

Molární hmotnost

Zařazení učiva:

Obecná chemie: ZŠ – 9. třída
SŠ – 1. ročník, 1–3 hod (1–2 hod základní výuka, 1 hod laboratorní cvičení)

Výchozí situace:

Znalosti ze ZŠ (chemie): Žák je seznámen s pojmem molární hmotnost. Umí vyjádřit jednotku veličiny a stanovit molární hmotnost látky ze zadaného vzorce. Dokáže vysvětlit vztah mezi hmotností atomu a jeho iontu¹.

Učivo *Molární hmotnost* může být na středních školách v chemii zařazováno hned na několika odlišných místech učiva prvního ročníku, nicméně obvykle doprovází téma látkového množství, proto je zařazení obdobné. Podle nejčastějších středoškolských učebnic může být přístup k tématu následující.

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

Kapitola je zařazena po probrání učiva chemické vazby a předchází tématu chemická rovnice (str. 52–54). Molární hmotnost je vysvětlena společně s látkovým množstvím a molárním objemem.

Výhody

- dávkování výpočtů během celého učiva (probírání po menších tematických celcích)
- podpoření představy o koeficientech v chemické rovnici a jejich skutečnému významu
- názorné ukázání užitečnosti zavedených pojmů v praxi
- možnost provázání tématu s výpočty z chemických rovnic
- zařazení pojmu společně s pojmy souvisejícími (molární hmotnost a objem)

Nevýhody

- zavedení pojmu až později v rámci učiva (nemožnost operovat s látkovým množstvím dříve)
- nutnost zopakování a důsledného rozlišení pojmů relativní (atomové a molekulové) hmotnosti a molární hmotnosti

2. Taktik: Obecná chemie 1. díl

Molární hmotnost je zavedena v rámci podkapitoly o složení roztoků (str. 67), která je zařazena do kapitoly skupenské stavy látek. Kapitole předchází učivo chemické vazby.

Učebnice představuje přístup k zařazení tématu molární hmotnost v rámci učiva o složení roztoků. Samotné složení roztoků pak může být probíráno opět v úvodu prvního ročníku, či později, tak jak navrhuje zmíněná učebnice.

Výhody

- dávkování výpočtů během celého učiva
- propojení s výpočty o složení roztoků
- možnost operovat s pojmem dříve (u kapitoly o složení roztoků)

Nevýhody

- pojem je odtržen od pojmu relativní molekulové hmotnosti, což může vést k jejich pozdějšímu nedostatečnému rozlišení a pochopení
- pojem je odtržen od molárního objemu

¹Poslední ze zmíněných znalostí doporučujeme rozhodně zopakovat, studenti si ji jen málokdy pamatují.

3. Didaktis: Odmaturuj z chemie

Učebnice vyčleňuje všechny pojmy týkající se důležitých chemických veličin a výpočtů do samostatné kapitoly (str. 37–50). Molární hmotnost je uvedena hned jako druhá, společně s molárním objemem. Uvedené zařazení vhodně představuje další z přístupů zařazení učiva o molární hmotnosti, a to společně se všemi ostatními veličinami a výpočty, často navíc probírané hned v úvodních hodinách prvních ročníků. Podobný přístup k zařazení nalezneme i v učebnici od autorky Evy Streblové: *Souhrnné texty z chemie 1. díl* (str. 73–92) či v *Chemii pro střední školy* od nakladatelství SPN (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 probíráme téma složení roztoků a hmotnostní zlomek, potřebujeme pojmy o molární a relativní hmotnosti

Nevýhody

- náročnost tématu na začátku výuky v případě zařazení celé kapitoly výpočtů naráz – velké riziko odrazení matematicky neobratných 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
- Očekávané výstupy:
- Žák provádí chemické výpočty a uplatňuje je při řešení praktických problémů

Výukové cíle:

- Žák vypočítá molární hmotnost zadaných látek a správně určí i jednotku veličiny.
- Žák dokáže pomocí molární hmotnosti počítat látkové množství či skutečnou hmotnost zadaných látek.
- Žák vysvětlí, proč považujeme molární hmotnost atomů a iontů za totožnou.
- Žák rozumí souvislosti zákona o zachování hmotnosti s výpočtem molární hmotnosti sloučenin z molárních hmotností jednotlivých prvků.
- Žák kombinuje a vhodně, vzhledem k situaci, upravuje vyjádření pro látkové množství pomocí počtu částic i pomocí molární hmotnosti.
- Žák rozlišuje mezi pojmy *relativní atomová hmotnost*, *relativní molekulová hmotnost* a *molární hmotnost*.

