



KEMIJA U NASTAVI

Uređuje: Nenad Raos



|| PREDSTAVLJAMO UREDNIKE RUBRIKA

NENAD RAOS, rođen 1951. u Zagrebu, znanstveni je savjetnik u trajnom zvanju u zagrebačkom *Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada* (IMI), u kojem radi od 1978. godine. Bavi se teorijskom kemijom, posebice razvojem modela za predviđanje konstanti stabilnosti kompleksnih spojeva iz njihovih topoloških (graf-teorijskih) indeksa. Objavio je osamdesetak znanstvenih radova, dva udžbenika za poslijediplomski studij te 12 znanstveno-popularnih knjiga. Dugogodišnji je stalni suradnik rubrike *Mišljenja i komentari* u ovom časopisu.

Bio je pročelnik *Sekcije za izobrazbu Hrvatskoga kemijskog društva* te sedam godina glavni i tehnički urednik *Prirode*, našeg najstarijeg časopisa za popularizaciju znanosti.

Povijesni pristup u nastavi kemije: periodni sustav elemenata

DOI: 10.15255/KUI.2015.001

KUI-11/2015

Stručni rad

Prispjelo 21. prosinca 2014.

Prihvaćeno 23. siječnja 2015.

N. Raos*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Ksaverska c. 2, 10 000 Zagreb

|| Sažetak

Periodni sustav elemenata (PSE) ne može se do kraja razumjeti ako se ne sagleda njegov razvoj, prije i poslije Mendeljejeva. U radu je ukazano na komplementarnost prvotnoga sustava (temeljenog na relativnim atomskim masama) i suvremenog sustava, temeljenog na naboju jezgre. Predočavanje povijesti razvoja PSE može poslužiti i kao uvod u metodologiju znanstvenoga rada, a svakako pomaže razumijevanju osnovnih kemijskih pojmova (atomska masa, protonski broj, element, elementarna tvar).

|| Ključne riječi

Metodika, povijest kemije, Mendeljev

Uvod

Periodni sustav elemenata (PSE) ili Mendeljevljevu tablicu danas nalazimo u svakom udžbeniku kemije, pa i onom za osnovnu školu. Prvi se međutim hrvatski srednjoškolski udžbenik s periodnim sustavom elemenata pojavio istom 1912. godine¹ – 43 godine nakon Mendeljevljeva otkrića periodnog zakona (1869.).²⁻⁵ To pomalo čudi jer su prvi hrvatski kemičari (Gustav Janeček, Fran Bubanović) jako zagovarali periodni sustav, pa ga je već 1888. godine Janeček uveo u svoja predavanja.⁶ Razlog tome treba tražiti i u ondašnjem nacionalizmu (panslavizmu) kako hrvatskih tako i drugih slavenskih kemičara koji su u Mendeljevu

vidjeli dokaz kako Slaveni nisu inferiorni drugim narodima, posebice germanskima.^{7,8} U tom kontekstu treba spomenuti činjenicu da je već 1882. godine Mendeljev izabran za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (JAZU, danas HAZU)⁹ i da je 1880. godine srpski kemičar Sima M. Lozanić uveo periodni sustav u svoj udžbenik, četiri godine prije pojave prvog engleskog udžbenika s Mendeljevljevom tablicom (1884).¹⁰

Dva pristupa

Umjesto sustavne analize prikaza periodnog sustava u suvremenim kemijskim udžbenicima za osnovnu i srednju školu, dat ću samo dva primjera. Prvi primjer polazi od

* Dr. sc. Nenad Raos
e-pošta: raos@imi.hr

suvremenih spoznaja o građi atoma, a drugi od povijesne činjenice otkrića periodnog sustava elemenata ili, točnije, od zakona periodičnosti.

