

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 29 (2001/2002)

Številka 5

Strani 285-287

Janez Strnad:

## AVOGADROV ZAKON

Ključne besede: fizika, kemija, plinska enačba, molekule, Avogadrov zakon.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/29/1483-Strnad-zakon.pdf>

© 2002 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## AVOGADROV ZAKON

Ob članku o atomih se je pojavilo vprašanje, po kakšni poti je Amedeo Avogadro leta 1811 prišel do zakona, da je v enakih prostorninah plinov pri enakem tlaku in enaki temperaturi enako število molekul. Vprašanje je zanimivo, ker sega v čas, ko je kemike spravljal v zadrego razločevanje atomov in molekul.

Slika 1. Grof Amedeo Avogadro je bil rojen leta 1776 v Torinu v družini znanega pravnika in javnega delavca. V šolo je hodil v domačem kraju in s šestnajstimi leti dosegel prvo stopnjo prava. Štiri leta pozneje je opravil doktorat in začel pravniško prakso. Že prej ga je zanimalo naravoslovje, v novem stoletju pa se je resno začel ukvarjati z njim. Leta 1806 je postal demonstrator na torinski akademiji in leta 1809 profesor naravoslovja na srednji šoli. Leta 1820 je zasedel mesto profesorja za matematično fiziko na torinski univerzi. Toda mesto, prvo svoje vrste na tej univerzi, so ob političnih spremembah ukinili. Pozneje so ga spet uvedli in leta 1834 ga je Avogadro ponovno zasedel ter ostal na njem do upokojitve leta 1850. Umrl je leta 1856. O njem pišejo, da je bil skromen in je veliko delal.



Leta 1808, ko je izšel *Novi sistem kemijske filozofije* Johna Daltona, so kemiki že sprejeli zakon o stalnih masnih razmerjih in zakon o večkratnih masnih razmerjih. Dalton je zagotovil, da vsakemu elementu ustreza določena *atomska masa* (tedaj so govorili o atomski teži), vendar ni poznal načina, da bi jo zanesljivo določil. Izhajal je iz zamisli, da vsako snov sestavljajo atomi in se v spojini dveh elementov veže atom prvega elementa z atomom drugega elementa v "sestavljeni atom".

Joseph Louis Gay-Lussac je leta 1802 z merjenji ugotovil, da je sprememba prostornine plina pri konstantnem tlaku sorazmerna s spremembo temperature.

Danes, ko imamo absolutno temperaturo, lahko rečemo, da je pri konstantnem tlaku prostornina sorazmerna s temperaturo. Gay-Lussac je zapisal *plinsko enačbo* v obliki  $pV = p'V'[1 + \alpha(\vartheta - \vartheta')]$ . Pri tem tlak  $p$ , prostornina  $V$  in Celzijeva temperatura  $\vartheta$  zadevajo končno stanje in ustrezne količine s črticami začetno stanje. Po svojih merjenjih je določil  $\alpha = 1/267^{\circ}\text{C}$ , kar se je razlikovalo od današnje vrednosti  $1/273^{\circ}\text{C}$ .

Pozneje je Gay-Lussac nadaljeval poskuse s plini in raziskoval kemijske reakcije med njimi. Leta 1809 je objavil *Razpravo o spajanju plinskih snovi druge z drugo*. Meril je prostornini plinov, ki se spojita, in prostornino spojine, če je nastala plinasta spojina. Pri številnih poskusih je ugotovil, da sta prostornini plinov, ki se spojita, v razmerju majhnih celih števil in da velja to tudi za prostornino plinaste spojine. Prostornine je meril pri navadnem zračnem tlaku in sobni temperaturi.

Omenimo nekaj Gay-Lussacovih rezultatov. Določena prostornina kisika se z dvojno prostornino vodika spoji v vodo. Določena prostornina dušika se s trojno prostornino vodika spoji v dvojno prostornino amoniaka. Določena prostornina dušika se spoji s polovično prostornino kisika v didušikov oksid, z enako prostornino kisika v dušikov oksid in z dvojno prostornino kisika v dušikov dioksid. Gay-Lussac je delal tudi poskuse s klorovodikom, z ogljikovim oksidom in dioksidom, z žveplovim dioksidom in trioksidom. Kemijsko sestavo nekaterih plinov mora današnji bralec ugotoviti po relativni atomski masi. Zanje so uporabljali nenavadna stara imena, kemijskih formul in enačb pa tedaj še niso pisali.

Masa in prostornina, ki ju je Gay-Lussac meril, se ob kemijski reakciji obnašata različno. Za maso velja ohranitveni zakon, za prostornino pa ne. Na drugi strani so prostornine udeleženi plinov v razmerju majhnih celih števil, mase pa ne. Gay-Lussac je delal tudi poskuse s plinoma, ki sta se spojila v trdno spojino. Ugotovil je, da se določena prostornina klorovodika spoji z enako prostornino amoniaka v sol, amonklorid. Masa se tudi v tem primeru ohrani, a prostornina soli ni v preprosti zvezi s prostorninama plinov na začetku.