Osnova:

1. Molární hmotnost (1–3 hodiny)

- Molární hmotnost.
- Výpočet molární hmotnosti pomocí tabulky PSP.
- Výpočet látkového množství či skutečné hmotnosti s pomocí molární hmotnosti.
- Výpočty s kombinací vzorců vyjadřujících látkové množství.

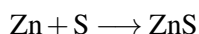
Klíčové poznatky:

- Molární hmotnost je veličina, která udává hmotnost jednoho molu (právě $6,022 \cdot 10^{23}$ částic) dané látky (ať už prvku či sloučeniny). Z toho důvodu má i tomu odpovídající jednotku (základní i odvozenou, která se více používá).
- Klíčové je pochopení rozdílu mezi relativní molekulovou hmotností a molární hmotností. Vzhledem k podobnému značení se žákům často tyto dva pojmy pletou.
- Molární hmotnost dovoluje chemikům jednoduše vážit potřebná množství látek pro chemické reakce a vypočítává se z tabulky použitím relativních atomových hmotností.
- Molární hmotnost prvku a jeho molekuly je odlišná (například $M(\text{H}_2)$ a $M(\text{H})$).
- Látkové množství již žák umí vyjádřit dvojím způsobem, tedy díky kombinaci platí $\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$.

Motivace:

Ze života: Celkově lze říci, že molární hmotnost je základním pojmem, který umožňuje chemikům a fyzikům propojit množství látky s její hmotností a strukturou. Bez této veličiny by bylo téměř nemožné porozumět a pracovat s chemickými reakcemi, fyzikálními vlastnostmi látek a dalšími aspekty chemie a fyziky.

Chemická: Opět se můžeme podívat na již diskutovanou rovnici reakce zinku a síry ([4]).



Studenti už nyní rozumí, že pro reakci těchto látek beze zbytku je třeba jeden mol zinku a jeden mol síry. Zeptejme se studentů: *Jaké množství zinku a síry si mám tedy navázat na vahách, chci-li tuto reakci provést?* Studenti se po představení pojmu molární hmotnost lehce dovědí správného výsledku. Položme proto následující otázku: *Pokud použijeme adekvátní množství zinku a síry (odpovídající jednomu molu), kolik gramů produktu vznikne?* Studenti jistě odpoví, že hmotnost vzniklého produktu odpovídá součtu hmotností síry a zinku, tedy hmotnosti jednoho molu sulfidu zinečnatého (97,74 g). Nakonec se studentů zeptejme: *Jaká je hmotnost zinečnatých kationtů a sulfidových aniontů ve vzniklém produktu?* S touto otázkou mohou mít někteří studenti problém. Většinou je háček v tom, že jim otázka přijde těžká, ale první řešení, které je napadne, jim přijde moc lehké (tedy že je hmotnost adekvátní hmotnosti zinku a síry). Může proto pomoci zapsání oxidačních čísel ve sloučenině a následné uvědomění si, že se jádra atomů nemění, pouze se přesouvají elektrony, jejichž hmotnost zanedbáváme.

