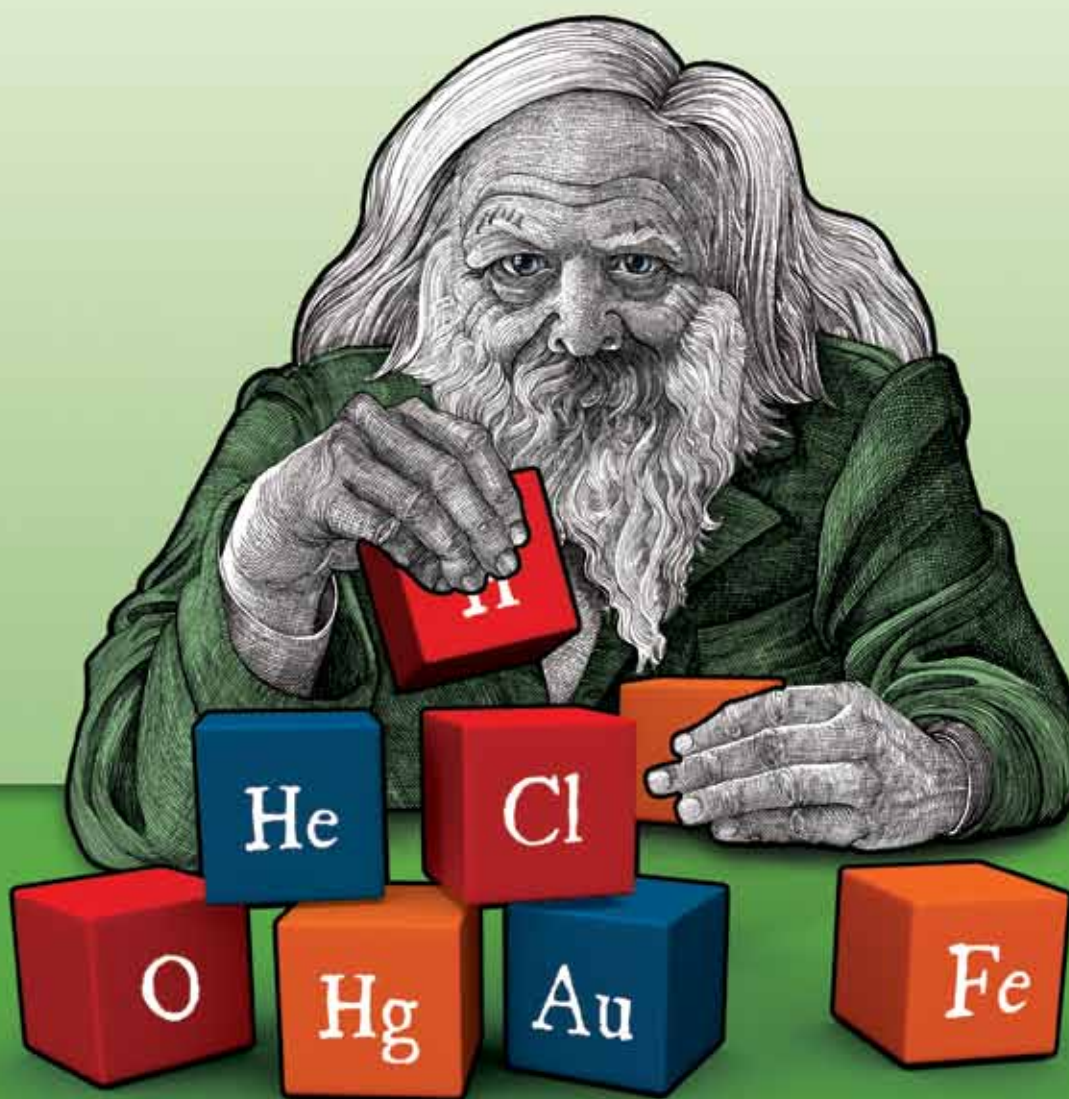


BEZBROJ LICA PERIODNOG SUSTAVA ELEMENATA

Izložba



TEHNIČKI MUZEJ
ZAGREB – HRVATSKA
2010.

IZLOŽBA

*Bezbroj lica periodnog
sustava elemenata*

22. prosinca 2010. – 27. veljače 2011.



Zagreb – Hrvatska
2010.

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu

ISBN



Impresum

IZLOŽBA

ORGANIZATOR

Tehnički muzej, Zagreb

VODITELJ PROJEKTA

Davor Fulanović

AUTOR

Nenad Raos

LIKOVNI POSTAV

Toni Borković

GRAFIČKO OBLIKOVANJE

Maja Raos Melis

ANIMACIJA

Filip Gašparović Melis

RAČUNALNI PROGRAM

Miroslav Karabej

CRTEŽ (Mendeljejev)

Neven Mihjalović Cetinjanin

TEHNIČKA IZVEDBA

Igor Elez

Franjo Strugar

Marijo Zrna

FED d.o.o.

Inoxgraf

Karel elektronika d.o.o.

PROMIDŽBA

Miljenko Paunović

VLASNIK IZLOŽAKA

Tehnički muzej, Zagreb

Fakultet kemijskog inženjerstva

i tehnologije Sveučilišta u

Zagrebu

Središnja kemijska knjižnica

Kemijskog odsjeka

Prirodoslovno-matematičkog

fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

KATALOG IZLOŽBE

AUTOR TEKSTOVA

Nenad Raos

UREDNIK

Nenad Raos

LEKTURA

Saša Vagner

KOREKTURA

Nenad Raos

NASLOVNA STRANICA

Crtež D. I. Mendeljejeva

POLEDINA

**Interaktivni prikaz periodnog
sustava elemenata**

FOTOGRAFIJE

Zvonimir Ambruš

GRAFIČKO OBLIKOVANJE

Maja Raos Melis

TISAK

Tiskara Zelina, d.d.

NAKLADNIK

Tehnički muzej, Zagreb

ZA NAKLADNIKA

Davor Fulanović

NAKLADA

1000

Zahvaljujemo Gradskom uredu za obrazovanje,
kulturu i šport Grada Zagreba i Ministarstvu
kulture Republike Hrvatske koji su financirali
realizaciju izložbe i kataloga.

Zahvaljujemo svim ustanovama i pojedincima
koji su pomogli u ostvarenju projekta.

Sadržaj







Predgovor

Periodni sustav elementa, Mendeljejev-ljeva tablica, Periodni sustav D. I. Mendeljeva, Periodni sustav D. I. Mendeljeva i J. Lothar-Meyera... i kako još sve ne. Tablica ili sustav? Mendeljevljev ili Lothar-Meyerov? I na kraju, kako bi tablica trebala izgledati? Onako kako ju je sastavio Mendeljejev? Ili Lothar Meyer? Ili onako kako se pojavljuje u udžbeniku iz kojega sam ja učio?

Autor vrlo vrijedne knjige o periodnom sustavu Eric R. Scerri procjenjuje da se u kemijskoj literaturi periodni sustav elemenata pojavljuje na (doslovno!) tisuću načina – samo je u jednoj knjizi sakupljeno 700 njegovih prikaza. Imamo periodnih sustava s 8, 16, 18, pače i 32 stupaca, vidimo ga prikazana u obli-

ku slagalice od kockica, u obliku spirale, valjka i pužnice. Koliko kemičara, toliko sustava. Koji je pravi?

Svi su pravi. A evo zašto.

Mendeljejev je malokad govorio o svojoj tablici kao o tablici ili sustavu. O svojem je otkriću govorio kao o zakonu. I baš kao što je Newtonova formula $mv = Ft$ (uz mnoge druge) izraz zakona inercije, tako je i tablica ruskoga kemičara izraz zakona periodičnosti, temeljnoga zakona u kemiji koji kazuje da se svojstva kemijskih elemenata periodički ponavljaju. Stoga je periodni sustav elemenata temelj svake kemije, pa stoga i osnovno znanje koje mora steći svatko tko hoće ući u tajne te prirodne znanosti.

Da nije tako, zar bismo o njemu mogli postaviti izložbu?

Autor



Uvod

Slabo teorija objašnjava, dobra zabranjuje, a najbolja predviđa. Munju možemo objasniti Zeusovom ljutnjom ili kolima svetog Ilije, no da bismo mogli znati gdje munja neće udariti, trebamo znati da je munja električna iskra koja udara u najšiljatiji predmet u svojoj blizini – teorija na kojoj se, razumije se, temelji gromobran. Pa opet munja ne mora udariti u gromobran: da bi se predvidjelo gdje će točno udariti, treba se poslužiti naj-složenijim proračunima – ako i oni pomognu.

»Kad je Mendeljejev taj svoj periodski zakon sedamdesetih godina prošlog stoljeća postavio«, piše u članku »Proročanski zakon D. I. Mendeljejeva« naš najveći popularizator kemije Fran Bubanović, »bilo je poznato – kako smo rekli – 60 elemenata.« »No s pouzdanjem u taj zakon«, nastavlja Bubanović, »– u tome se vidi snaga njegovoga velikoga duha – preorekao je on otkriće novih elemenata. No ne samo da je te nove elemente nagovijestio nego im je odredio mjesto u svom sistemu i opisao i brojevima izrazio njihova fizička i kemijska svojstva, tj. opisao kako će izgledati njihovi kemijskih spojevi, kojim će drugim spojevima biti slični, a u koliko će se opet od drugih spojeva razlikovati itd.«

Mendeljejev nije bio prvi

Dakle, kažimo posve jasno, Mendeljejev nije samo objasnio svojstva kemijskih elemenata iz njihove periodičnosti, nego je i predvidio postojanje još neotkrivenih elemenata te njihova svojstva. Uz Mendeljejeva barem je još petoro kemičara učinilo isto, poredalo kemijske elemente po njihovim svojstvima, pa ipak se periodni sustav zove baš po ruskom

kemičaru – Mendeljejevljeva tablica. Da bude još čudnije, Mendeljejev je objavio svoju tablicu 1869, pet godina nakon njemačkoga kemičara Juliusa Lothara Meyera, pa bi se, a gledamo li na pravo prvenstva, još s većim pravom periodni sustav elemenata trebao zvati Lot-har-Meyerovom tablicom. Unatoč tome, pa čak i usprkos činjenici da su oba kemičara dijelila Davyjevu medalju (u ono doba najveća nagrada koju je kemičar mogao dobiti), sva čast i počast danas pripada Mendeljejevu. Zašto? Zato što je ruski kemičar ne samo svrstao elemente po svojstvima, nego je i predvidio svojstva novih, još neotkrivenih elemenata. To prije njega nitko nije učinio.

Mendeljejev nije vjerovao da će mu se još za života obistiniti proročanstva, kaže Bubanović. Pa ipak, bilo je drugačije: »Mendeljejev je bio zaokupljen daljim radovima iz područja fizičke kemije, kad je nenadano stigla vijest, koja je poput munje proletjela sav naučni svijet, da je u petak dne 27 augusta 1895 godine između 3 i 4 sata poslije podne otkrio jedan francuski kemik u cinkovoj rudi, sfaleritu, novi kemijski element koji je prozvao u čast svoje domovine galijem. Kad su bila određena sva svojstva toga elementa, izašlo je na vidjelo da je element galij Mendeljejev već god. 1869 predviđao, a godine 1871 potanko opisao. On ga je nazvao ekaluminij i to zato, što mu je u svom sistemu dao mjesto ispod aluminija. Prorečena svojstva novoga elementa tako su se savršeno podudarala sa svojstvima novog elementa galija da se činilo kao da ih je otkrivač galija prepisao iz rasprave Dimitrija Ivanoviča Mendeljejeva, koja je izašla četiri godine prije toga u Liebigovim analizama.«¹

»Francuski kemik« kojega spominje Bubanović zvao se Lecoq de Boisbaudran, a kad mu je Mendeljejev poslao pismo u kojemu ga je upozorio da bi galij mogao biti njegov ekaaluminij, francuski je kemičar isprava negodovao



misleći da mu Rus hoće preoteti otkriće, no slije se i sam uvjerio da galij frapantno nalikuje Mendeljevljevu elementu.