U udžbeniku za 7. razred osnovne škole autor pristupa tumačenju periodičnosti *in medias res* (nakon što je na prethodnoj stranici definirao pojmove “nukleonski ili maseni broj” i “protonski ili redni broj”):¹¹

*Na temelju građe atoma lako se može uočiti da kemijski elementi čine niz u kojemu svaki slijedeći element ima jedan proton više u jezgri i jedan elektron više u elektronskom omotaču. Prema suvremenim spoznajama **elemente se može poredati u niz prema rastućemu protonskom ili rednom broju.***

Iz ove činjenice, jasno je, ne proizlazi zakon periodičnosti. Ona govori samo to da se atome elemenata može shvatiti kao aritmetički niz protonskih brojeva. Tek nakon ovog uvoda autor nas uvodi u bitno:

No, vratimo se dva stoljeća unazad. Tada se ništa nije znalo o građi atoma, protonskom ili rednom broju i masenom broju. Ali, prisjetimo se J. Daltona koji je još 1806. godine ustvrdio da atomi različitih elemenata imaju različitu masu. Danas je jasno zašto je to tako. Jezgre atoma različitih elemenata sadrže različit broj protona i neutrona i zato imaju različite mase.

Ovo može biti tumačenje relativne atomske mase, ali opet ne ulazi u srž stvari. Na kraju, posljednja rečenica nije ni posve točna. Jezgre atoma i različitih elemenata (izobari) mogu sadržavati jednak broj protona i neutrona (nukleona).

Tek nakon što je objasnio što je to relativna atomska masa (po suvremenoj definiciji) dolazi do Mendeljejeva:

Godine 1869. D. I. Mendeljejev, profesor Sveučilišta u Petrogradu, otkrio je prirodni sustav elemenata. On je elemente poredao po rastućim relativnim atomskim masama u horizontalne redove. Kad bi u nizu elemenata došao do elementa sličnih kemijskih svojstava s nekim prethodnim elementom, započeo je novi redak stavljajući kemijski slične elemente jedne ispod drugih.

Ovdje imamo, u prvoj rečenici, metodičku grešku. Autor spominje “prirodni” sustav elementa, a da nijednom riječju ne kaže zašto bi periodni sustav elemenata bio i “prirodan”. Ne objašnjava ni zašto bi relativna atomska masa rasla s rednim (protonskim) brojem. Broj neutrona u jezgri nije “definiran” (barem ne na ovom stupnju naobrazbe), pa nije jasno zašto ne bi recimo dušik ($N(p) = 7$) imao veću atomsku masu od kisika ($N(p) = 8$). Reći da je $N(n)$ koreliran s $N(p)$, bilo bi učenicima nerazumljivo, no sve bi se izbjeglo rečenicom poput ove: “U većini atoma broj protona približno je jednak broju neutrona, pa stoga s protonskim brojem raste i atomska masa.”**

Sagledavajući tekst u cjelini, čini mi se preteškim za učenika koji je tek počeo učiti kemiju. S jedne se strane želi

** Odnos relativne atomske mase, protonskog broja i mjesta elementa u periodnom sustavu (rednog broja) postavlja i fundamentalni problem razlike uzročne veze i korelacije. Redni broj uzrokovan je protonskim brojem, ali je s atomskom masom samo koreliran.

jasno definirati suvremene kemijske pojmove (i pritom se ne šteti na riječima), a s druge se pak strane cijela povijest otkrića periodnog zakona (u kojemu je osim Mendeljejeva sudjelovalo još desetak kemičara) svodi na jednu jedinu rečenicu: “On je [Mendeljejev] elemente poredao po rastućim relativnim atomskim masama u horizontalne redove.” (Zašto je to učinio?)

No evo i drugog, povijesnog pristupa:¹²

Pravilno ili periodično ponavljanje kemijskih svojstava osnova je rasporeda elementa u tablici periodnog sustava. Tu je pravilnost uočio ruski kemičar Dmitrij Ivanovič Mendeljejev.

*On je do tada poznate elemente svrstao u tablicu periodnog sustava prema porastu atomskih masa, a na spoznaji da se **kemijska svojstva elemenata periodički ponavljaju.** Pritom je neka mjesta ostavio prazna, jer je pretpostavio da ti elementi još nisu otkriveni (1869). Štoviše, Mendeljejev je predvidio njihova svojstva.*

Ovom se prikazu ne bi dalo što prigovoriti, osim da je sintagma “a na spoznaji” pomalo nespretna, pa bi je bilo bolje zamijeniti izrazom “spoznavši” ili “uvidjevši”.

