN. Vhodně témata řadí například *Chemie pro spolužáky*, kdy téma směsí následuje po zavedení hmotností atomů a látkového množství.

Nevýhody

- náročnost tématu v případě zařazení celé kapitoly výpočtů naráz na začátku výuky – velké riziko odrazení nematematicky obratných studentů
- zahrnutí studentů veškerými výpočty naráz může vést k nedostatečnému ukotvení jednotlivých odlišných přístupů a není možné dlouhodoběji rozvíjet a následně ve výpočtech uplatňovat čtenářskou, matematickou a přírodovědnou gramotnost
- odtrženost od teorie, z výpočtů se stává samostatná kapitola, místo aby byly součástí každého tématu

Organizace tématu v RVP G:

- Učivo:
- Veličiny a výpočty v chemii
 - Soustavy látek a jejich složení
 - Stavba atomu

- Očekávané výstupy:
- Žák provádí chemické výpočty a uplatňuje je při řešení praktických problémů

Výukové cíle:

- Žák má vizuální představu o velikosti čísel, která představují atomová hmotnostní konstanta a skutečná hmotnost atomu a molekul (řádově 10^{-27} – 10^{-25} kg).
- Žák popíše, jak je definována atomová hmotnostní konstanta a k čemu se využívá.
- Žák uvede přibližnou hodnotu atomové hmotnostní konstanty $m_u = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.
- Žák vysvětlí, proč jsou relativní hmotnosti bezrozměrná čísla a co vyjadřují.
- Žák stanoví atomovou relativní a molekulovou hmotnost, najde relativní atomovou hmotnost prvků v periodické tabulce a rozumí, jakým způsobem se vypočítávají.
- Žák aplikuje vztahy pro výpočet relativní atomové hmotnosti i vztahy odvozené během výpočtů.
- Žák vlastními slovy vysvětlí, proč nejsou hodnoty relativních atomových hmotností celá čísla.

Osnova:

1. Hmotnost atomů a molekul (1–2,5 hodiny)

- Atomová hmotnostní konstanta.
- Relativní atomová hmotnost a její výpočet.
- Relativní molekulová hmotnost a její výpočet.

Klíčové poznatky:

- Relativní atomová hmotnost (respektive relativní molekulová hmotnost) udává poměr mezi hmotností zkoumaného atomu a hmotnostní jednotkou, a proto je to číslo bezrozměrné.
- Relativní atomová hmotnost (respektive relativní molekulová hmotnost) usnadňuje práci při výpočtech s hmotnostmi atomů a molekul, jelikož skutečné hmotnosti jsou velmi malé (řádově 10^{-27} – 10^{-25} kg).
- Hodnoty atomové relativní hmotnosti zjistíme z periodické tabulky prvků, ve které je zohledněno i procentuální zastoupení izotopů jednotlivých prvků.

Motivace:

Ze života: Písek v obchodě nekupujeme na počet zrníček, ale podle hmotnosti pytle. Stejně tak bychom chtěli umět vyjádřit hmotnosti prvků, a to efektivně, jelikož skutečné hmotnosti jsou velmi malé (podobně rýže, bonbóny – Taktik).

Vhodné aktivity

- Nechat studenty chvíli počítat zrnka čočky/rýže jako ilustrace atomů. Pokud máme vícebarevnou čočku (namíchanou z různých barevných druhů čočky), může třídění sloužit i k ilustraci prvků s různým zastoupením izotopů. Studenty by mělo po chvíli napadnout, že je lepší způsob, jak zjistit množství – použít váhy či hrnek na odměření.

Vhodné materiály

1. Mareček, Honza: *Chemie sbírka příkladů*, 2001, str. 35–43
2. Fikr: *Jak porozumíme chemickým výpočtům 2, druhé rozšířené vydání 2010*, str. 9
3. Strebálová: *Souhrnné texty z chemie pro přípravu k přijímacím zkouškám I. díl*, str. 73–74, 76
4. Obrátil, Sáblík: *Chemie pro spolužáky: Obecná chemie II.*, str. 14–19, potažmo i pracovní sešit k učebnici
5. Video pro ilustraci velikosti čísla 10^{23} (Powers of ten): <https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0&t=9s> (Popřípadě jiné období, kde bude rozvoj až do čísla 10^{23}).

Didaktické poznámky

Velikost čísel

- Než se se studenty pustíme do tématu hmotnosti atomů a molekul, přesvědčme se o tom, že mají základní představu o velikosti čísel. Nechejme je ukázat, kolik je jeden metr, kolik je 10 metrů. Žáci mohou přinést věc, o které si myslí, že váží 100 g. Příklady je možné variovat.

- Další možností, jak dát jasnější představu studentům o velikosti čísel, je například video *Powers of ten* [5].
- Vizuální představa o velikosti čísel je esenciální pro pochopení zaváděných pojmů a pro jejich konkretizování (aby nezůstaly jen abstraktními pojmy).