No galij je bio samo jedan od triju elemenata čija je svojstva Mendeljejev predvidio 1871. godine. Uz ekaaluminij predvidio je još i ekabor (»ispod bora«) te ekasilicij (»ispod silicija«) posluživši se u njihovu imenovanju riječju eka (ispod) na sanskrtu (vjerojatno zato što je mrzio klasične jezike). Ti su elementi otkriveni ubrzo nakon galija (ekaaluminija). Godine 1879. švedski kemičar Lars Frederick Nilson otkrio je u mineralu euksenitu metal koji je po svojoj zemlji nazvao skandij (*scandium*), no da je tu riječ o Mendeljevljevu ekaboru upozorio je francuski kemičar Pierre Clève. Sedam godina kasnije, 1886, otkriven je i treći predviđeni element koji je njegov otkrivač, njemački kemičar Clement Winkler, nazvao – opet u počast svoje zemlje – germanij (*germanium*). Svojstva toga elementa posve su se slagala sa svojstvima ekasilicija (vidi izložak br. 4 – 6).

Pa ipak, nije sve tako jednostavno. Koliko god vjerovali Bubanoviću, a i drugim autorima koji su hvalili Mendeljejeva, čini se da njegova predviđanja nisu bila presudna za vezivanje imena ruskog kemičara s periodnim sustavom. Britanski povjesničar znanosti Eric R. Scerri u periodnim sustavu ne vidi djelo samo jednoga kemičara, nego težnju čitave epohe da napravi red među elementima, a u Mendeljevu samo sistematičara koji je svim tim naporima dao zadnji pečat. Još je 1817. njemački kemičar Johann Wolfgang Döbereiner otkrio zakon trijada po kojemu je, primjerice, atomska masa kalija srednja vrijednost atomskih masa litija i kalija, dvaju njegovih susjeda u budućem periodnom sustavu. Leopold Gmelin je, povodeći se za Döbereinerovim opažanjem, 1843. sastavio prvu tablicu elemenata začuđujuće sličnu Mendeljevljevoj tablici, a francuski geolog Alexandre Emile Béguyer

de Chancourtois objavljuje 1862. *vis telurique* (telurov vijak) – periodni sustav u kružnom obliku (vidi izložak 11 i 12).

Zaključivanje prema analogiji

Među tim mnogobrojnim pregaocima Mendeljejev se, kaže Scerri, ni po čemu ne ističe osim po činjenici da je u razvoj periodnog sustava uložio mnogo više napora od drugih kemičara i da se svojski potrudio da sustav ne samo do kraja razvije, nego i da ga na svaki način popularizira. U tome nije čak bilo ni presudno što je Mendeljejev objavio predviđanja: prije bismo mogli reći da je otkriće galija, skandija i germanija poslužilo kao nekakav marketinški trik (da bi što više kemičara čulo za periodni sustav) nego što bi Mendeljevljeva predviđanja imala neku dublju znanstvenu vrijednost. Jer treba znati da Mendeljejev svoja predviđanja nije napravio ni na kakvim čvrstim teorijskim osnovama, nego je do njih dolazio čisto empirijski: svojstva nepoznatog elementa dobio bi usporedbom sa svojstvima njegovih susjeda u periodnom sustavu. Osnovna mu je matematička metoda bila izračunavanje srednjih vrijednosti, dakle posve statistička.

Statistička metoda može ukazati na nove, ponekad posve neočekivane veze među podacima, no statistika je nemoćna da tim vezama dade dublje značenje. Tako je bilo i s Mendeljevljevim predviđanjima. »Među običnim elementima«, piše Mendeljejev, »upada u oči nepostojanje većeg broja analogija bora i aluminija, to jest, u III. skupini, te je izvjesno da nam nedostaje element iz te skupine koji slijedi odmah iza aluminija; on mora biti pronađen u parnom, ili drugom nizu, odmah iza kalija i kalcija. Kako su atomske težine tih potonjih elemenata blizu 40, te kako je u tom retku element IV. skupine titanij, $Ti = 50$, slijedi da će atomska težina elementa koji nedostaje



biti oko 45. Kako taj element pripada parnom nizu, morat će imati lužnatija svojstva od nižih elemenata III. skupine, bora ili aluminija, to jest, njegov bi oksid, R_2O_3 , trebao biti jača baza.«² Dakle, vidimo i sami, a i Mendeljejev izričito kaže da je riječ o predviđanju - u ovom slučaju svojstava ekabora *alias* skandija - na temelju analogije.

Analogije u znanosti, kao i u svakodnevnom razmišljanju, mogu biti plodonosne, ali isto tako mogu navesti na stranputicu. Upravo se to dogodilo Mendeljejevu.

Pogledamo li tablicu izložka br. 7 u ovom katalogu, koju sam preuzeo iz Scerrijeve knjige, vidjet ćemo da Mendeljejev i nije bio toliko uspješan u svojim predviđanjima: predvidio je postojanje osam novih kemijskih elemenata, no predvidio je postojanje još više elemenata – od kojih su samo neki navedeni u tablici - koji nikad nisu (a neće ni biti) otkriveni!

Gdje je zakon, tu je i bezakonje (anomalija)

Danas znamo da Mendeljevljev sustav nije samo periodni, nego i prirodni sustav elemenata. Atom se svakog elementa od njegova prethodnika razlikuje po jednom protonu više, drugim riječima redni broj elementa u periodnom sustavu odgovara broju protona u jezgri, njezinu naboju. No to Mendeljejev nije mogao znati jer je atomsku jezgru otkrio 1911. engleski fizičar Ernest Rutherford, četiri godine nakon smrti ruskoga kemičara, a njezin naboj točno izmjerio i povezao ga s rednim brojem elementa u periodnom sustavu istom 1913. godine njegov student Henry Moseley. Za kemičara 19. stoljeća atomi su bile hipotetičke čestice i sve što se o njima moglo znati (bolje reći: pretpostavljati) je da se razlikuju po masi. Kako je broj protona i neutrona u jezgri približno jednak, onda je i redni (protonski) broj elementa, opet približno, proporcionalan

njegovoj relativnoj atomskoj masi (nukleonskom broju). To je za Mendeljejeva (i druge kemičare njegova doba) bila sretna okolnost.

Problem je nastao, dakako, zbog onoga »približno« jer su se u tablici ubrzo počele pojavljivati »anomalije«, naročito kod težih elemenata. Najpoznatija takva anomalija je anomalija telura i joda: telur se nalazi prije joda iako ima veću relativnu atomsku masu od joda. Mendeljejev je vjerovao da do anomalija dolazi zbog loše određenih atomskih masa pa je poticao kemičare da relativne mase »anomalnih« elemenata ponovno određuju. No sve ima svoje granice. »Moguće je i da budućnost za nas čuva otkrića novih elemenata čija će atomska težina usko koincidirati s onom poznatog elementa, kao što je slučaj s atomskom težinom nikla i kobalta«, pisao je njemački kemičar Charles-Adolphe Wurtz 1881. godine. »Da se nije znalo za kobalt, nikad ne bi bio otkriven prema Mendeljevljevoj shemi.« 3 I nikad ne bi – da nastavimo Wurtzovu misao – bili predviđeni elementi kojih nema niti ih može biti u prirodi.

Je li argon samo alotropska modifikacija dušika?

Mendeljejevu se dogodilo ono što se često, da ne govorimo redovito, događa otkrivačima prirodnih zakona: vođeni svojom temeljnom mišlju oni idu sve dalje i dalje, da na kraju svoju teoriju dovedu do apsurdna, pretvorivši je u karikaturu. Ruski je kemičar imao tu sreću ili nesreću što je još za njegova života otkrivena nova skupina elemenata - koju on nije predvidio - plemeniti plinovi, a k tomu otkriveni su još i izotopi, »elementi« koji su rušili temelje njegove tablice da se elementi razlikuju i redaju prema relativnoj atomskoj masi. Premda zapravo ništa nije govorilo protiv toga da se i plemeniti plinovi uvrste u periodni sustav, Mendeljejev se uhvatio kao utopljenik za



slamku za činjenicu da je prvi od novootkrivenih plinova, argon, pronađen u zraku, točnije u smjesi s dušikom. »Ako nadalje pretpostavimo da molekula argona sadrži tri atoma, čija bi atomska težina bila oko 14, u tom bismo slučaju mogli argon smatrati kondenziranim dušikom, N₃«, pisao je Mendeljejev nalazeći uporište u činjenici da se dušik i argon nalaze uvijek zajedno u prirodi.⁴

Otkriće da kemijski element može imati dvije i više »atomskih masa« dovelo je pak Mendeljejeva u još veću nedoumicu. Kamo smjestiti te nove elemente? Danas kemičar po tom pitanju nema ni najmanju nedoumicu: budući da je kemijski element određen atomskim brojem, svi izotopi toga elementa smještaju se u istu »kućicu« periodnog sustava – takve atomske vrste se i zovu izotopi (od grč. *isos* – isto, *topos* – mjesto) jer se nalaze na istom mjestu, u istoj »kućici« periodnog sustava.

Elementi lakši od vodika

Priroda stalno otkriva nove tajne, no jesmo li ih uvijek kadri našom teorijom slijediti? Za Mendeljejeva nije bilo ni najmanje sumnje da postoji još mnoštvo neotkrivenih elemenata koji čekaju da pronađu mjesto u njegovoj tablici. Pri tome ne mislim na prazna mjesta, nego na nove retke i stupce, poput stupca za plemenite plinove (postojanje kojih je, kao novih elemenata, Mendeljejev na kraju ipak prihvatio). Godine 1904. predvidio je postojanje dvaju elemenata lakših od vodika, koje je provizorno nazvao x i y, a poslije im nadjenao imena newtonij (*newtonium*) i koronij (*coronium*). Naime, uočivši odnose atomskih masa za plemenite plinove: Xe:Kr = 1,56, Kr:Ar = 2,15 i Ar:He = 9,5 došao je, ekstrapolacijom, do zaključka da bi omjer mase atoma helija i newtonija trebao biti 23,6 pa bi onda relativna atomska masa

hipotetskog elementa bila $4/23,6 = 0,17$. Taj je element Mendeljejev identificirao s eterom, hipotetskom ultralakom tvari koja prenosi elektromagnetske valove (uključujući, daka-ko, i valove svjetlosti). To mu ne možemo zamjeriti jer su tada u postojanje etera vjerovali svi fizičari, no da se strpio još samo jednu godinu, nešto mu takvo ne bi palo na pamet. Naime, upravo je 1905. godinu dana nakon što je Mendeljejev iznio pretpostavku o postojanju atoma etera, Albert Einstein jasno pokazao da eter ne postoji.