Na kraju uvodnog dijela autori dolaze do zaključka:

*Pitamo se kako je Mendeljejev mogao predvidjeti ta svojstva? Razlog je taj što je prvi otkrio **periodičnost ponavljanja kemijskih svojstava elemenata**, pa je elemente sličnih kemijskih svojstava svrstao u tablicu jedne ispod drugih, tj. okomito.*

U ovoj je rečenici rečeno ono najbitnije, da je riječ o periodičnom ponavljanju svojstava elemenata s porastom relativne atomske mase (ili protonskog broja), no nalazimo i dva, rekli bismo, pedagoška pojednostavljenja: Mendeljejev nije bio prvi koji je otkrio periodičnost ponavljanja svojstava, a i ta svojstva nisu samo kemijska. To je očito već iz toga što je Mendeljejev uspio predvidjeti tališta i vrelišta elemenata iz praznih “kućica” njegove tablice (eka-aluminija, eka-silicija i eka-bora).

Tek nakon ovog povijesnog uvoda slijedi opis “suvremenog periodnog sustava”, a nakon toga dolazi metodička cjelina “elektronska konfiguracija atoma i periodni sustav elemenata.” Mislim da je ovakav pristup primjereniji od onoga u prvom primjeru, u kojem je slijed izlaganja upravo obratan (građa atoma – periodni sustav – povijest periodnog sustava).

Njegovanje povijesnog pristupa

U želji da se kemija osuvremeni, često se u udžbenicima, a i inače u nastavi zapostavlja njezina povijest. Tek se tu i tamo pojavi koja natuknica, više da se vidi kako su neko (al)kemičari bili u zabludi negoli da se osvijetli razvoj kemijskih pojmova i postupaka. To je krivo. Teško je bez povijesne dimenzije razumjeti bilo što u kemiji. Zašto se jedinica atomske mase definira kao $\frac{1}{12}$ mase ugljikova izotopa ^{12}C ? Zašto se He, Ne... zovu plemeniti ili inertni plinovi? Zašto je helij zove helij, kisik kisik, a dušik dušik (azot)? Kakve veze imaju kiseline s kisikom i kisik s kiselinama? (I

slična pitanja o imenima elemenata.)¹³ Koja je razlika između elementa i elementarne tvari? Sve je to teško razumjeti ako se ne poznaje povijest kemije. Čini se da učenik zna kemiju ako je naučio da je "jedinica atomske mase jednaka $\frac{1}{12}$ mase ugljikova izotopa ^{12}C ", a pojma nema da ta definicija nije pala s neba, nego je posljedica primjene suvremenih metoda (masene spektroskopije) za određivanje mase nuklida, kao što je nekadašnja definicija (prema vodiku ili kisiku) bila određena ondašnjim eksperimentalnim metodama (gravimetrijom). Ukazujući na te povijesne činjenice, nastavnik može, bez velikog proširivanja gradiva, naći logičko objašnjenje kemijskih pojmova kako bi ih učenicima lakše savladali.

Štoviše, pokazalo se da upravo povijesni pristup nastavi kemije omogućuje usvajanje apstraktnih pojmova poput atmosferskog tlaka (Torricellijev eksperiment), relativne atomske mase (na primjeru Daltonova standarda vodik = 1, Berzeliusova kisik = 100 i Cannizzarova ugljik = 12), molekulske formule (na pitanju koja je prava formula vode) i Avogadrove hipoteze¹⁴ ili pak mjerenja veličine molekula.¹⁵ Vrlo je poučan i primjer otkrića argona, prvog plemenitog plina.¹⁶

No osim svladavanja kemijskih pojmova povijesni pristup daje nastavniku i mogućnost da kemiji dade dublju dimenziju povezujući je kako s drugim znanostima (fizikom, astronomijom, geologijom, biologijom) tako i s drugim ljudskim aktivnostima (tehnologijom, zaštitom okoliša, politikom). Nije dovoljno da se kemijske formule "demistificiraju" povezivanjem s osjetilnim iskustvom (izvođenjem pokusa), nego ih je nužno povezati i s ljudskim nastojanjima, kako u današnjici tako i u prošlosti. Toga su svjesni i popularizatori znanosti koji znaju povezati kemiju s ljudima i događajima.¹⁷⁻¹⁹