Vhodné aktivity

- Zadejme studentům vybrané látky a nechejme je odvážit přesně jeden mol substancí. Studenti tedy nejprve podle tabulky vypočítají patřičnou molární hmotnost a tu pak odváží na vahách.
- Vezmeme různě velká a barevná kolečka a na ta napíšeme z jedné strany značku prvku, z druhé strany molární hmotnost (velikosti koleček mohou alespoň trochu odpovídat velikosti jednotlivých atomů). Zadáme studentům seznam různých sloučenin, které lze z koleček seskládat. Úkolem je nejprve danou sloučeninu vizualizovat pomocí jednotlivých koleček (sestavit strukturní vzorec) a následně určit molární hmotnost celé molekuly.
- K procvičení výpočtů molární hmotnosti zábavnou formou můžeme zvolit online bingo ([5]). Do aplikace zadáme různé vzorce chemických sloučenin či prvků. Z celkové databáze zadaných pojmů studentům vygenerujeme originální bingo kartičku. Tu je možné vytisknout, či spustit na telefonu každého studenta. Náhodně vyvoláváme chemické sloučeniny (můžeme kombinovat vzorce a názvy i pro procvičení názvosloví). Studenti mají za úkol ve své kartičce sloučeninu zaškrtnout (v případě, že ji mají) a dopočítat její molární hmotnost.
- Sestavíme seznam různých domácích prostředků a surovin a necháme studenty počítat molární hmotnosti těchto látek. Návrh na seznam (je možné rozšiřovat):

Látka	M_r
voda (H_2O)	
kuchyňská sůl ($NaCl$)	
jedlá soda ($NaHCO_3$)	
cukr – sacharosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	
ocet (CH_3COOH)	
aspirin ($C_9H_8O_4$)	
desinfekce – peroxid vodíku (H_2O_2)	
olej – kyselina olejová ($CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$)	
jogurt – kyselina mléčná ($CH_3CH(OH)COOH$)	
odlakovač na nehty – aceton ($(CH_3)_2CO$)	
alobal – (Al)	
pomerančový džus – vit. C ($C_6H_8O_6$)	
slivovice – ethanol/methanol (CH_3CH_2OH/CH_3OH)	
zubní pasta – menthol ($C_{10}H_{20}O$)	
med – glukosa ($C_6H_{12}O_6$)	
šampon – laurylersulfát sodný ($C_{12}H_{25}SO_4Na$)	
čokoláda – theobromin ($C_7H_8N_4O_2$)	
káva – kofein ($C_8H_{10}N_4O_2$)	
šumivá koule do koupele – Epsomská sůl ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	
mýdlo – palmitan draselný ($C_{15}H_{31}COOK$)	
savo ($NaClO \cdot 5H_2O$)	

Některé názvy je možné zadat i strukturním vzorcem, aby studenti museli nejprve vytvořit vzorec sumární. Další variantou je nechat studenty sestavit vlastní seznam například 20 věcí z jejich domácnosti s použitím internetu pro vyhledání daných chemických vzorců.

Vhodné materiály

1. Fikr: *Jak porozumíme chemickým výpočtům 2, druhé rozšířené vydání 2010*, str. 10–15
2. Streblová: *Souhrnné texty z chemie pro přípravu k přijímacím zkouškám I. díl*, str. 75
3. Obrátil, Sáblík: *Chemie pro spolužáky: Obecná chemie II.*, str 20–24, potažmo i pracovní sešit k učebnici
4. Animace reakce zinku se sírou: „<https://webcentrum.muni.cz/webchemie-vypocty/chemicke-vypocty-1/2-latkove-mnozstvi/21-avogadrova-konstanta-a-latkove-mnozstvi>“
5. Online generátor kartiček pro hru BINGO: <https://myfreebingocards.com/bingo-card-generator>

Didaktické poznámky

Molární hmotnost

- Než uvedeme novou veličinu, zopakujme se studenty pojmy A_r a M_r .
- Pro správné uchopení pojmu je i důležitá vizuální představa, že jeden mol různých látek bude vážit různě a bude tvořit různě velké „hromádky“. Můžeme tedy studentům ukázat navážené různé látky, vždy ve množství jednoho molu².
- Ačkoli je molární hmotnost definovaná jako podíl skutečné hmotnosti ku látkovému množství, prakticky se takto nepočítá. Upozorněme studenty na definici, zároveň ale nezapomeňme zdůraznit, že M spíše používáme ke zjištění skutečné hmotnosti či látkového množství dané substance.