No što je s drugim elementom lakšim od vodika, elementom y, koronijem? Njega je pak izveo iz odnosa masa elemenata prve skupine, litija i vodika (Li:H = 6,97), zaključivši da bi odnos He:y trebao biti najmanje 10, iz čega slijedi da relativna masa koronija iznosi najviše 0,4. Mendeljejev je u svoje predviđanja bio toliko siguran da je bez krznanja napisao: »Sada nema ni najmanje dvojbe da prvoj skupini, koja sadrži vodik, prethodi nulta skupina koja sadrži elemente manje atomske težine od elemenata prve skupine, pa mi se čini nemogućim nijekati postojanje elemenata lakših od vodika.«⁵

Za nas nema ni najmanje dvojbe da kemijski elementi lakši od vodika ne postoje – naprosto zato što u atomskoj jezgri ne može biti ništa što bi bilo manje od protona, a jezgra vodika sadrži samo jedan proton. Važnost koju je Mendeljejev dao relativnoj atomskoj masi dovela ga je do otkrića periodnog sustava, ali inzistiranje na njezinoj važnosti odvelo ga je na stranputicu. No ta je stranputica bila poticaj drugim znanstvenicima da još dalje prodru u tajnu kemijskih elemenata... Tako je to u znanosti: znanstvenici pronalaze odgovore na pitanja samo da bi se suočili s novim pitanjima.





Literatura

1. F. Bubanović, Proročanski zakon D. I. Mendeljejeva, u. F. Bubanović, *Kemijo, hvala ti!*, Tome Jovanovića i Vujića, Beograd, 1939., str. 74 – 86.
2. D. I. Mendeljejev, *Annal. Chem.*, Supplementband 8 (1872) 133 – 229; prijevod članka na ruskom jeziku iz 1871.
3. A. Wurtz, *The Atomic Theory*, (engleski prijevod), Appleton, New York, 1881.
4. A. Mendeljejev, *Nature* **51** (1895) 543.
5. Preuzeto iz ref. 7., str. 141.
6. W. Spottiswoode, *Proc. Roy. Soc. London* **34** (1883) 303.
7. E. R. Scerri, *The Periodic Table. Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, Oxford, 2007.
8. D. Grdenić, *Povijest kemije*, Novi liber i Školska knjiga, Zagreb, 2001.
9. N. Judaš, Brojenje sitnih stvari – iliti koliko su mali atomi i molekule, u: *Nove Slike iz kemije* (ur. N. Raos), Školska knjiga, Zagreb, 2004., str. 49 – 62.
10. N. Raos, Razvoj ideje atomizma, *Prirodoslovlje* **5**(1) (2005) 45.
11. D. Grdenić, Periodni ili prirodni sustav elemenata, *Priroda* **72**(1)(1983) 14.
12. D. Grdenić, Periodni sustav napamet, *Priroda* **84**(1) (1999) 10.
13. N. Raos, Čudnovata povijest plemenitih plinova, *Priroda* **100**(9)(2010) 26.
14. N. Raos, *Kemijski leksikon u stripu*, Školska knjiga, Zagreb, 2010.
15. P. Vrkljan, Građa atoma i periodni sustav elemenata, u: *Nove Slike iz kemije* (ur. N. Raos), Školska knjiga, Zagreb, 2004., str. 253 – 280.



Izlošci

*Život Dmitrija
Ivanoviča
Mendeljejeva*



Ivan Nikolaevič Kramskoj, portret Dmitrija Ivanoviča Mendeljeva (1878)

1.

Dimitrij Ivanovič Mendeljejev

Život Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva ne razlikuje se od života građanstva u Rusiji u 19. stoljeću, vrlo tankog sloja uostalom, pa mi se ponekad čini kao da je njegov životopis prepisan iz nekoga ondašnjeg romana, koji je recimo napisao Dostojevski.

A i podrijetlo njegovo kao da je preuzeto iz neke bajke, *skaske*. U selu Tihomandrici u Sibiru živio je pop Pavel Maksimovič Sokolov, koji je imao četiri sina. Prvi se zvao Vasilij Pokrovski, drugi Timofej Sokolov, treći Aleksandar Tihomandricki, a četvrti – otac junaka naše priče – Ivan Mendeljejev. Četiri sina – četiri prezimena. To je zbog toga, odgovorit ću radoznom čitatelju, što je u to doba bio običaj da učitelj u seoskoj školi daje djeci prezimena.

Ivan Mendeljejev bio je nastavnik, koji je 1827. postao direktorom gimnazije u Tobolsku. Tu mu se 1834. rodi posljednje dijete, sin Dmitrij. No kako od svoje profesorske plaće nije mogao uzdržavati brojnu obitelj (imao je četrnaestero, po nekima i sedamnaestero djece), zakupi neku napuštenu tvornicu stakla. No u zao čas, jer kad je Dmitrij imao trinaest godina, otac umre, a uskoro još izgori i tvornica, pa majci nije preostalo drugo nego da s Dmitrijem, stara i bolesna, ode 1850. u Sankt Peterburg naumivši da Dmitrija dade za liječnika. No kad joj je sin na praktikumu iz anatomije prvi put ugledao mrtvo ljudsko tijelo, pade u nesvijest, pa umjesto da nastavi studij medicine prijeđe na učiteljsku akademiju.

Dmitrij krenu očevim stopama. Godine 1855. postade nastavnik gimnazije u Odesi, no uskoro biva imenovan privatnim docentom na sveučilištu u Sankt Peterburgu. Time mu se pruži prilika da ode u inozemstvo,

u Njemačku, gdje je radio s Robertom Bunseonom i Gustavom Robertom Kirchhoffom. Kući se vratio 1861, a potom je za samo dva mjeseca napisao udžbenik organske kemije. Nedugo zatim postaje izvanredni (1865), a iste godine i redoviti profesor tehničke kemije na Sveučilištu u Sankt Peterburgu.

Godine 1868. Mendeljejev je odlučio napisati i drugi udžbenik, *Osnove kemije* (*Основы химии*). »Kad sam odlučio napisati knjigu pod naslovom *Osnove kemije*, morao sam razmisliti o nekom sustavu za jednostavne tvari [kemijske elemente] te da se kod njihova sređivanja ne vodim tek slučajnim i instinktivnim pobudama, već da upotrijebim točno određen sustav...«, piše Mendeljejev. »Tako sam nastojao da pronađem sustav koji će se osnivati na atomskim težinama [relativnim atomskim masama].«

Baš ga je ta potreba za sistematizacijom elemenata u udžbeniku dovela do svjetske slave. Već sljedeće godine, 1869, tiska prve znanstvene radove o svome otkriću, no ti radovi, barem u početku, ne izazivaju veće pozornosti. Zapravo, tek je otkriće galija, 1875, svratilo pozornost na ruskoga kemičara i njegovu tablicu.

No koliko god većemo ime Mendeljejeva s periodnim sustavom, ne treba zaboraviti ni druga njegova istraživanja. Prema njegovu mišljenju, uz periodni sustav i *Osnove kemije*, kemiju je zadužio i istraživanjima stlačivosti plinova te teorijom otopina. I još nešto. Mendeljejev se bavio i kemijskom tehnologijom, prije svega petrokemijom, pa je od njega potekla teorija o abiogenom postanku nafte: tvrdio je naime da je nafta nastala reakcijom vodene pare s karbidima u Zemljinoj unutrašnjosti. Ta teorija još i danas ima zagovornike.



Kao i većina učenih ljudi svoga doba, Mendeljejev je imao sklonost prema umjetnosti (to ponajviše može zahvaliti majčinu utjecaju). Volio je glazbu i likovnu umjetnost, no malo je mario za kazalište i lijepu književnost. Poslovično je pak mrzio latinski jezik, pa je na kraju školovanja na nekom brežuljku demonstrativno spalio sve knjige iz kojih ga je morao učiti.

I što još reći? Umro je 1907. od srčanog udara nakon što je dulje bolovao od upale pluća. Poslije smrti bio je slavljen ne samo zbog svoga djela nego i radi slavenofilstva, kako u Rusiji tako i u drugim slavenskim zemljama, pa i u Hrvatskoj. Stoga nam postaju jasnije riječi izgovorene nad njegovim grobom: »Ispunio je zavjet prvoga ruskoga profesora kemije, seljačkoga sina Mihajla Lomonosova, pokazavši da i ruska zemlja može rađati svoje Newtona.«

| Datum | Događaj |
|-------------|--|
| 8. 2. 1834. | Rodio se posljednji sin u obitelji Ivana Mendeljejeva, ravnatelja gimnazije u sibirskom gradu Tobolsku, i majke Marije, koja je potjecala iz trgovačke obitelji Kornilov. |
| 1847. | Umire mu otac nakon teške bolesti. Sva je briga oko obitelji već i prije očeve smrti bila na majčinim leđima. |
| 1849. | Dmitrij završava gimnaziju. Nedugo potom seli se s majkom u Moskvu nakon što im je staklana, od koje su živjeli, izgorjela. Dmitrija ne primaju na sveučilište. |
| 1850. | Dolazi s majkom u Sankt Peterburg. Isprva upisuje medicinu, ali za prve obdukcije pada u nesvijest. Potom upisuje učiteljsku akademiju, gdje studira prirodoslovlje. |
| 1851. | Pojavljuju se znakovi sušice, uz bacanje krvi. Liječnici mu daju tek nekoliko mjeseci života. |
| 1855. | Nakon diplome radi kao nastavnik u Simferopolu na Krimu, potom u Odesi, da bi se vratio u Sankt Peterburg i postao privatni docent na tamošnjem sveučilištu. |
| 1859. | Odlazi na usavršavanje u Heidelberg, kod Roberta Bunsena i Gustava Roberta Kirchhoffa, utemeljitelja spektralne analize – moćne metode za otkrivanje elemenata. |
| 1860. | Sudjeluje na prvom međunarodnom skupu kemičara u Karlsruheu. |
| 1861. | Vraća se u Sankt Peterburg. Piše udžbenik organske kemije. |
| 1863. | Postaje izvanredni, a na kraju godine i redoviti profesor tehničke kemije. |
| 1865. | Doktorira s temom interakcija alkohola i vode. |
| 1868. | Odlučuje pisati knjigu <i>Osnove kemije</i> . To će ga dovesti do otkrića periodnoga sustava elemenata. |
| 1869. | Objavljuje otkriće periodnoga sustava elemenata. |
| 1887. | Leti balonom da bi iz visine mogao promatrati pomrčinu sunca. Nakon prisilnoga slijetanja govorilo se po selima: »Dmitrij Ivanovič letio je na mjeheuru i s njim je probio nebo, pa su ga zato napravili kemičarom.« |
| 1890. | Zbog solidariziranja sa studentskim nemirima izbacuju ga sa sveučilišta. Nalazi mjesto ravnatelja Ureda za mjere i utege i na tom mjestu ostaje do smrti. |
| 2. 2. 1907. | Umire od srčanog udara. |



schonst. Anders, kommt, z. B. der Sternstein, Sphärolit, Kohlenstein, Eisen, Kieselsäure, Zinn (irrgen sich wohl vielfach betrachtet werden sollen. Bei dieser Betrachtung tauchen aber wieder allenthalben die Fragen auf, was denn die Ursache dieser Akkretion ist und wie sich diese Iruppen an einander verhalten? Wenn diese Fragen nicht beantwortet werden, so kann man bei der Betrachtung der Akkretion nicht weiter kommen. Die Ursache liegt in Bezug auf den Grad der Akkretion immer relativ verschieden und wieder sehr begrenzt, was ganz deutlich werden könnte. Das Lössen z. B. ist in einer Beziehung dem Kalken ähnlich, in einem wieder dem Magneten, das fertige, abgekühlte Akkretion und dem Magneten. Wie viel Akkretion man hat und was man damit anstellt, das ist sehr verschieden, aber es hängt auch Abhängigkeit, die man

GRUNDLAGEN DER CHEMIE

140

D. Mendelejeff.

Professeur au lycée d'Alger, en 1871.