Pouke periodnog sustava

Osim što omogućuje lakše razumijevanje temeljnih kemijskih pojmova (atom, relativna atomska masa, redni (protonski) broj) povijesni pristup periodnom sustavu ukazuje i na opće zakonitosti znanstvenih otkrića i znanstvene metode. To su:

Ključnim otkrićima (znanstvenim revolucijama) prethodi dug put prikupljanja i klasifikacije eksperimentalnih podataka (primjer mnogobrojnih prethodnika D. I. Mendeljejeva).

Kemija se temelji na pokusu i ne može napredovati brže od eksperimentalnih metoda. Periodni sustav nije se mogao utemeljiti na protonskom broju prije nego što je dokazano postojanje atoma i otkrivena atomska jezgra.

Napredak znanosti ovisi i o razvoju pojmova. Periodni zakon nije mogao biti otkriven sve dok kemičari nisu jasno definirali, na prvom međunarodnom skupu kemičara

u Karlsruheu, 1860., pojam atoma ("kemijskog atoma") i molekule ("fizičkog atoma"), što je opet omogućilo razlikovanje ekvivalentne i atomske mase.

Znanstvene se teorije nadopunjuju. Suvremeni izvod periodnog sustava elemenata komplementaran je povijesnom ili – bolje rečeno – njegovu je proširenje (tablica 1).

Tablica 1 – Dva izvoda periodnog sustava elemenata

Table 1 – Two derivations of the periodic system of the elements

Povijesni	Suvremeni
Atomska masa ne mijenja se u kemijskim reakcijama. Ona je intrinzično svojstvo elementa.	Broj nukleona u jezgri (maseni broj, relativna atomska masa) ne mijenja se u kemijskim reakcijama.
Svojstva kemijskih spojeva postepeno se mijenjaju s molekulskom masom (npr. homologni niz alkana). Vrijedi li isto i za elemente?	Kako ovise svojstva atoma o naboju jezgre?
Valencija se periodički mijenja s porastom atomske mase.	Broj elektrona u vanjskoj (valentnoj) atomskoj ljusci prediodički se mijenja s nabojem jezgre (protonskim brojem).
O atomskoj masi, posljedično valenciji, ovise sva kemijska svojstva elementa.	Sva kemijska svojstva atoma ovise o broju elektrona u vanjskoj ljusci (elektronskoj konfiguraciji), a on opet o protonskom broju.
Fizikalna svojstva elementa poglavito ovise o atomskoj masi.	Fizikalna svojstva elementa ponajviše ovise o veličini atoma, a ona pak o protonskom broju.
<i>Nedostatak:</i> Periodički zakon ne vrijedi strogo za atomske mase. Posljedica toga su anomalije (inverzije) u izvornom (Mendeljejevljevom) sustavu (Te/I, Ar/K, Co/Ni).	<i>Nedostatak:</i> Svojstva elemenata ne mogu se sasvim predvidjeti kvantnokemijskim modeliranjem. ^{4,20}
<i>Nastavno pitanje:</i> Zašto je Mendeljejev u svom sustavu nalazio anomalije?	<i>Nastavno pitanje:</i> Zašto je Mendeljejev uspio izvesti periodni sustav iz relativnih atomskih masa?

Na kraju treba reći da Mendeljejevljeva biografija otkriva njegovu hrabrost, marljivost i upornost, pa stoga taj veliki ruski kemičar može biti uzor svakom mladom čovjeku. "Počeli su se pokazivati plodovi kako moje znanstvene smjelosti tako i moje vjere u periodički zakon", pisao je 1899. godine. "To je moja slava."