Atomová hmotnostní konstanta

- Studentům je třeba vysvětlit, kde se atomová hmotnostní konstanta bere a jak je definovaná. (Vzhledem ke stále zlepšujícím se měřením se pořád mění a zpřesňují i hodnoty m_u ¹, a tedy i hodnoty A_r a M_r , stejně tak i hodnoty izotopového zastoupení.) Zvolení izotopu uhlíku ¹²C není náhodné. Pokud studenti ví, že většina hmotnosti atomu je soustředěna v jádře, zeptejme se jich, kolik částic tuto hmotnost nese. Jejich odpovědí bude číslo 12. Vzhledem k tomu, že protony a neutrony jsou si hmotnostně podobné, dá se tedy říct, že atomová hmotnostní konstanta je definovaná jako hmotnost jednoho protonu (dvanáctina celkové hmotnosti uhlíku odpovídá jedné ze dvanácti částic jádra atomu uhlíku ¹²C).
- Nastíněnému postupu navíc odpovídá i postup, jakým způsobem je téma probíráno v zahraničních (především anglických) učebnicích. Zde se protonu a neutronu přiřadí hmotnost jedné jednotky **amu**. Následující výpočty jsou tedy odvozovány pomocí této jednotky, která představuje hmotnost jedné částice v jádře (viz. Taktik: *Obecná chemie*, str. 20)
- Předchozí myšlenkové pochody je vhodné i propojit s faktem, že v tabulce nalezneme u vodíku relativní atomovou hmotnost (v tuto chvíli tento pojem není nutné použít, jen poukážeme na hodnotu) rovnu přibližně jedné. To proto, že v jádře se nachází jen jeden proton (jádro vodíku ¹H je tedy vlastně $\frac{1}{12}$ jádra atomu uhlíku ¹²C). Stejně tak u uhlíku nalezneme číslo 12.
- Pokud využijeme předchozích srovnání, mělo by být studentům už jasnější, proč je konstanta volena právě takto. Navíc můžeme hodnotu konstanty ($1,66054 \cdot 10^{-27}$ kg) srovnat s klidovou hmotností protonu ($1,67252 \cdot 10^{-27}$ kg). Je vidno, že se jedná o čísla podobná. (Rozdíl je způsobený hmotnostním defektem v jádře a mírně odlišnou hmotností neutronu od protonu).
- Vzhledem k dostupnosti různých anglických materiálů je možnost seznámit studenty i s anglickým značením atomové hmotnostní konstanty (AMU).

Relativní atomová hmotnost a relativní atomová hmotnost prvku

- Díky zavedené atomové hmotnostní jednotce můžeme najednou mezi sebou poměřovat hmotnosti jednotlivých atomů a místo používání jejich skutečných hmotností pracujeme právě s tímto poměrem.
- Protože každému atomu přiřadíme číslo, které vyjadřuje, kolikrát je atom těžší než $\frac{1}{12}$ skutečné hmotnosti atomu nuklidu ¹²C, jedná se o číslo bezrozměrné. Studentům je vhodné při zavádění vztahu ukázat, kde se bezrozměrnost bere (příklad).

$$A_r = \frac{m \text{ kg}}{m_u \text{ kg}} = \frac{m}{m_u} \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = \frac{m}{m_u}$$

- Nechejme žáky ze zavedeného vzorce odvodit i vztahy pro výpočet skutečné hmotnosti atomu.
- Při používání učebnice *Mareček, Honza: Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl* je třeba být na pozoru, jelikož učebnice v případě ukázkového výpočtu relativní atomové hmotnosti chloru (str. 34) zmiňuje *hmotnostní zlomek* jednotlivých izotopů namísto **molárního zlomku** izotopů (pro studenty je lépe uvést jednodušeji jako **poměrné zastoupení izotopů** a nezavádět pojem molární zlomek). Uvedené hodnoty

¹Odkaz na definici podle IUPAC: <https://doi.org/10.1351/goldbook.A00504>

totiž skutečně neodpovídají hmotnostnímu zlomku, ale právě molárnímu zlomku. Učebnice tak není souladu s doporučením příručky IUPAC².