Določena masa vodika se je spojila s 7,537-krat tolikšno maso kisika v 8,537-krat tolikšno maso vode. Če je Gay-Lussac meril na začetku prostornino vodika in kisika pri vrelišču vode, se je prostornina nastale vodne pare ujemala z začetno prostornino vodika.

Določena masa dušika se je z 1,14-krat tolikšno maso spojila v 2,14-krat tolikšno maso dušikovega oksida. Iz teh podatkov izračunamo relativni atomski masi dušika 13,238 in kisika 15,074, če vzamemo – tako je bilo tedaj v navadi – za vodik relativno atomsko maso 1. (Z današnjimi podatki bi dobili v tem merilu za dušik 13,899 in za kisik 15,875. Vendar danes navajamo relativne atomske mase v merilu, v katerem ima ogljikov izotop  $^{12}\text{C}$  relativno atomsko maso 12,00000.) Večino merjenj je Gay-Lussac izvedel sam ali s sodelavci, le nekaj podatkov si je sposodil pri drugih. Rezultati kažejo, da zasluži Gay-Lussacovo delo v kemiji enako spoštovanje kot njegovo delo v fiziki.

Gay-Lussac pa obilice podatkov, do katerih se je dokopal, ni do kraja izkoristil. To je storil Amedeo Avogadro, ki je leta 1811 v *Journal de Physique* objavil *Razpravo o načinu določanja relativnih mas elementarnih molekul snovi in razmerij, v katerih vstopajo v te spojine*. Začel je takole: “G. Gay-Lussac je v zanimivi razpravi pokazal, da se plini



vselej spajajo v zelo preprostem razmerju prostornin in, če nastane plin, je njegova prostornina tudi preprosto povezana s prostornino sestavin. Zdi se, da so kvantitativna razmerja snovi v spojinah odvisna samo od relativnega števila molekul, ki se spojijo, in števila sestavljenih molekul, ki nastanejo. Potem moramo priznati, da obstajajo zelo preproste zveze med prostorninami plinskih snovi in številom preprostih ali sestavljenih molekul, ki nastanejo. Prva domneva, ki se v tej zvezi pojavi, in zdi se, da je tudi edina mogoča, je privzetek, da je število sestavljenih molekul v vsakem plinu vselej enako za enake prostornine ali vselej sorazmerno s prostornino.”

Kakor je Dalton razmišljal le o atomih in vpeljal “sestavljene atome”, je Avogadro obravnaval le molekule. V navedenem kratkem odlomku je omenil “elementarne” in “integralne” ter “preproste” in “sestavljene molekule”. Kaj je pravzaprav mislil z enimi in drugimi? Ali je imel elementarne ali preproste molekule za molekule elementov ter integralne ali sestavljene molekule za molekule spojin? Vendar je, ne glede na to, zakon, ki ga je izrekel, obveljal. Pripomnimo, da tedaj niso poznali enoatomnih molekul; poskusov s kovinskimi parami niso delali, žlahtne pline pa so odkrili šele proti koncu stoletja.

Avogadrovega dela sodobniki niso opazili. Šele na prvem velikem mednarodnem kemijskem kongresu v Karlsruheju leta 1860, to je štiri leta po Avogadrovei smrti, so se nekateri italijanski kemiki zavzeli zanj. Med njimi je bil znani zdravnik in kemik Stanislao Cannizzaro. Udeležence je prepričeval, da je mogoče z Avogadrovim zakonom določiti relativne mase molekul in posredno tudi relativne mase atomov. Vendar Avogadrovega zakona vsi še vedno niso bili pripravljeni upoštevati. Številni kemiki so bili prepričani, da se različna atoma zaradi različnih električnih nabojev privlačita in se lahko spojita. Enaka atoma pa naj bi se zaradi enakih nabojev odbijala in se ne bi mogla vezati v molekulo. Tako si niso mogli zamisliti, da bi se dva enaka atoma vodika vezala v molekulo vodika. Dalton je od vsega začetka odklonil možnost, da bi iz določene prostornine kisika in dvojne prostornine vodika nastala dvojna prostornina vodne pare. Ker je vztrajal pri svoji zamisli, mu ni preostalo drugega, kot da je poskusil razvrednotiti Gay-Lussacovo delo.

Nekatere kemike so italijanski kemiki na kongresu prepričali. Lothar Meyer, nemški kemik, ki je pred Mendelejevim sestavil zasnovo periodne preglednice, je zapisal, da si je vzel ponatis članka enega od italijanskih kemikov o Avogadrovem delu in ga na poti domov prebral: “Bilo je, kakor da bi spregledal. Dvom je izginil, nadomestil ga je občutek mirne jasnosti.” Zgodovinarji pripominjajo, da so “redkokdaj delo kakega moža tako v celoti spregledali” kot delo Amedea Avogadra.