Literatura References

1. F. Šandor, Anorganska kemija za više razrede srednjih učilišta, Naklada Kraljevske hrvatsko-slavonsko-dalmatinske zemaljske vlade, Zagreb, 1912.
2. D. Grdenić, Povijest kemije, Školska knjiga i Novi Liber, Zagreb, 2001., str. 739–755.
3. J. W. van Spronsen, The Periodic System of Chemical Elements: A History of the First Hundred Years, Elsevier, Amsterdam, 1969.
4. E. R. Scerri, The Periodic Table. Its Story and Its Significance, Oxford University Press, Oxford, 2007.
5. N. Raos, Je li "proročanski" zakon Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva zaista proročanski?, *Priroda* **99** (12) (2009) 42–47.
6. M. Deželić, Počeci kemijske nastave na Sveučilištu u Zagrebu. Sjećanje na profesore Janečeka, Bubanova i Pušina, *Croat. Chem. Acta* **50** (1977) S83–S112.
7. N. Raos, Periodni sustav u Hrvata, *Kem. Ind.* **60** (2011) 633–638.
8. N. Raos, Pan-Slavism and the periodic system of the elements, *Bull. Hist. Chem.* **37** (2012) 24–28.
9. Lj. Barić, O izboru Mendeljejeva za počasnog člana Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zbornik radova Trećeg simpozija iz povijesti znanosti. Povijesne znanosti i njihove primjene krajem 19. i početkom 20. stoljeća u Hrvatskoj. Hrvatsko prirodoslovno društvo, Sekcija za povijest znanosti, Zagreb, 1981., str. 159–160.
10. V. M. Mićović, Odjek otkrića periodnog sistema u Srba i Hrvata, Predavanja, knjiga 10, Srpska akademija nauka i umjetnosti, Odeljenje prirodno-matematičkih nauka, knjiga 5, Beograd, 1969.
11. M. Sikirica, Kemija 7 za 7. razred osnovne škole, Školska knjiga, Zagreb, 2001., str. 95–96.
12. A. Petreski, B. Borovnjak-Zlatarić, M. Tkalčec, Kemija. Udžbenik za I. razred strukovnih škola s jednogodišnjim programom kemije. Prvo izdanje. Školska knjiga, Zagreb, 1998., str. 19.
13. V. Ringnes, Origin of the names of chemical elements, *J. Chem. Educ.* **66** (1989) 731–738, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed066p731>.
14. H.-S. Lin, The effectiveness of teaching chemistry through the history of science, *J. Chem. Educ.* **75** (1998) 1326–1330, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed075p1326>.
15. N. Judaš, Brojenje malih stvari – iliti koliko su mali atomi i molekule, N. Raos i H. Peter (ur.), Nove Slike iz kemije, priručnik kemije u nastavi, Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2004., str. 49–62.
16. C. J. Giunta, Using history to teach scientific method: The case of argon, *J. Chem. Educ.* **75** (1998) 1322–1325, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed075p1322>.
17. N. Raos, Povijesni osvrt na popularizaciju kemije u Hrvatskoj, *Kem. Ind.* **61** (2012) 281–288.
18. N. Raos, Bezbroj lica periodnog sustava elemenata, katalog izložbe, Tehnički muzej, Zagreb, 2010.
19. F. Gašparović Melis, Kemija kao muzika, animirani film, Tehnički muzej, Zagreb, 2010. (<http://fgm.hudu.hr>).
20. E. R. Scerri, Have orbitals really been observed?, *J. Chem. Educ.* **77** (2000) 1492–1494, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed077p1492>.

SUMMARY

Historical Approach to Chemistry Teaching: The Periodic System of the Elements

Nenad Raos

The teaching of the periodic system in the historical context has an advantage because students in this way comprehend more easily the basic chemical concepts, such as relative atomic mass, proton number, chemical element, elementary substance, equivalent and molar mass. The story of the periodic system also shows the following: (1) Before a key scientific discovery there is a long period of data collection and systematization, (2) Theories in chemistry must be based on experimental results and methods, (3) The advancement of science is also determined by the development of concepts, and (4) Scientific theories usually do not contradict but support each other. Therefore, the historical periodic system (based on relative atomic mass) is not obsolete, but complementary to the modern.

Keywords

Teaching methods, history of chemistry, Mendeleev

*Institute for Medical Research
and Occupational Health
Ksaverska c. 2
10 000 Zagreb, Croatia*

*Professional paper
Received December 21, 2014
Accepted January 23, 2015*