Výpočet M s pomocí PSP

- Začněme nejprve s výpočtem molární hmotnosti jednotlivých prvků. Studenti si sami brzo všimnou, že jsou hodnoty číselně stejné jako hodnoty relativní atomové hmotnosti. Často se tedy ptají, proč je třeba nějaká nová veličina. V tuto chvíli je třeba dotaz poctivě zpracovat. Pokud se pojmy molární hmotnosti a relativní hmotnosti (atomové či molekulové) řádně v hlavách studentů neoddělí, do budoucna jim to zabraňuje ve skutečném pochopení pojmů a v jejich používání). Může pomoci následující paralela:
Přihlásili jsme se do soutěže Prostřeno a jdeme nakupovat do obchodu:
Relativní atomová hmotnost jako hmotnost každé položky v košíku: *V obchodě do košíku dáváme jednotlivé položky (mouka, cukr, máslo, vajíčka, celer, ...). Každá věc má vlastní identickou hmotnost, stejně jako každý atom váží jinak. Pokud za naši jednotku (m_u) zvolíme například jeden rohlík, můžeme vyjádřit hmotnost daných věcí jako poměr (tj. bez jednotky gram), kolikrát jsou těžší než jeden rohlík.*
Relativní molekulová hmotnost jako hmotnost všech ingrediencí: *Jakmile nakoupíme všechny potřebné ingredience pro recept, vytvoříme tím vlastně sbírku jednotlivých surovin (atomů), které tvoří nějaký větší celek – recept (molekulu). Celková hmotnost těchto látek je pak podobná molekulové hmotnosti sloučeniny. Opět, pokud chceme i bezrozměrné číslo, můžeme celkovou hmotnost receptu vyjádřit v poměru, kolikrát je těžší než jeden rohlík.*
Molární hmotnost jako hmotnost více dávek téhož receptu: *Protože v Prostřenu vaříme pro více osob, je třeba recept dimenzovat na více porcí. Nekupujeme tedy v obchodu množství dostačující pouze pro uvaření jedné porce, ale dejme tomu, třeba rovnou pro 5 lidí, nebo 10, nebo dokonce $6,022 \cdot 10^{23}$ lidí, tj. jeden mol lidí. Celková hmotnost nákupu pak odpovídá molární hmotnosti (pokud nakoupíme opravdu*

²<https://webcentrum.muni.cz/webchemie-vypocty/chemicke-vypocty-1/molarni-hmotnost/molarni-hmotnost>

pro mol lidí). Důležité je, že tato hmotnost se vztahuje k počtu porcí – má tedy jednotku. Říká, kolik porcí z celkové hmotnosti uvaříme, tedy zdali 4, 10 nebo mol porcí. Molární hmotnost se stejně tak vztahuje k počtu molekul – říká, že právě $6,022 \cdot 10^{23}$ částic váží toto dané množství.

- Některým studentům může být bližší i paralela s hrníčkovou kuchařkou – místo konkrétních hmotností používáme stejně velkou odměrku – hrníček, v chemii pak jeden mol.
- Jakmile žáci umí určit molární hmotnost jednotlivých atomů, zadejme nejprve vzorce binárních sloučenin, následně třeba kyselin a nakonec solí (potažmo i krystalohydrátů). Vhodné je například podobné pořadí sloučenin:
NaCl, NaOH, Al₂O₃, P₄O₁₀, HClO, H₂SO₄, Na₂SO₄, Ba(OH)₂, Ca(ClO₃)₂,
Al₂(HPO₄)₃, CuSO₄ · 5H₂O . . .
Někteří studenti mohou zaváhat u těch sloučenin, které mají dolní index za závorkou. Příklady tedy podporují správné pochopení zápisu vzorce a jeho interpretaci.
- Bud' me důslední v zápise jednotky při počítání molární hmotnosti. To stejné pak vyžadujeme u studentů. Jednotka jim totiž napovídá, jak použít molární hmotnost například při výpočtech z chemických rovnic, kdy je třeba dbát na stechiometrii reakce.
- Studenti mohou počítat molární hmotnosti i ze zadaných strukturních vzorců. Vlastní sestavení sumárního vzorce jim napomáhá uvědomit si, že se opravdu celková hmotnost řídí zákonem o zachování hmotnosti, tedy že sčítáme hmotnosti jednotlivých atomů. Můžeme volit i složitější organické struktury, které žáci znají z běžného života, například kofein, nikotin, purinové a pyrimidinové báze, ATP, různé vitamíny, taurin, glukosa, menthol, ethanol, . . .

