

1 Základné pojmy veličiny

1.1 Látkové množstvo

1. Vypočítajte Avogadrovu konštantu pre jeden mól látky z atómovej hmotnostnej jednotky.

Riešenie

Podľa definície, jeden mól látky obsahuje práve toľko častíc, koľko častíc obsahuje 12g uhlíka ^{12}C . Počet týchto častíc teda bude 12g / hmotnosť jednej častice ^{12}C v gramoch. Táto hmotnosť je podľa definície atómovej hmotnostnej jednotky, u , $12u$. Avogadrova konštanta, N_A , teda bude:

$$N_A = \frac{12[\text{g}]}{12u[\text{g}]} = \frac{1[\text{g}]}{u[\text{g}]}$$

Atómová hmotnostná jednotka, u , predstavuje $1.660539040 \times 10^{-24}\text{g}$. Po dosadení číselných hodnôt (a zaokrúhlení) dostaneme:

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ častíc/mól}$$

Komentár

- Skontrolujte hodnotu Avogadrovej konštanty, N_A , v tabuľke základných fyzikálnych konštánt na <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/>
- Všimnite si, že súčin $N_A \times u$ predstavuje 1g látky, ak Avogadrova konštanta predstavuje počet častíc/mól a atómová hmotnostná jednotka je v [g].

2. Vypočítajte Avogadrovu konštantu pre jeden kmól látky z atómovej hmotnostnej jednotky.

Riešenie je analogické ako v predchádzajúcom prípade, len treba dať pozor na správne používanie jednotiek. Podľa definície, jeden kmól látky obsahuje práve toľko častíc, koľko častíc obsahuje 12kg uhlíka ^{12}C . Počet týchto častíc teda bude 12kg / hmotnosť jednej častice ^{12}C v kilogramoch. Táto hmotnosť je podľa definície atómovej hmotnostnej jednotky, u , $12u$. Avogadrova konštanta, N_A , teda bude:

$$N_A = \frac{12[\text{kg}]}{12u[\text{kg}]} = \frac{1[\text{kg}]}{u[\text{kg}]}$$

Atómová hmotnostná jednotka, u , predstavuje $1.660539040 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$N_A = 6.022 \times 10^{26} \text{ častíc/kmól}$$

Komentár

- Skontrolujte hodnotu Avogadrovej konštanty, N_A , v tabuľke základných fyzikálnych konštánt na <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/>
- Všimnite si, že súčin $N_A \times u$ predstavuje 1kg látky, ak Avogadrova konštanta predstavuje počet častíc/kmól a atómová hmotnostná jednotka je v [kg].

Ako je to v prípade chemických prvkov iných ako uhlík?

3. Vypočítajte hmotnosť jedného mólu kremíka, Si, ak relatívna atómová hmotnosť kremíka je 28.0855.

Riešenie

Vieme, že jeden mól kremíka obsahuje $N_A = 6.022$ častíc, v tomto prípade atómov kremíka. Relatívna atómová hmotnosť kremíka je 28.0855. To znamená, že absolútna hmotnosť jedného atómu kremíka je $28.0855u$ [g]. Hmotnosť jedného mólu kremíka teda bude:

$$m_{Si} = N_A \times 28.0855u$$

Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$m_{Si} = 28.0855g.$$

Komentár

V tomto prípade nemusíme dosadzovať všetky číselné hodnoty. Využijeme poznatok z predchádzajúceho výpočtu, že súčin $N_A \times u$ predstavuje 1g látky, ak Avogadrova konštanta predstavuje počet častíc/mól a atómová hmotnostná jednotka je v [g]. Hmotnosť jedného mólu kremíka sa preto „jednoducho“ číselne rovná jeho relatívnej atómovej hmotnosti $\times 1g$. Podobne by sme samozrejme postupovali pri výpočte hmotnosti 1 kmólu kremíka.