- Je třeba zdůraznit, že zatím jsme neřešili výskyt atomů a jejich zastoupení (četnost) v přírodě. Zeptejme se studentů, jak počítají svůj průměr známky. Je to podobné, jako počítání relativní atomové hmotnosti. Můžeme představit následující příklad s izotopy vodíku. Nechme studenty nejprve určit, kolik atomových hmotnostních konstant bude přibližně vážit každý izotop (¹H – jeden proton = 1 m_u , ²H – jeden proton a jeden neutron = 2 m_u , ³H – jeden proton a dva neutrony = 3 m_u). Situace je stejná, jako když máme známky 1, 2 a 3 a chceme spočítat průměr (přesněji vážený průměr). Protože jsou ale studenti šikovní, mají více jedniček než dvojek a jen maličko trojek. Studentům můžeme dát následující soubor čísel k určení celkové průměrné známky (500 jedniček, dvě dvojky a jedna trojka). Pokud studenti určí průměrnou známku $\frac{500 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3}{503} = 1,008$, dostanou hodnotu atomové relativní hmotnosti vodíku z tabulky. Můžeme tedy podotknout, že každé hodnoty relativní atomové hmotnosti v tabulce už zohledňují rozdílné hmotnosti izotopů i jejich četnost zastoupení v přírodě, a proto nejsou tyto hodnoty v tabulce pouze čísla celá.
- Běžně se tedy zápis relativní atomové hmotnosti prvku zjednodušuje a označuje se stejně jako relativní atomová hmotnost. Místo symbolu A_r^{st} či \bar{A}_r používáme A_r , ačkoli se přísně vzato jedná o pojmy různé.
- Pro zajímavost můžeme studentům ukázat schéma hmotnostního spektrometru a vysvětlit užitečnost rozpoznávání jednotlivých izotopů na základě jejich hmotnosti (třeba radioaktivní izotopy jodu/fosforu při léčbě rakoviny, izotop uranu 235, aj). Rozšiřující videa mohou být vhodná především pro samostudium nadaných žáků.

Relativní molekulová hmotnost

- Stejně jako už nyní umíme stanovit poměr hmotností mezi jednotlivými atomy, chceme totéž umět i pro prvky a sloučeniny. Studenty můžeme na myšlenku výpočtu navést například přes sloučeninu chloridu sodného (jednoduchá sloučenina, kterou studenti znají s poměrným zastoupením atomů 1:1). Zeptejme se jich, z jakých atomů se sloučenina skládá a kolikrát je každý atom ve vzorci přítomen. Studenti odpoví, že každý z atomů prvku právě jednou. Většinou už pak sami dokážou určit relativní molekulovou hmotnost chloridu sodného součtem jednotlivých relativních atomových hmotností z tabulky.³ Vyzkoušejme proto se studenty výpočet dále pro vodu, oxid hlinitý a nakonec třeba kyselinu sírovou.
- Nechejme studenty opět určit jednotku relativní molekulové hmotnosti. Pokud sčítají bezrozměrná čísla, výsledkem je opět číslo bezrozměrné.
- Ačkoli se relativní molekulová hmotnost definuje obdobně, jako relativní atomová hmotnost, její výpočet je odlišný. Je proto možné nejprve studentům ukázat, jak se prakticky zjišťuje součtem jednotlivých relativních atomových hmotností z tabulky, a až pak ukázat i její definici.
- I přes to je vhodné ukázat alternativní vztah pro výpočet relativní molekulové hmotnosti pomocí atomové hmotnostní jednotky. Žákům by mělo být jasné, že se stejný princip dá aplikovat na molekuly, stejně jako na jednotlivé atomy. Zároveň však můžeme podotknout, že tento vztah prakticky nevyužíváme a běžně si vystačíme právě s výpočtem relativní molekulové hmotnosti pomocí tabulky.

²Odkaz na definici izotopového zastoupení: <https://doi.org/10.1351/goldbook.I03332>

³Při používání iontových látek během výpočtů M_r si musíme jako učitelé být vědomi faktu, že iontové sloučeniny netvoří molekuly. Označení relativní molekulové hmotnosti pro tyto látky tak není vlastně zcela správně, nicméně zavádění dalšího pojmu (například Relativní hmotnost iontových sloučenin) by bylo kontraproduktivní. Z toho důvodu je vhodné studentům, například při probírání tématu chemické vazby, dostatečně vysvětlit, jak iontové sloučeniny vypadají. Zároveň je v tu chvíli můžeme i upozornit na tuto nepřesnost, které se během používání relativní molekulové hmotnosti u iontových sloučenin dopouštíme.

- Opět se studentů zeptejme na zohlednění zastoupení jednotlivých izotopů v molekule, například u vody. Studenti někdy mohou mít problém s uvědoměním si, že ve chvíli, kdy k výpočtu relativní molekulové hmotnosti použijeme tabulkové relativní atomové hmotnosti prvků, výskyt izotopů je již v hodnotě relativní molekulové hmotnosti zohledněn.
- Určování relativní molekulové hmotnosti je vhodné ukázat i v případě krystalohydrátů (například modrá skalice). Studenti mohou zaváhat, jak naložit s hmotností pěti molekul vod. Vzhledem k tomu, že se ve vzorci vyskytuje symbol „·“, mají někteří tendenci použít při výpočtu matematickou operaci násobení.