AAS NEW RIDGESIDE CIGARETTES 100'S

Le Journal

4. Theorem

General and Thermodynamic
Studies of the System

Source: *U.S. Census Bureau, International
Trade in Goods and Services*.



ST. PETERSBURG,
Verlag von Carl Hirtzel.
Königs-Platz, 14.

1551

[illegible]

geschaffen. Durch das Gesetz der Periodizität wird die Lebensdauer eines aus Anbruch gebracht, die Eigenschaften der einfachen Körper, wie auch die Formen und Eigenschaften der Verbindungen der Elemente befinden sich in einer periodischen Abhängigkeit (oder Mäße, abgesehen von einer periodischen Funktion) von der Größe des Atomgewichts der Elemente¹⁾. Nach diesem Hinweis ist das periodische Gesetz der Elemente (genau) wieder (etw.)

[illegible]

Anordnung der Elemente nach Gruppen und Reihen.

[illegible]

er Periodizität
Eigenschaft
Eigenschaft
er period
t eine per
Element
Elemente zu

2.

Prvi kemijski udžbenik s periodnim sustavom

Knjiga *Основы химии* (*Osnove kemije*) što ga je napisao Mendeljejev bio je prvi udžbenik s periodnim sustavom. Na ruskom je izišao 1869, a potom je doživio mnoga izdanja na drugim jezicima. Ovdje ga vidimo u njemačkom izdanju iz 1891. godine pod naslovom *Grundlagen der Chemie*.

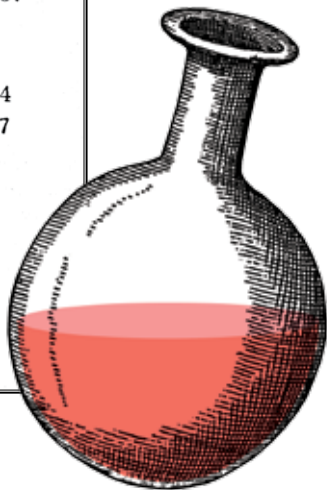


ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

| | | | | | |
|--------|----------|------------|--------------|------------|------------|
| | | | Tl = 50 | Zr = 90 | ? = 180 |
| | | | V = 51 | Nb = 94 | Ta = 182 |
| | | | Cr = 52 | Mo = 96 | W = 186. |
| | | | Mn = 55 | Rh = 104,4 | Pt = 197,4 |
| | | | Fe = 56 | Ru = 104,4 | Ir = 198 |
| | | | Ni = Co = 59 | Pl = 106,6 | Os = 199 |
| | | | Cu = 63,4 | Ag = 108 | Hg = 200 |
| H = 1 | Be = 9,4 | Mg = 24 | Zn = 65,2 | Cd = 112 | |
| | B = 11 | Al = 27,4 | ? = 68 | Ur = 116 | Au = 197? |
| | C = 12 | Si = 28 | ? = 70 | Sn = 118 | |
| | N = 14 | P = 31 | As = 75 | Sb = 122 | Bi = 210? |
| | O = 16 | S = 32 | Se = 79,4 | Te = 128? | |
| | F = 19 | Cl = 35,5 | Br = 80 | I = 127 | |
| Li = 7 | Na = 23 | K = 39 | Rb = 85,4 | Cs = 133 | Tl = 204 |
| | | Ca = 40 | Sr = 87,6 | Ba = 137 | Pb = 207 |
| | | | ? = 45 | Ce = 92 | |
| | | ?Er = 56 | La = 94 | | |
| | | ?Yt = 60 | Di = 95 | | |
| | | ?In = 75,6 | Th = 118? | | |

Д. Менделѣевъ



3.

Prva Mendeljevljeva tablica

Prvi periodni sustav elemenata Mendeljejev je objavio 1869. Sustav je imao samo 60 tada poznatih elemenata.

Za neke elemente nije bio siguran jesu li na pravom mjestu, pa je uz njih stavio upitnik. Vidimo ga uz simbol telura (Te = 128), zbog anomalije s jodom (I = 127), i uz zlato (Au = 197), zbog pretpostavljene anomalije sa živom (Hg = 200). Atomska masa uranija

(Ur = 116) krivo je pak određena, pa se stoga našao na pogrešnom mjestu u periodnom sustavu.

U tablici se vide još neotkriveni elementi (? = ...) i elementi čije postojanje, ili relativna atomska masa, nije pouzdano određena (?Er = 56, ?Yt = 60, ?In = 75). Uz ta tri elementa ukupan broj elemenata u tablici je 63.



4.

Prvo predviđanje: ekaaluminij - galij

Kada je 1875. Mendeljejev pročitao da je francuski kemičar Emile Lecoq De Boisbaudran, nakon 15 godina istraživanja, otkrio novi kemijski element koji je u čast svoje domovine nazvao galijem, javio mu se pismom tvrdeći da je galij zapravo njegov ekaaluminij. To se francuskom kemičaru nikako nije svidjelo, jer je mislio da mu Mendeljejev hoće preoteti otkriće.

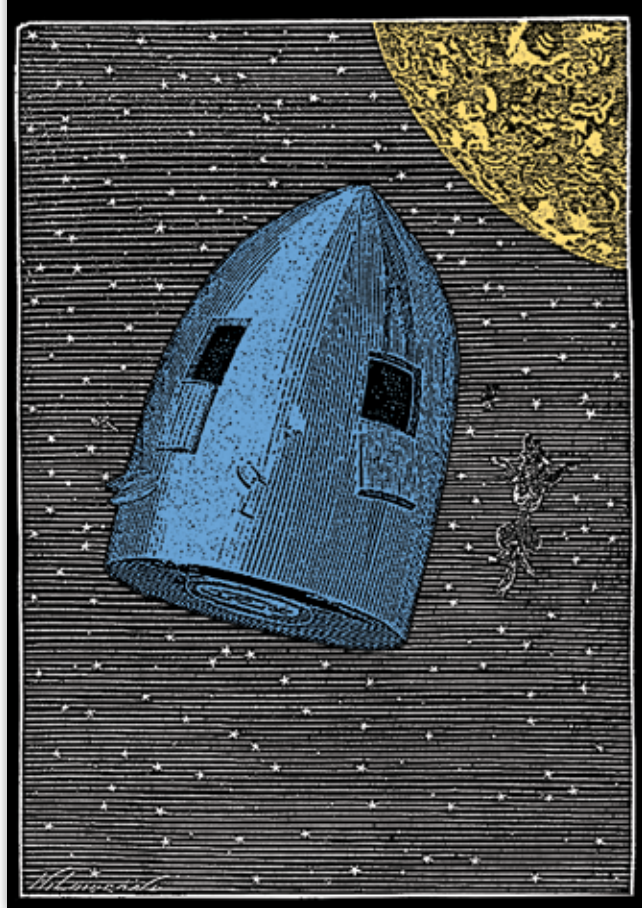
Bila je to prva potvrda periodnog sustava. Mendeljejev je likovao: »Godina 1875. Ta je godina nagradila kako moju znanstvenu smjelost tako i moju vjeru u zakon periodičnosti. Sve se potvrdilo. To je moj spomenik.«

Usporedba predviđenih (ekaaluminij) i izmjerenih svojstava galija

| ime elementa | ekaaluminij | galij |
|------------------------------------|---------------|-------|
| godina otkrića (predviđanja) | 1871. i 1875. | 1875. |
| simbol | Ea | Ga |
| relativna atomska masa | 68 | 69,2 |
| gustoća/ g cm ⁻³ | 6,0 | 5,9 |
| talište/ °C | »vrlo nisko« | 30,15 |
| atomski volumen/ cm ³ * | 11,5 | 11,8 |
| gustoća oksida/ g cm ⁻³ | 5,5 | 5,1 |

*Atomski volumen relativna je atomska masa elementa podijeljena s njegovom gustoćom.





Tane Julesa Vernea za let oko Mjeseca bilo je izliveno od aluminija. Danas se svemirske rakete izrađuju od aluminija koji je legiran s skandijem.

5.

Drugo predviđanje: ekabor - skandij

Novi kemijski element, metal skandij, pronašao je 1879. u mineralu euksonitu švedski kemičar Lars Frederick Nilson. Na to je Mendeljeva upozorio francuski kemičar Pierre Clève u pismu od 19. kolovoza 1879: »Vaš element ekabor je pronađen. To je skandij, koji je otkrio Nilson u proljeće 1879. godine.«

Mendeljejev mu je odgovorio: »Priznajem da se nisam nadao da ću za svoga života vidjeti takvu potvrdu zakona periodičnosti...«

Usporedba predviđenih (ekabor) i izmjerenih svojstava skandija

| ime elementa | ekabor | skandij |
|------------------------------------|----------|---------|
| godina otkrića (predviđanja) | 1871. | 1879. |
| simbol | Eb | Sc |
| relativna atomska masa | 44 | 44,1 |
| gustoća/ g cm ⁻³ | < 3 | 2,5 |
| talište/ °C | »visoko« | 1 200 |
| atomski volumen/ cm ³ * | 15 | 17,6 |
| gustoća oksida/ g cm ⁻³ | 3,5 | 3,86 |

*Atomski volumen relativna je atomska masa elementa podijeljena s njegovom gustoćom.





Usporedba predviđenih (ekasilicij) i izmjerenih svojstava germanija

| ime elementa | ekasilicij | germanij |
|--|------------|--------------|
| godina otkrića (predviđanja) | 1871. | 1886. |
| simbol | Es | Ge |
| relativna atomska masa | 72 | 72,32* |
| gustoća/ g cm ⁻³ | 5,5 | 5,47 |
| specifična toplina | 0,073 | 0,076 |
| atomska volumen/ cm ³ * | 13 | 13,22 |
| boja | tamnosiva | svijetlosiva |
| gustoća dioksida/ g cm ⁻³ | 4,7 | 4,703 |
| vrelište tetraklorida/ °C | 90 | 86 |
| gustoća tetraklorida /g cm ⁻³ | 1,9 | 1,887 |
| vrelište tetraetilnog derivata/ °C | 160 | 160 |

