

Faradayův zákon elektrolýzy

Hmotnost látky m přeměněné při elektrolýze na elektrodě je úměrná prošlému náboji Q : $m = AQ$, kde A je elektrochemický ekvivalent.

Nejmenší náboj přenesený při elektrolýze je roven elementárnímu elektrickému náboji e , což je důkazem kvantování elektrického náboje.

Dnes můžeme na základě atomistických představ psát $A = \frac{M_r u}{Z e}$, kde M_r je relativní atomová hmotnost atomu, Z je stupeň ionizace atomu (iontu) v elektrolytu (oxidační stupeň, též mocenství), u je atomová hmotnostní konstanta a e elementární elektrický náboj. Platí totiž $A = \frac{m}{Q} = \frac{NM_r u}{NZe}$, kde N je počet prošlých iontů, a tedy i atomů vyloučených na elektrodě, nositeli elektrického náboje v elektrolytu jsou ionty s nábojem Ze , které na elektrodě zachytí či odevzdají elektrony a vylučují se jako atomy s hmotností $M_r u$.

Vyjádříme Faradayovu a Avogadrovu konstantu

Podobně vypočteme i Avogadrovu konstantu :

$$N_A = \frac{F}{e} = 5,96 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Jak jsou molekuly a atomy veliké?

Z výsledků kvantové fyziky a krystalografických měření vyplývá, že velikost atomů a molekul je řádově 10^{-9} až 10^{-10} m. Je třeba si přitom uvědomit, že molekulu může tvořit i jediný atom v případě vzácných plynů, nebo i stovky a tisíce atomů, jak je tomu v případě makromolekulárních organických látek.

Ukázalo se, že jednotka atomové hmoty má $m = 1.66 \cdot 10^{-24}$ gramů
Kdybychom každému člověku na Zemi dali miliardu molekul, kolik látky bychom takto rozdali?

Několik miliontin gramu.

1. Odhady rozměrů atomů

Kolik molekul je v krychličce vzduchu o hraně 1mm? Asi $27 \cdot 10^{15}$.

Čím se dá zvážit nebo zjistit hmotnost vzduchu kromě fyzikálních tabulek? (Michaela Marková)

Odpověď: Možností je několik, uvěďme proto jen dva příklady. Měřit můžeme třeba tak, že pumpičkou natlakujeme dostatek vzduchu třeba do PET láhve (musíme si k tomu vyrobit vhodný ventil, např. cykloventilek vsazený do víčka láhve). Takto natlakovanou láhev zvážíme a výsledek si zapíšeme. Potom z láhve upustíme 1 litr vzduchu (dobře se to dělá třeba hadičkou do jiné láhve pod vodou) a takto odlehčenou láhev opět zvážíme. Rozdíl naměřených hmotností je pak hmotností jednolitra vzduchu za běžného atmosférického tlaku.

Další možností je pak třeba výpočet nebo odhad. Ze školy si pamatujeme, že jeden mol plynu zabírá za běžných podmínek objem 22,4 litru. Vzduch je složen převážně z dusíku (asi 78%) a kyslíku (asi 20%). Jádro atomu dusíku tvoří 7 protonů a obvykle 7 neutronů, molekulu dusíku však tvoří dva atomy, hmotnost jednoho molu dusíku je tedy přibližně $2 \cdot (7+7) = 28$ gramů. Jádro atomu kyslíku je tvořeno 8 protony a obvykle 8 neutrony, molekulu opět tvoří dva atomy, mol kyslíku tedy váží zhruba $2 \cdot (8+8) = 32$ gramů. Je-li vzduch směsí hlavně dusíku a kyslíku, bude jeho molární hmotnost kdesi mezi 28 a 32 gramy na mol, vzhledem k většímu zastoupení dusíku asi blíže k těm 28 g/mol, počítejme tedy s 29 g/mol. Jestliže tedy 1 mol má objem 22,4 litru a váží 29 gramů, potom jeden litr musí vážit 22,4 krát méně, tedy přibližně 1,3 gramu (což je v docela dobré shodě s výsledky měření výše popsanou metodou s tlakováním PET láhve).

Jak lze odhadnout rozměry molekul, atomů:

5 cm^3 ($5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$) oleje se vylije na klidnou vodní hladinu do plochy 0,2ha – 2000m²/Franklin/, olej vytvoří stejnorodou vrstvu, představíme-li si, že výška olejové vrstvy odpovídá rozměru molekuly, získáme přibližný odhad $2,5 \cdot 10^{-9}$ m.

Představme si vypařování vody jako by šlo o rozebírání velké kostky na malé kostičky, dojde ke zvětšení povrchu, chceme-li zvýšit povrch kapaliny víme, že musíme potřebovat energii sigma.krát P. Sigma – 0.072 J/m².

Viz str.32 Pišút, Zajac ---vyjde $d=2,1 \cdot 10^{-10}\text{m}$.

Ostře zapáchající látky 1 kapička karbolu stačí provonět 10 velkých místností, z toho lze také odhadovat na velikosti molekul..

Úloha č. 1:

Kolik molekul představuje objem 2 dcl chemicky čisté vody?