4. Vypočítajte hmotnosť jedného mólu, resp. jedného kmólu prvkov, používaných často v elektrotechnickom priemysle, a to Ge (polovodič), Cu (vodič), Al (vodič) a Fe (konštrukčný materiál). Relatívne atómové hmotnosti podľa www.webelements.com sú:

Ge ... 72.64

Cu ... 63.546

Al ... 26.9815386

Fe ... 55.845

V zmysle predchádzajúceho poznatku, hmotnosti jedného mólu, resp. jedného kmólu týchto prvkov budú:

Ge ... 72.64g, resp. 72.64kg

Cu ... 63.546g, resp. 63.546kg

Al ... 26.9815386g, resp. 26.9815386kg

Fe ... 55.845g, resp. 55.845kg

Komentár

Možno teda urobiť zovšeobecnenie, že na „výpočet“ hmotnosti jedného mólu, resp. jedného kmólu ľubovoľného prvku stačí v periodickej tabuľke prvkov vyhľadať jeho relatívnu atómovú hmotnosť a túto vynásobiť 1g, resp. 1kg. Aby sme sa vyhli nedorozumeniam a chybám, správna formulácia by mala znieť, že „jeden mól kremíka má hmotnosť (alebo váži) 28.0855g“ namiesto „jeden mól kremíka je 28.0855g, pretože podľa definície látkového množstva, jeden mól kremíka je 6.022×10^{23} častíc (atómov) kremíka.

Relatívne atómové hmotnosti prvkov udávané v periodickej tabuľke chemických prvkov zohľadňujú aj zastúpenie jednotlivých izotopov týchto prvkov v prirodzenej zmesi. Ide teda o priemerovanú hodnotu zohľadňujúcu podiel jednotlivých izotopov v prirodzenej zmesi. V mnohých prípadoch výrazne prevláda jeden izotop. V takomto prípade môžeme relatívnu atómovú hmotnosť príslušného prvku dostatočne presne nahradiť hmotnostným číslom tohto prevládajúceho izotopu, najmä v prípade orientačných výpočtov alebo výpočtov, pri ktorých sú použité aj ďalšie priblíženia a z hľadiska presnosti výpočtu nemá zmysel udávať relatívne atómové hmotnosti s extrémnou presnosťou.

5. Aké látkové množstvo predstavuje 1 tona uhlia spaľovaného v klasickej tepelnej elektrárni?

Riešenie

Relatívna hmotnosť uhlíka podľa www.webelements.com je 12.0107. Platí teda priama úmera:

1 kmól uhlíka 12.0107kg uhlíka

x kmólov uhlíka 1000kg uhlíka

$$\frac{x}{1} = \frac{1000}{12.0107} = 83.26 \text{ kmólov}$$

Komentár

Prečo relatívna atómová hmotnosť uhlíka nie je presne 12.0000? Je to v súlade s definíciou atómovej hmotnostnej jednotky?

Ako palivo v jadrových reaktoroch alebo ako náplň atómových bômb sa používa obohatený urán, t.j. urán so zvýšeným zastúpením izotopu ^{235}U . V prírodnej zmesi je ho iba okolo 0.72%. Pre využitie uránu ako jadrového paliva je potrebné zvýšiť zastúpenie izotopu ^{235}U z 0.72% väčšinou na 6 – 8%. Pre použitie v atómovej bombe je potrebné zvýšiť koncentráciu až na hodnotu okolo 90%.

- 6. Vypočítajte hmotnosť jedného kmólu prírodného uránu a uránového paliva obohateného na a) 7% a b) 90%.**

Riešenie

Podľa Mendelejevovej PTP má urán nasledovné zastúpenie izotopov:

^{234}U	234.0409468	0.0055 at. %
^{235}U	235.0439242	0.7200 at. %
^{238}U	238.0507847	99.2745 at. %

Hmotnosť takejto zmesi izotopov [v kg] teda bude:

$$N_A(0.000055 \times 234.0409468 + 0.0072 \times 235.0439242 + 0.992745 \times 238.0507847)u$$

Samotný výraz:

$$(0.000055 \times 234.0409468 + 0.0072 \times 235.0439242 + 0.992745 \times 238.0507847)$$

má význam strednej hodnoty relatívnej hmotnosti jedného atómu uránu a má hodnotu 238.0289147633155. Táto hodnota je konzistentná s údajom o relatívnej atómovej hmotnosti uránu v PTP (238.02891). Hmotnosť jedného kmólu prirodzenej zmesi uránu potom bude 238.02891kg.