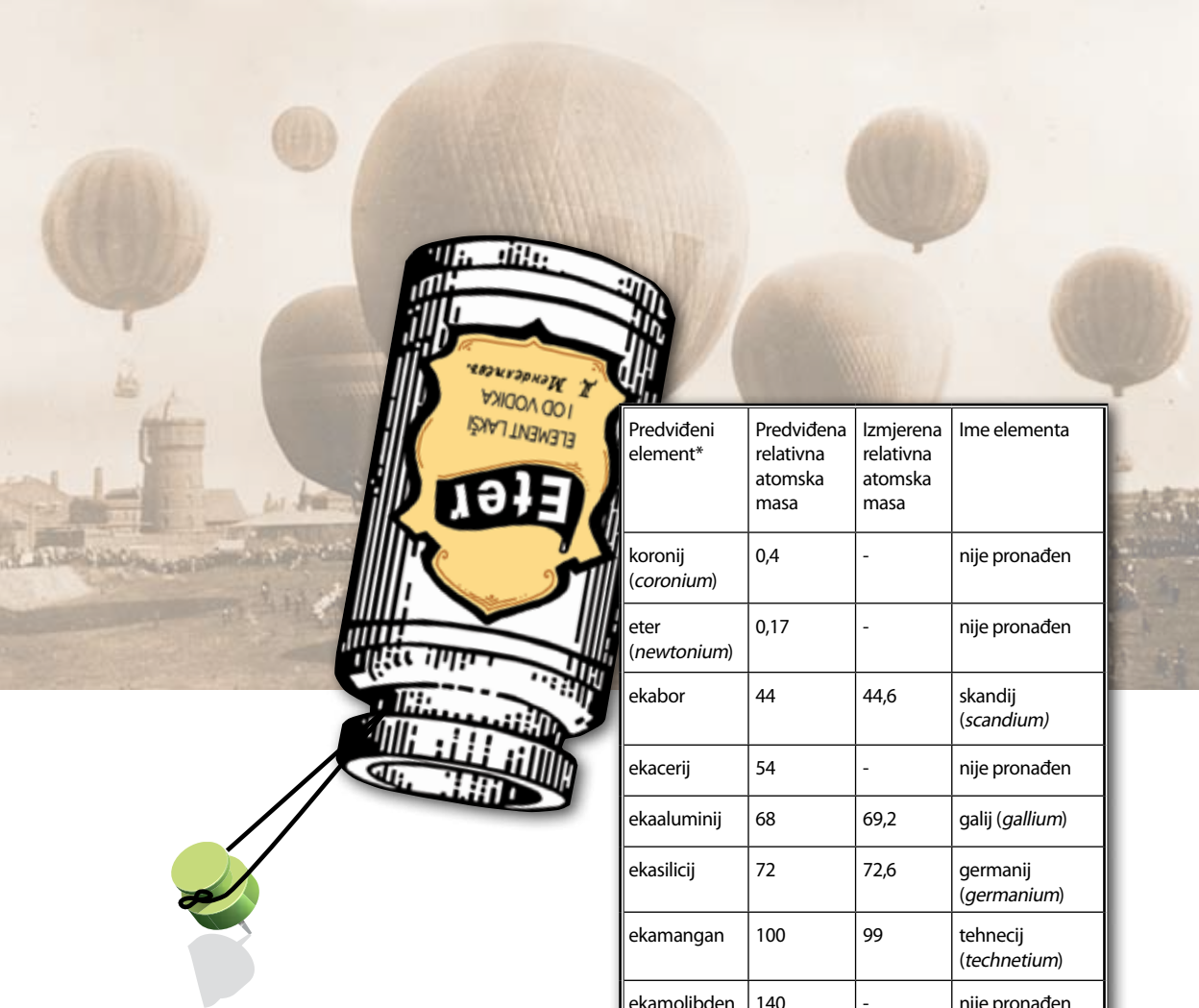
*Atomski volumen relativna je atomska masa
elementa podijeljena s njegovom gustoćom.

6.

Treće predviđanje: ekasilicij - germanij

Kada je 1886. njemački kemičar Clemens Winkler otkrio novi kemijski element, nije znao kamo da ga smjesti u periodnom sustavu. Prema svojstvima sudio je da je pronašao ekaantimon, element između antimona i bizmuta, no Mendeljev je mislio da je riječ o ekakadmiju, elementu koji leži između kadmija i žive. Tek je Julius Lothar Meyer ukazao da bi taj element mogao biti ekasilicij, element između silicija i kositra. U dobar čas – jer ni ekaantimon ni ekakadmij ne odgovaraju nijednom elementu u periodnom sustavu.





7.

Uspješna i neuspješna Mendeljevljeva predviđanja

»U naše vrijeme, kada nema ni najmanje dvojbe da I. skupini, koja sadrži vodik, prethodi nulta skupina [plemeniti plinovi] koja sadrži elemente manjih atomskih težina od elemenata I. stupine, čini mi se nemogućim poricati postojanje elemenata lakših od vodika«, pisao je Mendeljejev 1904. Predviđao je da će u njegovoj tablici naći mjesto i eter – zagonetnu tvar koja, prema vjerovanju tadašnjih fizičara, prenosi elektromagnetsko zračenje. Usto je vjerovao u postojanje šest elemenata između vodika i litija.

| Predviđeni element* | Predviđena relativna atomska masa | Izmjerena relativna atomska masa | Ime elementa |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| koronij (<i>coronium</i>) | 0,4 | - | nije pronađen |
| eter (<i>newtonium</i>) | 0,17 | - | nije pronađen |
| ekabor | 44 | 44,6 | skandij (<i>scandium</i>) |
| ekacerij | 54 | - | nije pronađen |
| ekaaluminij | 68 | 69,2 | galij (<i>gallium</i>) |
| ekasilicij | 72 | 72,6 | germanij (<i>germanium</i>) |
| ekamangan | 100 | 99 | tehnecij (<i>technetium</i>) |
| ekamolibden | 140 | - | nije pronađen |
| ekaniobij | 146 | - | nije pronađen |
| ekakadmij | 155 | - | nije pronađen |
| ekajod | 170 | - | nije pronađen |
| ekacezij | 175 | - | nije pronađen |
| trimangan | 190 | 186 | renij (<i>rhenium</i>) |
| dvitelur | 212 | 210 | polonij (<i>polonium</i>) |
| dvicezij | 220 | 223 | francij (<i>francium</i>) |
| ekatantal | 235 | 231 | protaktinij (<i>protactinium</i>) |

*Prefiksi eka-, dvi- i tri- dolaze iz sanskrt. Mendeljejev je očito toliko mrzio latinski jezik da se nije htio njime poslužiti u svojoj terminologiji.



9.

Najlakši i najteži atom u prirodi

Atom uranijeva izotopa uranij-238 ($^{238}_{92}\text{U}$) najteži je atom u prirodi. U njegovoj jezgri ima 92 protona (crvene kuglice na slici) i 146 protona (plave kuglice). U prirodnom ga uraniju ima 99,3%, dok drugog izotopa, uranija-235 ima 0,7%. Samo je se taj drugi, lakši, izotop može iskoristiti kao gorivo za nuklearne reaktore, pa se prirodni uranij »obogaćuje« izotopom ^{235}U . Oba su izotopa radioaktivna. Uranij-238 ima vrijeme poluraspada 4,47 milijarde godina, a uranij-235 »samo« 700 milijuna godina.

Najlakši atom u prirodi je atom vodika, točnije njegova izotopa ^1_1H . Njegova jezgra ima 238 puta manju masu od jezgre najtežeg atoma, uranija-238.

Vodik-1, procij, ima samo jedan proton u jezgri, pa stoga ioni vodika, H^+ nisu ništa drugo nego goli protoni. Osim procija, vodik sadrži i deuterij ili teški vodik (^2H ili D) te tricij ili superteški vodik (^3H ili T). Deuterij ima jedan, a tricij dva neutrona u jezgri. U prirodnom vodiku ima samo 0,01% deuterija (množinski udjel) i neznatan udio tricija. Procij i deuterij nisu radioaktivni, dok tricij jest. Njegovo je vrijeme poluraspada 12,3 godina.



*Mendeljejevljevi
prethodnici*



Jacques-Louis David , portret gospodina Lavoisiera i njegove supruge(1788)

| | Noms nouveaux. | Noms anciens correspondans. |
|--|---------------------|--|
| Substances simples qui ap- partiennent aux trois rè- gnes. d'où l'on peut regarder comme les élé- mens des corps. | Lumière | Lumière. |
| | | Chaleur. |
| | | Principe de la chaleur. |
| | Calorique..... | Fluide igné. |
| | | Feu. |
| | | Matière du feu & de la chaleur. |
| | | Air déphlogistiqué. |
| | | Air empiréal. |
| | Oxygène | Air vital. |
| | | Baſe de l'air vital. |
| Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables. | | Gaz phlogiſtiſqué. |
| | Azote..... | Mofète. |
| | | Baſe de la mofète. |
| | | Gaz inflammable. |
| | Hydrogène..... | Baſe du gaz inflammable. |
| | Soufre | Soufre. |
| | Phosphore | Phosphore. |
| | Carbone | Charbon pur. |
| | Radical muriatique. | Inconnu. |
| | Radical fluorique.. | Inconnu. |
| Substances simples métal- liques oxida- bles & acidi- fiables. | Radical boracique.. | Inconnu. |
| | Antimoine | Antimoine. |
| | Argent | Argent. |
| | Arſenic | Arſenic. |
| | Biſmuth | Biſmuth. |
| | Cobalt | Cobalt. |
| | Cuivre..... | Cuivre. |
| | Etain | Etain. |
| | Fer..... | Fer. |
| | Manganèſe..... | Manganèſe. |
| Substances simples ſaliſſa- bles terreuſes. | Mercuré | Mercuré. |
| | Molybdène | Molybdène. |
| | Nickel..... | Nickel. |
| | Or..... | Or. |
| | Platine | Platine. |
| | Plomb | Plomb. |
| | Tungſtène..... | Tungſtène. |
| | Zinc | Zinc. |
| | Chaux..... | Terre calcaire, chaux. |
| | Magnéſie | Magnéſie, baſe du ſel d'epſom. |
| | Baryte | Barote, terre-peſante. |
| | Alumine | Argile, terre de l'alun, baſe de l'alun. |
| | Silice | Terre ſiliceuſe, terre vitrifiable. |



Lavoisier by Jacques-Léonard
Maillet. Stone, ca. 1853., Louvre

10.

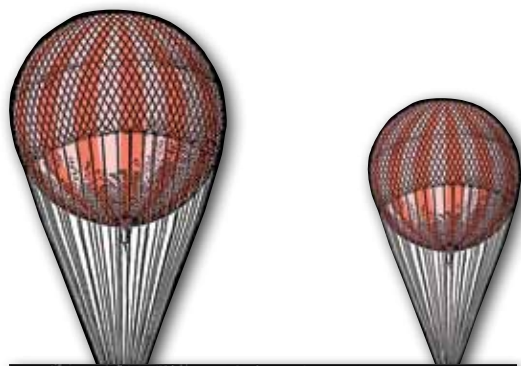
Prva tablica kemijskih elemenata

Prvu modernu tablicu kemijskih elemenata objavio je 1789. francuski kemičar Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1774), u knjizi *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes* (Osnove kemije po novom sustavu i prema suvremenim otkrićima).

Ipak, to nije tablica kemijskih elemenata, barem ne onakvih kakvima ih danas smatra-

mo. To je tablica jednostavnih tvari – onih koje se ne mogu rastaviti na još jednostavnije. Tablica sadrži, kaže Lavoisier, »jednostavne tvari, ili barem one koje smo po našem sadašnjem znanju obavezni smatrati takvima«.

U tablici su se osim kemijskih elemenata našli i oksidi još nepoznatih elemenata (*magnésie, baryte, alumine, silice*), pa čak i »elemen-ti« svjetlosti (*lumière*) i topline (*calorique*)!



**TABEAU
DES CARACTERS GEOMETRIQUE**
(DEVELOPPMENT D'UN CYLINDRE
DE 0,025 DIAMETRE)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

11.

Telurov vijak

Francuski geolog Alexandre E. Béguyer de Chancourtois (1819 – 1886) objavio je 1862. – sedam godina prije Mendeljejeva – periodni sustav elemenata i pritom ispravno zaključio: *»Les propriétés des corps sont les propriétés des nombres«* (Svojstva tijela [elemenata] jesu svojstva brojeva [njihove atomske mase]).