Řešení úlohy:

Dané veličiny:

$$H_2O ; V = 2 \text{ dcl} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 ; \rho = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} ;$$

Hmotnost daného objemu vody je $m = \rho \cdot V \Rightarrow m = 0,2 \text{ kg}$. Látkové množství vody určíme pomocí její relativní molekulové hmotnosti:

$$H_2O \Rightarrow M_r = 2A_{H,r} + A_{O,r} ; A_{H,r} = 1, A_{O,r} = 16 \Rightarrow M_r = 2 \cdot 1 + 16 = 18;$$

$$M_m = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} .$$

$n = m/M_m \Rightarrow n = 0,2/0,018 \text{ mol} = 11,1 \text{ mol}$. Počet molekul vody je $N = n \cdot N_A$ a tedy

$$N = 11,1 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 6,7 \cdot 10^{24} .$$

2 dcl čisté vody představuje $6,7 \cdot 10^{24}$ molekul H_2O .

Úloha č. 2:

Odhadněte rozměry molekuly vody pomocí Avogadrovy konstanty.

Řešení úlohy:

Dané veličiny:

$$H_2O ; N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} ; \rho = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} ;$$

Protože nám jde pouze o přibližný odhad velikosti molekuly, budeme ji modelovat co nejjednodušším geometrickým tělesem - např. krychličkou o délce hrany a . Objem jedné molekuly je a^3 ; n molekul vody zaujímá objem $V = n a^3$ a její celková hmotnost je

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot n \cdot a^3 = n \cdot m_m ,$$

kde ρ je hustota vody a m_m hmotnost jedné její molekuly. Pro hledanou velikost dostáváme

$$a = \sqrt[3]{\frac{m_m}{\rho}} .$$

Hmotnost m_m určíme pomocí molární hmotnosti vody (H_2O) $M_m = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ a Avogadrovy konstanty $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ pomocí vztahu

$$m_m = \frac{M_m}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg} .$$

Dosadíme-li tuto hmotnost do vztahu pro délku hrany krychle, dostaneme $a = 3,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

Přibližná velikost molekuly vody je $3,1 \cdot 10^{-9}$ m.

Uvedená úvaha je příkladem, ukazujícím důležitost Avogadrovy konstanty N_A . Tato konstanta umožňuje přechod od termodynamického popisu k popisu pomocí statistické fyziky nebo jinak - od popisu, při němž předpokládáme spojité rozložení látky k popisu, při němž předpokládáme její nespojitě rozložení v podobě atomů, molekul nebo iontů. Ukazuje se však, že i když je struktura látky částicová, je možné v případě, kdy je daná soustava dostatečně velká (početná), popisovat změny této soustavy spojitě. Je to výhodné zejména proto, že v tomto případě lze využít metody integrálního a diferenciálního počtu.

Za kritérium, pomocí něhož můžeme rozhodnout o možnosti spojitěho popisu, slouží např. podíl celkové hmotnosti m dané soustavy k hmotnosti m_0 částic, z nichž se soustava skládá. Termodynamický, tj. spojitý popis dané soustavy je možný tehdy, platí-li:

$$\frac{m}{m_0} \gg 1.$$

1. Určete molární hmotnost vzduchu. Pro jednoduchost předpokládejte, že vzduch tvoří směs složená ze 79% dusíku a 21% kyslíku. Molekuly obou plynů jsou dvouatomové.

$$28,84 \text{ g.mol}^{-1}$$

2. Předpokládejme, že vaše polévková lžice o hmotnosti 22 g je z nerezové oceli, která je slitinou 84,9 % železa, 15 % chrómu a 0,1% uhlíku. Určete počet molekul, které tuto lžici tvoří.

$$2,41 \cdot 10^{23}$$

Z předchozích kapitol je zřejmé, že počet částic, které tvoří předměty, které nás obklopují v běžném životě představují **makrosystémy** a počet částic, které je tvoří je obrovský, v řádech hodnoty Avogadrovy konstanty $\approx 6,02 \cdot 10^{23}$. Tak velké soubory lze efektivně popsat pomocí dvou matematických disciplín – **statistiky** a **počtu pravděpodobnosti**.

Pokusme se odhadnout, kolik atomů vytváří předměty, které nás obklopují – šálek, kniha, mikrovlnná trouba apod. Velikost těchto předmětů je řádově v decimetrech. Přibližný počet atomů, které je tvoří, dostaneme tak, že objem těchto předmětů $V \approx 10^{-3} m^3$ vydělíme přibližným objemem jednoho atomu $V_0 \approx 10^{-27} m^3$. Výsledkem je přibližně 10^{24} atomů – číslo, k jehož zapsání potřebujeme 25 číslic!

Molární hmotnost M_m je definovaná jako podíl hmotnosti m látky a jejího látkového množství n :

$$M_m = \frac{m}{n} \quad ; \quad [M_m] = kg \cdot mol^{-1} \quad (M_m = M_r \cdot 10^{-3} kg \cdot mol^{-1}).$$

Chceme-li znát počet atomů nebo molekul v soustavě známé hmotnosti, zjistíme pomocí molární hmotnosti počet molů, z nichž se soustava skládá a vynásobíme jej Avogadrovou konstantou.

Molární objem V_m je definován jako podíl objemu V dané látky za daných podmínek a odpovídajícího látkového množství n :

$$V_m = \frac{V}{n} \quad ; \quad [V_m] = m^3 \cdot mol^{-1}.$$