Pri výpočte hmotnosti uránového paliva obohateného na 7% zanedbáme izotop ^{234}U :

$$N_A(0.07 \times 235.0439242 + 0.93 \times 238.0507847)u = 237.8403kg$$

Palivo atómovej bomby obohatené na 90%:

$$N_A(0.9 \times 235.0439242 + 0.1 \times 238.0507847)u = 235.3446kg$$

Analogicky postupujeme aj v prípade zmesi iných častíc s rôznymi hmotnosťami; nemusí ísť práve o zmes rôznych izotopov toho istého chemického prvku.

7. Vypočítajte hmotnosť jedného mólu vzduchu.

Riešenie

Budeme uvažovať veľmi zjednodušený model vzduchu ako zmes dvoch hlavných plynov; 20% O₂ a 80% N₂. Hmotnosti molekuly kyslíka O₂ a dusíka N₂ získame ako dvojnásobok hmotnosti atómu kyslíka a dusíka z PTP. Hmotnosť molekuly kyslíka O₂ bude 2×15.9994 = 31.9988 a hmotnosť molekuly dusíka N₂ bude 2×14.0067 = 28.0134. Priemerná relatívna hmotnosť jednej molekuly vzduchu potom bude:

$$0.2 \times 31.9988 + 0.8 \times 28.0134 = 28.81048$$

Jeden mól vzduchu teda váži 28.8105g.

Komentár

Tento údaj je odvodený z definície látkového množstva ako určitého počtu častíc látky. Nebude teda závisieť ani od tlaku, ani od teploty vzduchu.

V prípade chemických zlúčenín budeme za základnú časticu látky považovať jej molekulu. Zo známeho chemického zloženia určíme hmotnosť molekuly ako súčet hmotností atómov, z ktorých sa táto molekula skladá.

8. V obchode si kúpime 1kg kuchynskej soli. Aké látkové množstvo (t.j. koľko mólov) soli sme si kúpili?

Riešenie

Chemické zloženie kuchynskej soli je NaCl. Relatívna hmotnosť jednej molekuly kuchynskej soli je 22.98976928 (Na) + 35.453 (Cl) = 58.44277 (NaCl). Hmotnosť jedného mólu je teda 58.44277g. Platí priama úmera:

1 mól kuchynskej soli 58.44277g
x mólov kuchynskej soli 1000g

$$\frac{x}{1} = \frac{1000}{58.44277} = 17.111 \text{ mólov}$$

Komentár

- Hmotnosť jedného mólu nejakej látky sa nazýva **molárna hmotnosť**.
- Vyhľadajte molárnu hmotnosť kuchynskej soli na https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlorid_sodný

9. Určite molárnu hmotnosť vody a porovnajte ju s údajom na internete.

Riešenie

Chemické zloženie vody je H₂O. Molárna hmotnosť vody preto bude:

$$2 \times 1.00794 + 1 \times 15.9994 = 18.01528 \text{ g/mól}$$

Údaj sa nachádza napríklad na <https://sk.wikipedia.org/wiki/Voda>.

10. Priemerný prietok Dunaja je v ústí 6500m³/s, v Budapešti 2350m³/s, v Bratislave 2025m³/s a vo Viedni 1900m³/s. Prepočítajte tieto prietoky na kmól/s.

Riešenie

Z predchádzajúceho príkladu vieme, že molárna hmotnosť vody je 18.01528g/mól = 18.01528kg/kmól. Hustota vody je 1g/cm³ = 1kg/liter = 1000kg/m³. Platí úmera:

1 kmól vody 18.01528kg

x kmólov vody 6500000kg

$$\frac{x}{1} = \frac{6500000}{18.01528} = 360805 \text{ kmólov/s}$$

Podobne pre prietoky v Budapešti, Bratislave a vo Viedni dostaneme 130445 kmólov/s, 112405 kmólov/s a 105466 kmólov/s.