No svoj je sustav objavio u časopisu koji kemičari nisu čitali, a i crtež »telurova vijka« francuski je geolog objavio sa zakašnjenjem – 1863. godine. Dok su francuski, pa i neki engleski kemičari poslije htjeli De Chancourtoisa proglasiti otkrivačem periodnog sustava elemenata, Mendeljejev mu nije priznavao prvenstvo iz valjana razloga – De Chancourtois nije prepoznao svoj sustav kao prirodni sustav elemenata.

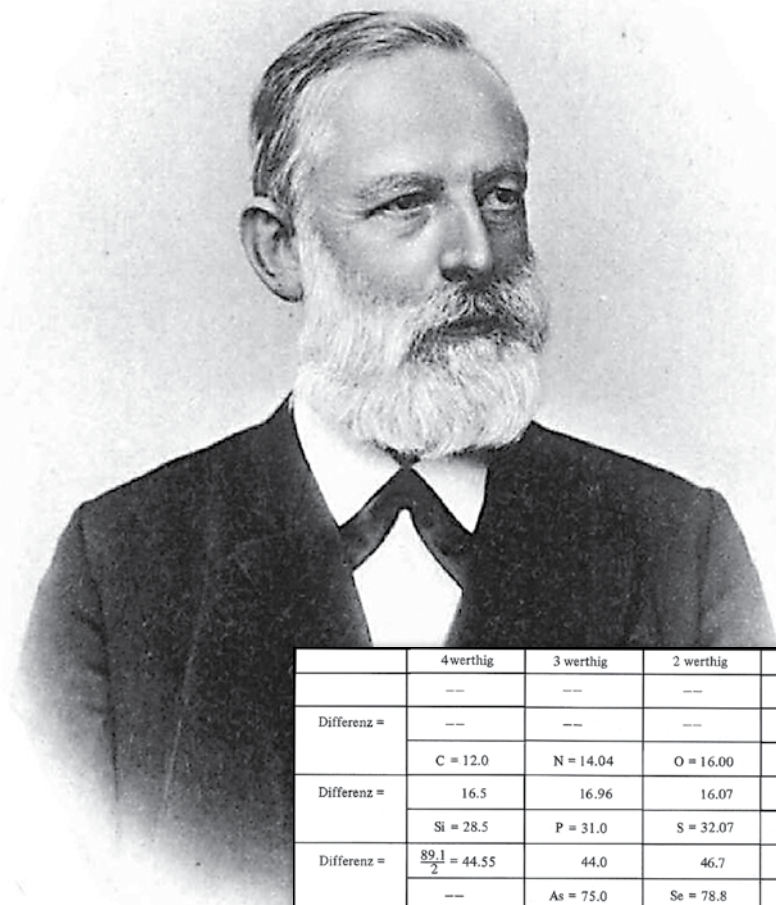


12.

Pokretni periodni sustav

Kada je De Chancourtois objavio svoj »telurov vijak«, njegovi suvremenici nisu razumjeli o čemu je zapravo riječ. Posjetitelji ove izložbe nisu u toj dilemi: napravili smo »telurov vijak« visine dva metra i promjera 25 centimetra koji se okreće i još svijetli. Pokretni periodni sustav – nema što!





Julius Lothar Meyer (1830 – 1895)

| | 4 werthig | 3 werthig | 2 werthig | 1 werthig | 1 werthig | 2 werthig |
|-------------|--------------------------|-----------------|------------|------------|-----------------|-------------|
| | --- | --- | --- | --- | Li = 7.03 | (Be = 9.3?) |
| Differenz = | --- | --- | --- | --- | 16.02 | (14.7) |
| | C = 12.0 | N = 14.04 | O = 16.00 | Fl = 19.0 | Na = 23.05 | Mg = 24.0 |
| Differenz = | 16.5 | 16.96 | 16.07 | 16.46 | 16.08 | 16.0 |
| | Si = 28.5 | P = 31.0 | S = 32.07 | Cl = 35.46 | K = 39.13 | Ca = 40.0 |
| Differenz = | $\frac{89.1}{2} = 44.55$ | 44.0 | 46.7 | 44.51 | 46.3 | 47.6 |
| | --- | As = 75.0 | Se = 78.8 | Br = 79.97 | Rb = 85.4 | Sr = 87.6 |
| Differenz = | $\frac{89.1}{2} = 44.55$ | 45.6 | 49.5 | 46.8 | 47.6 | 49.5 |
| | Sn = 117.6 | Sb = 120.6 | Te = 128.3 | I = 126.8 | Cs = 133.0 | Ba = 137.1 |
| Differenz = | 89.4 = 2 x 44.7 | 87.4 = 2 x 43.7 | --- | --- | (71 = 2 x 35.5) | --- |
| | Pb = 207.0 | Bi = 208.0 | --- | --- | (Tl = 204?) | --- |

13.

Julius Lothar Meyer – zaboravljeni suotkrivač periodnog sustava

Pet godina prije Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva Nijemac Julius Lothar Meyer objavio je 1864. periodni sustav elemenata. Na njemu je jasno – i ispravno! – označio šest skupina i pet perioda.

To su mu priznali i suvremenici. Naime, obojici je za otkriće periodnog sustava dodeljena 1883. Davyjeva medalja, u to doba najveće priznanje koje je kemičar mogao dobiti,

koje je ovako obrazloženo: »Trud Mendeljejeva i Lothara Meyera proširio je i poopćio naše znanje o tim odnosima te postavio temelje općeg sustava razvrstavanja elemenata. Oni su svrstali elemente u empirijski poredak prema njihovim atomskim težinama, počevši s najlakšim te postupno nastavljajući prema najtežem poznatom atomu elementa...«

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-------|-----|-------|-----|----|-----|------|-----|-------|
| | Br. | | Br. | | Br. | | Br. | | Br. | | Br. | | Br. | | Br. | |
| <i>do</i> | 1. | H | 8. | F | 15. | Cl | 22. | Co/Ni | 29. | Br/Ni | 36. | Pb | 43. | I | 50. | Pt/Ir |
| <i>re</i> | 2. | Li | 9. | Na | 16. | K | 23. | Cu | 30. | Rb | 37. | Ag | 44. | Cs | 51. | Os |
| <i>mi</i> | 3. | Be | 10. | Mg | 17. | Ca | 24. | Zn | 31. | Sr | 38. | Cd | 45. | Ba/V | 52. | Hg |
| <i>fa</i> | 4. | B | 11. | Al | 18. | Cr | 25. | Y | 32. | Ce/La | 39. | U | 46. | Ta | 53. | Tl |
| <i>so</i> | 5. | C | 12. | Si | 19. | Ti | 26. | In | 33. | Zr | 40. | Sn | 47. | W | 54. | Pb |
| <i>la</i> | 6. | N | 13. | P | 20. | Mn | 27. | As | 34. | Mo | 41. | Sb | 48. | Nb | 55. | Bi |
| <i>ti</i> | 7. | O | 14. | S | 21. | Fe | 28. | Se | 35. | Rh/Ru | 42. | Te | 49. | Au | 56. | Th |



John Newlands (1837 – 1898)

14.

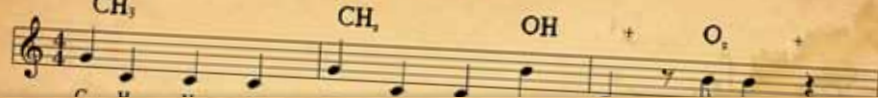
Zakon oktava: kemija kao glazba

»Ako se elementi poredaju po svojim ekvivalentnim težinama [relativnim atomskim masama] s nekoliko malih iznimaka, kao u prikazanoj tablici, može se vidjeti da se elementi koji pripadaju istoj skupini obično pojavljuju u istoj horizontalnoj liniji«, govorio je 1865. mlađi, 28-godišnji engleski kemičar John Newlands na sjednici Londonskoga kemijskog društva. »Također se može vidjeti da se brojevi analognih elemenata razlikuju ili za sedam ili za neki umnožak od sedam; drugim riječima članovi iste skupine stoje u istom odnosu kao jedna ili više oktava u muzici...«

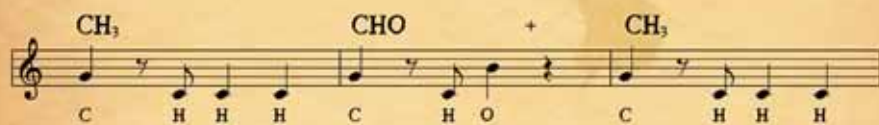
Posljednje je toliko razjarilo prisutne da mu nisu dopustili da objavi svoju tablicu. Jedan je kolega jetko napomenuo da bi mu bilo pametnije da je elemente poredao po abecedi!

Poslije se Newlands sporio s Mendeljejevom da je otkrio periodni sustav četiri godine prije njega – no to mu nitko nije htio priznati.





Triježnjenje



Iz Newlandsova zakona oktava možemo napisati glazbu za svaku kemijsku formulu, za svaku kemijsku reakciju! Evo glazbe koja se zove *Triježnjenje*: oksidacija alkohola (etanol) u etanal, a potom u octenu kiselinu - to je reakcija koja se događa i u našem tijelu, u jetrima, nakon terevenke.



15.

Kako nastaje glazba iz formula

Newlands je postavio zakon oktava, a mi smo prema tom zakonu napisali glazbu i još napravili crtić! Crtić pokazuje kako se formule etanola i jednađbe reakcije njegove postupne oksidacije mogu pretvoriti u glazbu. Nekoliko kadrova dočarat će vam ugođaj – ako već niste vidjeli film.



Duplerica



Središnji izložak

Fotografija

16.

Periodni sustav kao fliper

Tri metra širine, sedam metara dužine, 16 stupova, dva metra visokih... Stonehenge? Ne, nego centralni postav ove izložbe. Svaki stup predstavlja jednu skupinu u periodnom sustavu, a svaki njegov red jednu periodu.

Svako polje, »kućica« periodnog sustava, može svijetliti u dvije boje. Evo prilike za *light show*, ali i za ispitivanje znanja iz kemije. Naime, za svaki element natjecatelj mora odgovoriti na pitanje je li riječ o metalu, polumetalu ili nemetalu te u kakvu se agregatnom stanju element nalazi. Tko pogodi, osvaja polje, a tko od dva igrača osvoji više polja dobiva nagradu.