Výpočet látkového množství či skutečné hmotnosti s pomocí molární hmotnosti

- Schopnost spočítat molární hmotnost je chemikova hlavní zbraň! Je to stejné, jako když podle receptu máme přidat lžičci cukru. Nemusíme počítat jednotlivé krystaly. Stejně tak je chemikovou „lžičcí“ jeden mol a tomu odpovídající molární hmotnost. Podobné je to v případě hrníčkové kuchařky.
- Výpočet látkového množství a skutečné hmotnosti je pro studenty jednoduchý, pokud jsou příklady zadávány přímočaře. Je vhodné začít těmito příklady, aby žáci uměli okamžitě ze vzorce vyjádřit hledanou neznámou. Některým ale může vyhovovat i přístup bez vzorců, a to pomocí trojčlenky a přímé úměrnosti. Nebojme se tedy studentům předložit více možných cest vedoucích k řešení.
- Už nyní můžeme budovat základy pro obtížnější výpočty z chemických rovnic. Studenti mohou tedy počítat jednotlivá látková množství a hmotnosti ze zadané stechiometrie rovnice (například teoretický výtěžek či navážku jedné z výchozích látek). To jim navíc ukazuje užitečnost pojmu molární hmotnost.
- Samotné počítání je vhodné doplnit i experimentem. Spočítejme se studenty například navážku hliníku a jódu pro syntézu jodidu hlinitého a následně pokus demonstrujme (pro pokus je třeba použít digestoř, pokud ji nemáme k dispozici, můžeme zvolit například aluminotermii s oxidem železitým).
- U mnoha příkladů se dá udělat před samotným výpočtem alespoň rozměrový odhad. Trénujme se studenty představu o velikosti výsledku (zda bude výsledné číslo menší než molární hmotnost, či větší atd.). Díky tomu jsou pak žáci citlivější k rozpoznání hrubé chyby při výpočtu.

Výpočty s kombinací vzorců vyjadřujících látkové množství

- Provázanost vztahů pro vyjádření látkového množství je klíčová. K příkladům se dá přistupovat různými způsoby, ať už přes trojčlenky, kombinaci trojčlenky a vzorce, přes vzorce či přes kombinaci vzorců. Opět je velmi žádoucí studentům nastínit větší množství cest, a pokud je některá z nich v daný moment výhodnější, upozornit na tento fakt.
- Podporujeme i analytické myšlení, a to nejprve samotnou kombinací vzorců, následným vyjádřením hledané neznámé a až nakonec dosazením zadaných proměnných. Je vhodné i zdůvodnit, proč je dosazení až posledním krokem (nemusíme opisovat dlouhá čísla, menší riziko chyby při přepisu a nakonec i přesnější výsledek, protože během jednotlivých kroků nezaokrouhlujeme mezivýpočty).
- Pro správný odhad dané situace je velmi vhodné prvotní vypsání všech zadaných hodnot ze zadání. Ve chvíli, kdy studenti vidí označené veličiny s jejich jednotkami, lépe mohou navrhnout postup vedoucí k výsledku. Některým může pomoci i tzv. zpětný pohled do zrcátka, tedy že si napíše vztah, ve kterém se vyskytuje hledaná veličina, a pak zjišťují, co všechno pro její určení potřebují. Takto postupují, dokud neumí spočítat a vyjádřit všechny potřebné mezikroky.