Voda je najdôležitejšou zložkou v ľudskom organizme. Je našou súčasťou už od vývinu, keď tvorí až 80% hmotnosti embrya, u novorodenca je to 75% hmotnosti tela. S pribúdajúcim vekom klesá množstvo vody v našom tele. U dospelého človeka predstavuje voda 2/3 hmotnosti, čo je 55-65%, v neskoršom veku voda tvorí už len 50% našej hmotnosti. Zastúpenie vody tvorí v srdci 80-90%, v krvi 83% a v mozgu 80%. Svalové tkanivo obsahuje 75% vody, pričom tukové tkanivo len 20%. Práve tento fakt spôsobuje, že obézni ľudia mávajú často krát nedostatok vody v tele, niekedy až na hranici dehydratácie.

11. Aké látkové množstvo vody obsahuje telo dospelého človeka (uvažujte jeho hmotnosť 80kg a podiel vody 60%)?

Riešenie

60% z 80kg je 48kg. Treba teda prepočítať 48kg vody na látkové množstvo, pričom využijeme poznatok, že molárna hmotnosť vody je 18.01528kg/kmól. Platí priama úmera:

1 kmól vody 18.01528kg
x kmólov vody 48kg

$$\frac{x}{1} = \frac{48}{18.01528} = 2.6644 \text{ kmólov}$$

1.2 Hustota a koncentrácia

1. Odvodte vzťah medzi hustotou látky a koncentráciou jej častíc na jednotku objemu.

Riešenie

Ide o spojenie definícií látkového množstva a hustoty. Označme koncentráciu n , molárnu hmotnosť M a hustotu ρ . Platí priama úmera:

1 mól látky obsahuje vždy N_A častíc a má hmotnosť Mg
1 cm³ látky bude obsahovať n častíc a má hmotnosť ρg

$$\frac{n}{N_A} = \frac{\rho}{M} \Rightarrow n = \frac{N_A \rho}{M}$$

Komentár

- Aký je význam podielu ρ/M ? ρ je hmotnosť určitého množstva látky zabierajúceho jednotkový objem a M je hmotnosť jedného mólu látky, t.j. **jednotkového množstva látky**. Podiel ρ/M teda predstavuje látkové množstvo, ktoré „sa zmestí“ do hmotnosti ρ . Toto látkové množstvo vynásobené Avogadrovou konštantou potom predstavuje hľadaný počet častíc v jednotkovom objeme. Presne to isté platí aj pre podiel n/N_A .
- Urobte rozmerovú analýzu výsledku:

$$\frac{n}{N_A} = \frac{\rho}{M} \Rightarrow n[1/cm^3] = \frac{N_A[1/mól]\rho[g/cm^3]}{M[g/mól]}$$

2. Vypočítajte koncentráciu častíc čistej vody s hustotou $\rho = 1g/cm^3$. Koncentráciu vyjadrite:

- ako počet molekúl na jednotku objemu;
- ako počet atómov na jednotku objemu;
- potom vypočítajte počet častíc v 0.5dl čistej vody.

Riešenie

Použijeme vzťah z predchádzajúceho príkladu, pričom molárna hmotnosť vody je 18.01528g/mól.

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{1 \times 6.022 \times 10^{23}}{18.01528} = 3.3427 \times 10^{22} \text{ častíc/cm}^3$$

V tomto prípade je časticou vody jej molekula. Ak by sme to chceli vyjadriť ako **počet atómov na jednotku objemu**, treba zohľadniť počet atómov v jednej molekule vody. Molekula vody má tri atómy (H_2O), takže koncentráciu molekúl treba vynásobiť tromi. Výsledok je **1.00282×10^{23} atómov/cm³**.

0.5dl vody = 5cl = 50ml = 50cm³. Počet molekúl v 0.5dl vody bude $50 \times 3.3427 \times 10^{22} = 16.7136 \times 10^{23}$.