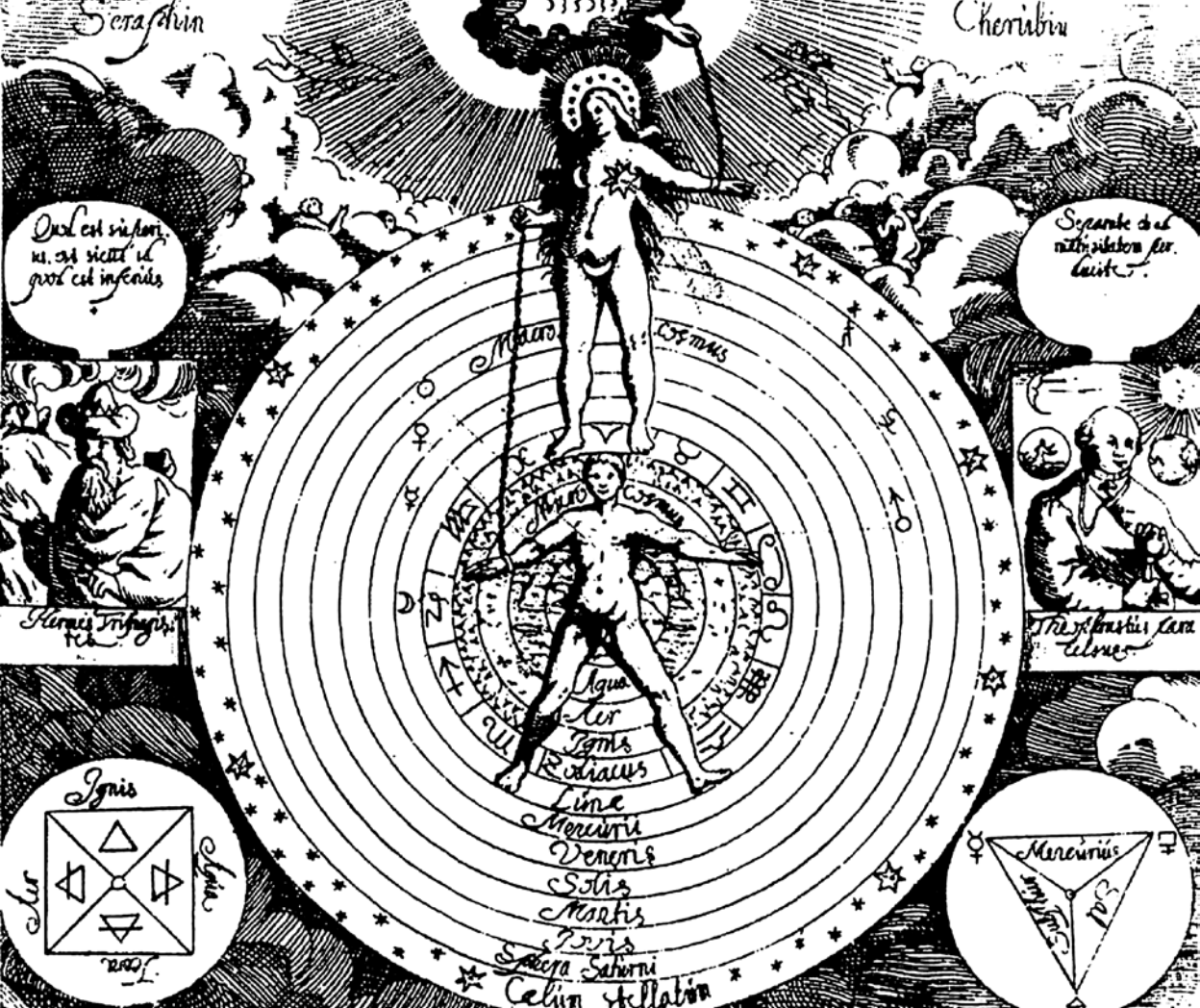
Duplerica



*Otkrića
kemijskih
elemenata*



Thomas Phillips, portret Sir Humphry Davy (1884)



17.

Sedam metala – sedam planeta

U antici su ljudi poznavali samo sedam metala koje su dovodili u mističnu vezu sa sedam planeta. Kako? Neki kažu po boji, drugi kažu po gibljivosti po nebu – tko zna na što su ih podsjećali! (Planet grčki znači zvijezda lutilica – pa su stoga Sunce i Mjesec planeti.)

Ta se veza održala daleko u srednji vijek, pa i do naših dana. Trovanje olovom još se zove saturnizam, trovanje živom merkurijalizam, a Englezi i Amerikanci živu zovu mercury.

Svaki je metal imao svoj planet

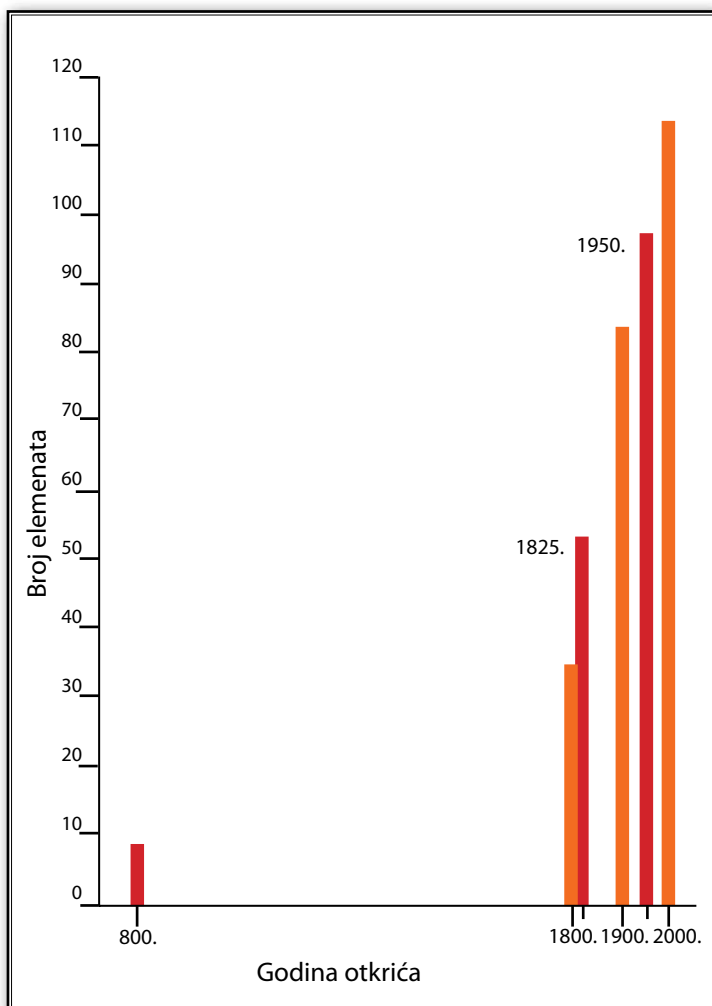
| Metali | | Planeti | |
|----------|---------------------------------|----------|-----------|
| Hrvatski | Latinski | Hrvatski | Latinski |
| zlato | aurum | Sunce | Sol |
| srebro | argentum | Mjesec | Luna |
| živa | hydrargyrum (argentum vivum) | Merkur | Mercurius |
| bakar | cuprum | Venera | Venus |
| željezo | ferrum | Mars | Mars |
| kositar | stannum | Jupiter | Jupiter |
| olovo | plumbum | Saturn | Saturnus |

Jesu li to svi elementi koje su poznavali u starini? I da i ne. Iako je slitina bakra i arsena (arsenova bronca) bila prva kovina koju je čovjek lijevao, arsen je kao element prepoznat tek u 13. stoljeću. Slitinu zlata sa srebrom (koju su Egipćani zvali *asem*, Grci *electron*, a Rimljani *electrum*) smatrali su posebnim metalom – jer još nisu znali odvojiti zlato od srebra. Za živu su pak Rimljani imali dva imena: ako je bila samorodna, zvali su je *argentum vivum*

(prirodna živa), a ako su je pak dobili iz rude *hydrargyrum* (umjetna živa). Olovo i kositar smatrali su pak dvjema vrstama iste kovine: olovo je bilo crno olovo (*plumbum nigrum*), a kositar bijelo olovo (*plumbum album* ili *plumbum candidum*). Zato još i danas *olovo* (олово) ruski znači kositar.

Od nemetala poznavali su samo ugljik (ugljen) i sumpor.





18.

Kako su otkrivani elementi

U antičko doba znalo se za samo sedam metala i dva nemetala – dakle devet elemenata.

Lavoisier je tablici elemenata iz 1789. naveo samo šest nemetala (O, N, H, S, P, C) i 14 metala (Sb, Ag, As, Bi, Co, Cu, Sn, Fe, Mn, Ni, Au, Pt, W i Zn) – dakle u svemu 20 elemenata.

Stoljeće poslije, Mendeljejev je u prvoj tablici iz 1869. imao već 60 elemenata.

U periodnom sustavu koji je 1964. tiskan

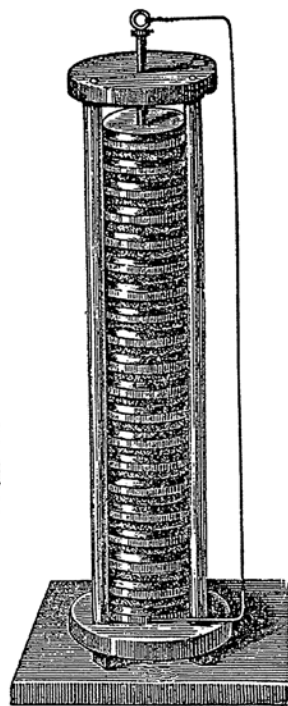
uz udžbenik anorganske kemije (*Lehrbuch der Anorganischen Chemie*) Egon Wiberg navodi 111 elemenata. Toliko ih imaju i suvremeni periodni sustavi – iako se stalno pronalaze novi, umjetni elementi.

Otkriću elemenata u 19. i 20. stoljeću kumovala su tri dostignuća: (1) sustavna potraga za lantanidima (»rijetkim zemljama«), (2) otkriće spektralne analize i (3) otkriće radioaktivnosti (transmutacije elemenata).





Sir Humphry Davy (1778–1829)



Rastavljanje spojeva električnom strujom (elektrolizom) postalo je moguće tek kada je izumljena prva električna baterija – Voltin stup. Takvom se baterijom poslužio i Davy. Kao elektrolit služile su vodene otopine stipse (kalijeva aluminijska sulfata) i sumporna kiselina.

19.

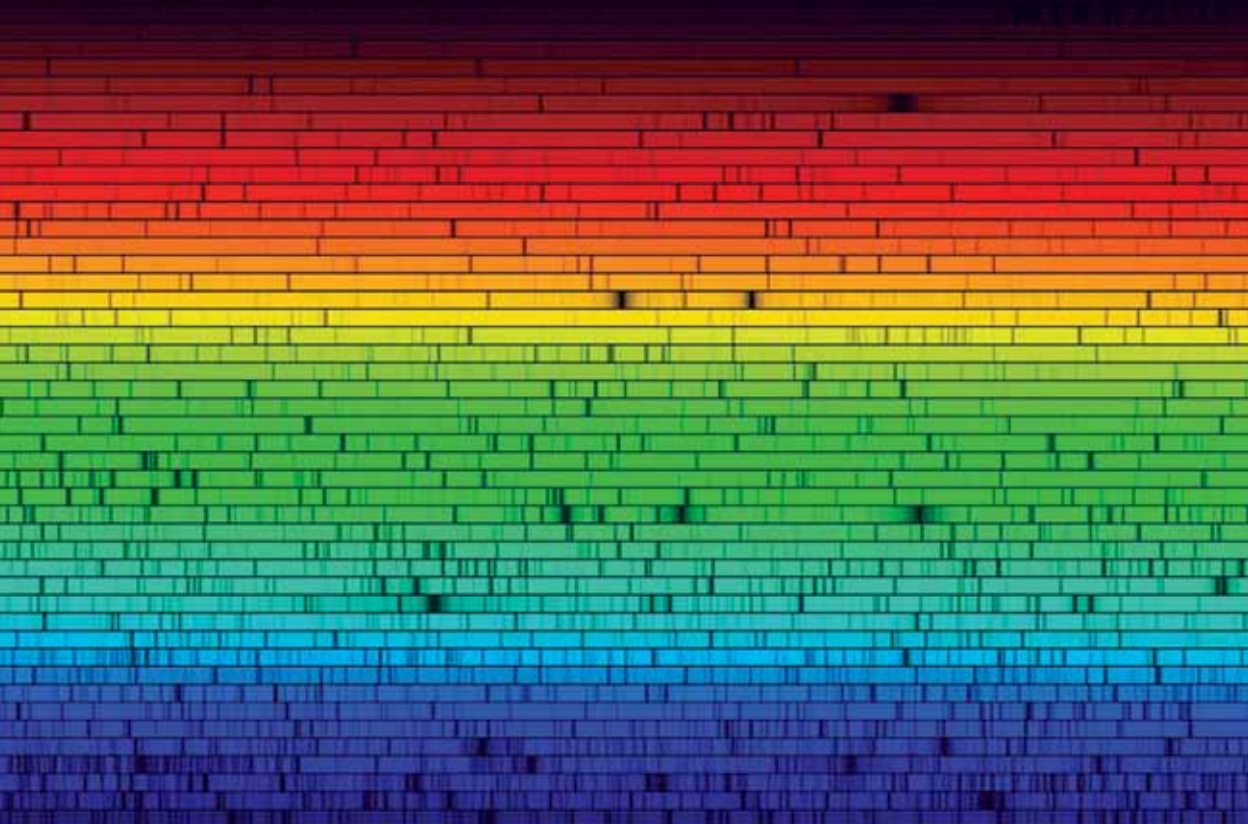
Humphry Davy – otkrivač natrija (i još sedam elemenata)

»Potaša se pokazala vodičem najbolje vrste te koliko god se dugo dodir držao, najsajnija se svjetlost vidjela na negativnoj žici, a plameni stup, kojem je uzrok čini se bio razvijanje zapaljive tvari, dizao se s mjesta dodira«. Tako je engleski kemičar Humphry Davy opisao otkriće kalija što ga je dobio elektrolizom »potaše« (*potash*), rastaljena kalijeva hidroksida.