Komentár

Pri používaní rôznych programov treba vždy dávať pozor **na definície** fyzikálnych veličín.

```

SR Calculation: SRIM Outputs\Hydrogen in Water_Liquid (ICRU-276).txt
=====
SRIM version ---> SRIM-2013.00
Calc. date ---> February 20, 2017
=====

Disk File Name = SRIM Outputs\Hydrogen in Water_Liquid (ICRU-276).txt

Ion = Hydrogen [1] , Mass = 1.008 amu

Target Density = 1.0000E+00 g/cm3 = 1.0029E+23 atoms/cm3
===== Target Composition =====
Atom   Atom   Atomic   Mass
Name   Numb   Percent   Percent
-----
  H      1    066.67    011.19
  O      8    033.33    088.81
=====
Bragg Correction = -6.00%
Stopping Units = eV / Angstrom
See bottom of Table for other Stopping units

Ion      dE/dx      dE/dx      Projected      Longitudinal      Lateral
Energy   Elec.      Nuclear    Range          Straggling        Straggling
-----
10.00 keV 4.283E+00 8.659E-02 2625 A          697 A             723 A

```

3. Vypočítajte koncentrácie hliníka (Al) ako reprezentanta „ľahkého“ materiálu a olova (Pb) ako reprezentanta „ťažkého“ materiálu.

Riešenie

Použijeme rovnaký vzťah z predchádzajúceho príkladu, pričom potrebné hodnoty vyhľadáme v PTP. Pre hliník (Al):

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{2.7 \times 6.022 \times 10^{23}}{26.9815386} = 6.0261 \times 10^{22} \text{ častíc/cm}^3$$

Periodic Table of the Elements					
13	Al	Nat. Wgt. = 26.982	Density = 2.702 g/cm ³		
		MAI Mass= 27	Atom Dens. = 6.031E+22 at/cm ³		
		MAI Wgt.= 26.982	Heat Subl. = 3.36 eV		
			Fermi Vel. = 0.905 eV		
IA	Aluminum				VIII
H	IA		IIIB IVB VB VIB VIIB		He

Pre olovo (Pb):

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{11.34 \times 6.022 \times 10^{23}}{207.2} = 3.296 \times 10^{22} \text{ častíc/cm}^3$$

Periodic Table of the Elements			
82	Pb	Nat. Wgt. = 207.19	Density = 11.3437 g/cm3
		MAI Mass= 208	Atom Dens. = 3.297E+22 at/cm3
		MAI Wgt.= 207.977	Heat Subl. = 2.03 eV
			Fermi Vel. = 0.849 eV
		Lead	
IA			VIII
H IA		IIIB IVB VB VIB VIIB	He

4. Vypočítajte a porovnajte koncentrácie atómov uhlíka v grafitu a diamante.

Riešenie

Uhlík kryštalizuje v dvoch rôznych kryštalografických sústavách. V závislosti od toho vytvára buď grafit (hexagonálna mriežka, hustota 2,09 – 2,23g/cm³) alebo diamant (kubická mriežka, hustota 3,5 – 3,53g/cm³). Použijeme rovnaký vzťah ako v predchádzajúcom príklade, pričom molárna hmotnosť uhlíka je 12.0107g/mol. Hustotu grafitu uvažujeme 2.1g/cm³ a hustotu diamantu uvažujeme 3.5g/cm³. Po dosadení číselných hodnôt dostaneme pre grafit:

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{2.1 \times 6.022 \times 10^{23}}{12.0107} = 1.0529 \times 10^{23} \text{ častíc/cm}^3$$

a pre diamant:

$$n = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{3.5 \times 6.022 \times 10^{23}}{12.0107} = 1.7549 \times 10^{23} \text{ častíc/cm}^3$$

5. Vypočítajte objem jedného mólu plynu pri atmosférickom tlaku (1atm) a teplote 0°C (273K).

Riešenie

Použijeme poznatky z predchádzajúcich príkladov a stavovú rovnicu ideálneho plynu v tvare: $p=nkT$, kde p je tlak v [Pa], n je koncentrácia v [m⁻³], k je Boltzmannova konštanta a T je teplota v [K]. Boltzmannova konštanta má podľa <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/> hodnotu $1.38064852 \times 10^{-23}$ J/K. Po dosadení číselných hodnôt dostaneme pre koncentráciu $n=p/(kT)$ hodnotu 267.9635×10^{23} častíc/m³. Platí priama úmera:

267.9635×10^{23} častíc zaberá objem 1m^3

N_A častíc (1mól) zaberá objem V

$$V[\text{m}^3] = \frac{N_A}{n} = \frac{6.022 \times 10^{23}}{267.9635 \times 10^{23}} = 0.02247\text{m}^3 = 22.4 \text{ litra}$$

Komentár

- Platí obecné pravidlo, že **jeden mól ľubovoľného plynu zaberá** pri atmosférickom tlaku a teplote 0°C **objem 22.4 litra**.
- Pri inej teplote, resp. pri inom tlaku treba urobiť korekciu podľa stavovej rovnice ideálneho plynu $pV/T = \text{konšt.}$
- Urobte rozmerovú kontrolu rovnice $p = nkT$: $p[\text{N/m}^2] = n[1/\text{m}^3]k[\text{J/K}]T[\text{K}] = nkT[\text{J/m}^3] = nkT[\text{Nm/m}^3] = nkT[\text{N/m}^2]$.

6. Odvod'te vzťah pre hustotu plynu (pri atmosférickom tlaku a teplote 0°C).

Riešenie

Pre pevnú látku sme odvodili:

$$\frac{n}{N_A} = \frac{\rho}{M} \Rightarrow \rho = \frac{nM}{N_A}$$

Koncentráciu plynu, n , dostaneme z priamej úmery:

N_A častíc zaberá objem $22.4 \text{ litra} = 22.4 \times 10^3 \text{cm}^3$

n častíc zaberá objem 1cm^3

$$\frac{n}{N_A} = \frac{1}{22.4 \times 10^3} \Rightarrow n = \frac{N_A}{22.4 \times 10^3}$$

Tento vzťah je vlastne priamo **definičným vzťahom pre koncentráciu**, t.j. počet častíc na jednotku objemu. Po dosadení za koncentráciu do predchádzajúceho vzťahu dostaneme pre výslednú hustotu plynu:

$$\rho = \frac{nM}{N_A} = \frac{N_A}{22.4 \times 10^3} \frac{M}{N_A} = \frac{M}{22.4 \times 10^3}$$

Tento vzťah je opäť priamo **definičným vzťahom pre hustotu**, t.j. hmotnosť (jedného mólu) podelená príslušným objemom (jedného mólu).

Komentár

- Treba si uvedomiť, že pri atmosférickom tlaku 1.01×10^5 Pa obsahuje objem 22.4 litra 6.022×10^{23} častíc (t.j. N_A častíc). Na jeden liter pripadne približne 2.7×10^{22} častíc. Ak by sme vo vákuovej aparátúre znížili tlak o 11 rádov na 10^{-6} Pa (toto je už veľmi kvalitné vákuum, aké vieme dosiahnuť v laboratórnych podmienkach), ešte stále tam budeme mať 2.7×10^{11} častíc/liter. Reálne vákuum teda nie je úplne „prázdny“ priestor, ale priestor, v ktorom je tlak plynu **menší ako atmosférický tlak**. Najnižšie hodnoty tlaku dosiahnuteľné v laboratórnych podmienkach súčasnými technickými prostriedkami sú rádovo 10^{-11} Pa. Pri takomto tlaku bude v aparátúre ešte stále 2.7×10^6 častíc/liter.

7. Vypočítajte hustotu vzduchu (pri atmosférickom tlaku a teplote 0°C).

Riešenie

Použijeme práve odvodený vzťah:

$$\rho = \frac{M}{22.4 \times 10^3}$$

Za molárnu hmotnosť vzduchu dosadíme hodnotu, vypočítanú na predchádzajúcom cvičení, a to 28.8105g. Po dosadení číselných hodnôt dostaneme:

$$\rho = \frac{28.8105}{22.4 \times 10^3} = 1.286 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

8. Obsah CO vo vzduchu je 9 ppm. Vyjadrite toto množstvo v:

- percentách
- v mg/m^3 pri tlaku 10^5 Pa a 0°C
- v mg/m^3 pri tlaku 10^5 Pa a teplote 25°C

Riešenie

Odvoďme najprv všeobecne prevod medzi koncentráciou v jednotkách ppm a mg/m^3 . Uvažujme koncentráciu c ppm. To znamená, že v 1m^3 vzduchu sa nachádza $c \times 10^{-6}\text{m}^3$ prímiesi.

Potrebuje zistiť hmotnosť tejto prímеси, aby sme dostali koncentráciu v mg/m^3 . Platí priama úmera:

1 mól plynu zaberá objem $22.4 \text{ litra} = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ a váži $M \text{ g}$
 x mólov zaberá objem $c \times 10^{-6} \text{ m}^3$ a váži $Mx \text{ g}$

Hmotnosť prímеси v mg teda bude $Mx \times 10^3$, pričom x vypočítame z priamej úmery ako $x = c \times 10^{-6} \text{ m}^3 / 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = c \times 10^{-3} / 22.4$. Výraz $c \times 10^{-3} / 22.4$ predstavuje **látkové množstvo prímеси**. Jej hmotnosť potom bude $M \times c \times 10^{-3} \times 10^3 / 22.4 = M \times c / 22.4 \text{ mg}$. Výsledný prevodový vzťah medzi koncentráciou v $[\text{ppm}]$ a $[\text{mg/m}^3]$ bude:

$$c[\text{mg/m}^3] = \frac{M \times c[\text{ppm}]}{22.4}$$

ppm znamená relatívnu koncentráciu 10^{-6} jednotiek na 1 jednotku. Percento je 10^{-2} jednotiek na 1 jednotku. ppm preto znamená $10^{-4}\%$ a 9 ppm bude $9 \times 10^{-4}\%$.

Po dosadení 9 ppm do prevodového vzťahu dostaneme:

$$c[\text{mg/m}^3] = \frac{M \times c[\text{ppm}]}{22.4} = \frac{(12.0107 + 15.9994) \times 9}{22.4} = 11.25 \text{ mg/m}^3$$

Pri teplote 25°C (a zachovaní toho istého tlaku) sa plyn rozťahne, takže to isté množstvo plynu zaberie väčší objem, resp. do toho istého objemu sa zmestí pri vyššej teplote a tom istom tlaku menšie množstvo plynu. Menšie množstvo plynu bude mať aj úmerne menšiu hmotnosť, a to v pomere teplôt [v Kelvinoch] $273/(273+25)$. Koncentrácia CO vo vzduchu pri 25°C bude preto $11.25 \times 273/298 = 10.31 \text{ mg/m}^3$.

Komentár

- Treba si teda uvedomiť, že pri zmene teploty napríklad v súvislosti so zmenou ročných období alebo medzi dňom a nocou sa budú meniť aj koncentrácie prímеси v jednotkách mg/m^3 .

9. Výfukové plyny z auta obsahujú asi 1% CO. Vyjadrite túto koncentráciu v mg/m^3 pri teplote 25°C .

Riešenie

Postup bude analogický ako v predchádzajúcom príklade:

$$c[\text{mg/m}^3] = \frac{(12.0107 + 15.9994) \times 10^4}{22.4} \times \frac{273}{298} = 11.455 \text{ g/m}^3$$

10. Priemerná koncentrácia SO_2 je $400 \mu\text{g/m}^3$ pri atmosférickom tlaku a teplote 25°C . Vyjadrite túto koncentráciu v jednotkách ppm.

Riešenie

V tomto prípade musíme „otočiť“ vzťah z predchádzajúceho príkladu:

$$c[\text{ppm}] = \frac{22.4 \times c[\text{mg/m}^3]}{M} \times \frac{298}{273} = \frac{22.4 \times 0.4}{(32.065 + 31.9988)} \times \frac{298}{273} = 0.153 \text{ ppm}$$

11. Pri štandardnej kvalite vzduchu je obsah ozónu O_3 približne 0.08 ppm. Vyjadrite toto množstvo v jednotkách $\mu\text{g/m}^3$ pri atmosférickom tlaku a teplotách 20°C a mínus 30°C .

Riešenie

Použijeme známy prevodový vzťah:

$$c[\mu\text{g/m}^3] = \frac{(3 \times 15.9994) \times 0.08 \times 10^3}{22.4} \times \frac{273}{293} = 159.7 \mu\text{g/m}^3$$

$$c[\mu\text{g/m}^3] = \frac{(3 \times 15.9994) \times 0.08 \times 10^3}{22.4} \times \frac{273}{243} = 192.6 \mu\text{g/m}^3$$