Nakon otkrića kalija, iste je 1897. godine otkrio i natrij (elektrolizom natrijeva hidrok-

sida). I ne samo to! Davy je uspio u elementarnom stanju dobiti još pet kemijskih elemenata: kalcij, magnezij, barij, stroncij i bor. Možemo ga smatrati i otkrivačem klora jer je utvrdio da taj žutozeleni plin nije »oksidirana murijatična (salamurna) kiselina«, nego dotad nepriznat kemijski element. Naime, dotad su kemičari murijatičnoj (klorovodičnoj) kiselini pripisivali formulu HO_3 , a njezinu »oksidu« (kloru) HO_4 .





Spektar sunca

20.

Joseph von Fraunhofer – čovjek koji je dodirnuo zvijezde

Ispitujući kakvoću leća koje je brusio, njemački je fizičar i optičar Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826) 1814. ugledao u spektru Sunca pruge. Isprava je mislio da potječu od defekta u staklu.

Kada je pobliže istražio tu pojavu, otkrio je da pruge u spektru govore o kemijskom sastavu Sunca. Kada naime Sunčevo zračenje prolazi kroz hladnije slojeve Sunčeve atmosfere, ono u njima biva apsorbirano. Svaki kemijski element apsorbira sebi svojstvene frekvencije zračenja, pa se po Fraunhoferovim linijama može odrediti kemijski sastav Sunčeve atmosfere.

I ne samo to! Prema pomaku Fraunhoferovih linija može se odrediti brzina, a prema širini temperatura zvijezda.

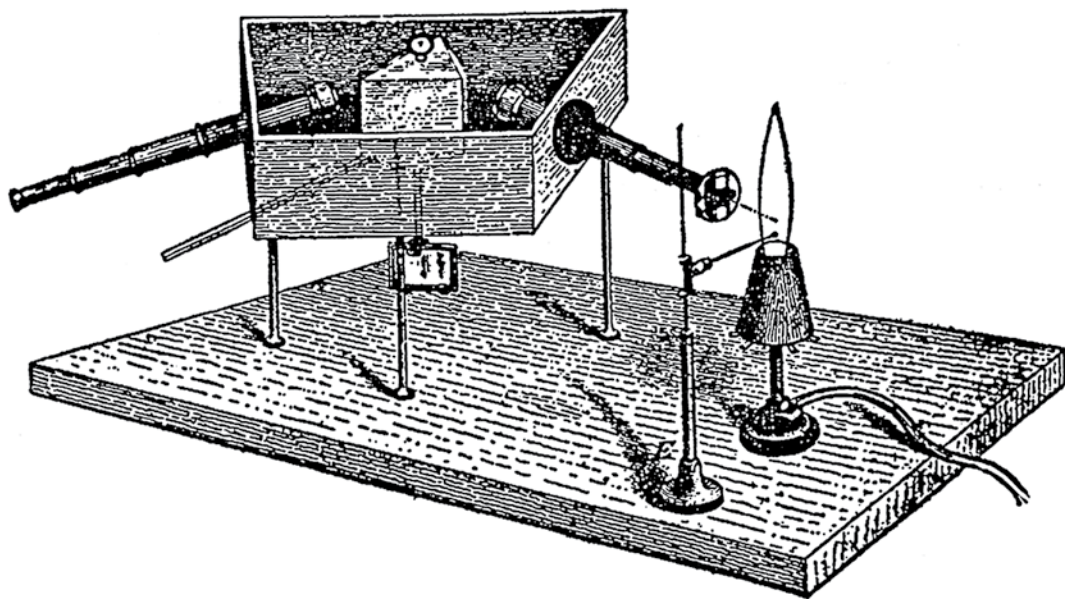
Na Fraunhoferovu su grobu napisali:

APPROXIMAVIT SIDERA

(Približio je zvijezde) i to s punim pravom – jer se tada mislilo da o kemijskom sastavu zvijezda (i drugih nebeskih tijela) nećemo nikad ništa znati.

Nikad ne kaži nikad!





Bunsenov spektrograf: uvodeći u plamen uzorak, može se prema spektru odrediti kojih kemijskih elemenata u njemu ima

Elementi otkriveni spektralnom analizom

(bojom su označeni elementi koji su dobili ime prema svojoj boji u plamenu)

21.

Sa sunca na zemlju – spektralna analiza

Njemački kemičar Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1899) i fizičar Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887), kojega poznajemo po zakonu grananja struje, uveli su 1860. u kemiju spektralnu analizu.

Frekvenciju koju element u hladnom stanju apsorbira u vrućem emitira. Fraunhofer je istraživao apsorpcijski spektar Sunca, a Bunsen i Kirchhoff emisijski spektar soli koje je unosio u plamen.

Zahvaljujući spektralnoj analizi u sljedećih 47 godina otkriveno je 13 novih kemijskih elemenata.

| Godina otkrića | Element | Simbol | Otkrivač |
|----------------|-------------|--------|--------------------------|
| 1860. | cezij | Cs | R. W. Bunsen |
| 1861. | rubidij | Rb | R. W. Bunsen |
| 1861. | talij | Tl | W. Crookes |
| 1863. | indij | In | F. Reich i H. T. Richter |
| 1868. | helij | He | N. Lockyer |
| 1875. | galij | Ga | De Boisbaudran |
| 1879. | tulij | Tm | P. T. Cleve |
| 1885. | praseodimij | Pr | C. A. von Welsbach |
| 1885. | neodimij | Nd | C. A. von Welsbach |
| 1886. | samarij | Sm | De Boisbaudran |
| 1886. | holmij | Ho | P. T. Cleve |
| 1907. | iterbij | Yb | |
| 1907. | lutecij | Lu | G. Urbain |



FOTOGRAFIJA IZLOŠKA

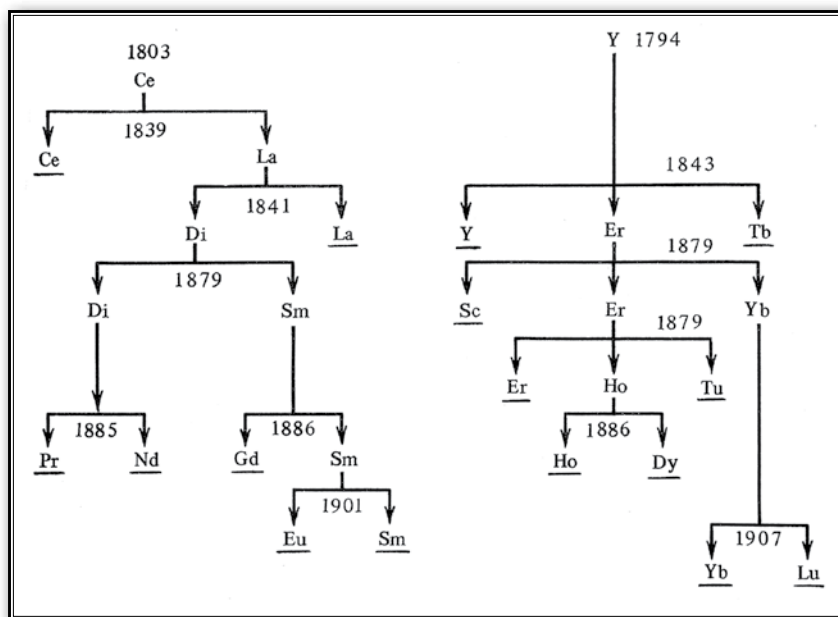
22.

Instrument kojim se vide elementi

Atomski emisijski spektrofotometar zove se ovaj instrument: unošenjem uzorka u plamen, plamen se oboji, pa se onda po intenzitetu boje vidi koliko kojeg elementa ima u uzorku. Da bi se razlučile boje, služe filtri, a intenzitet se mjeri elektronički, fotometrom.

Ovaj nam instrument dolazi iz muzejske zbirke zagrebačkoga Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije (FKIT). Današnji uređaji ove vrste mnogo su veći i potpuno automatizirani.





Svi su lantanidi (»rijetke zemlje«) dobiveni iz samo dva minerala: iterbita (gadolinita) i cerita.

23.

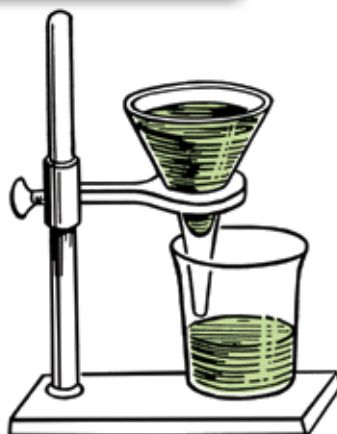
Metali rijetkih zemalja – elementi koji su najteže otkriveni

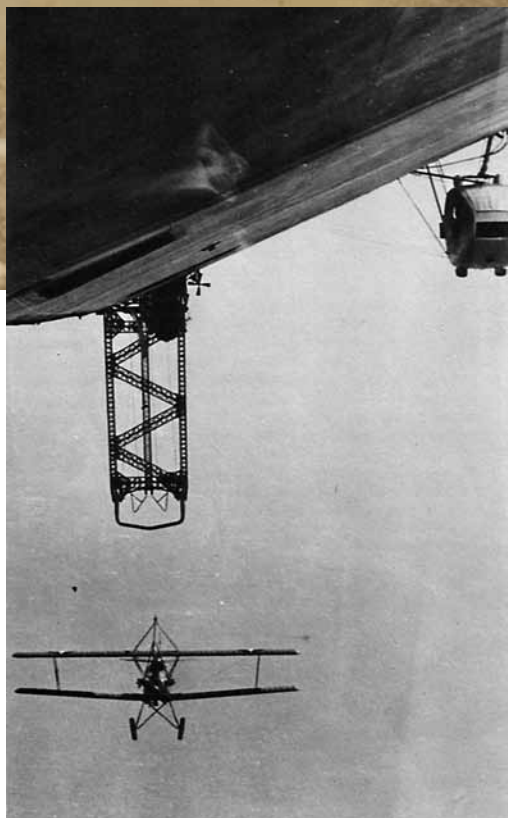
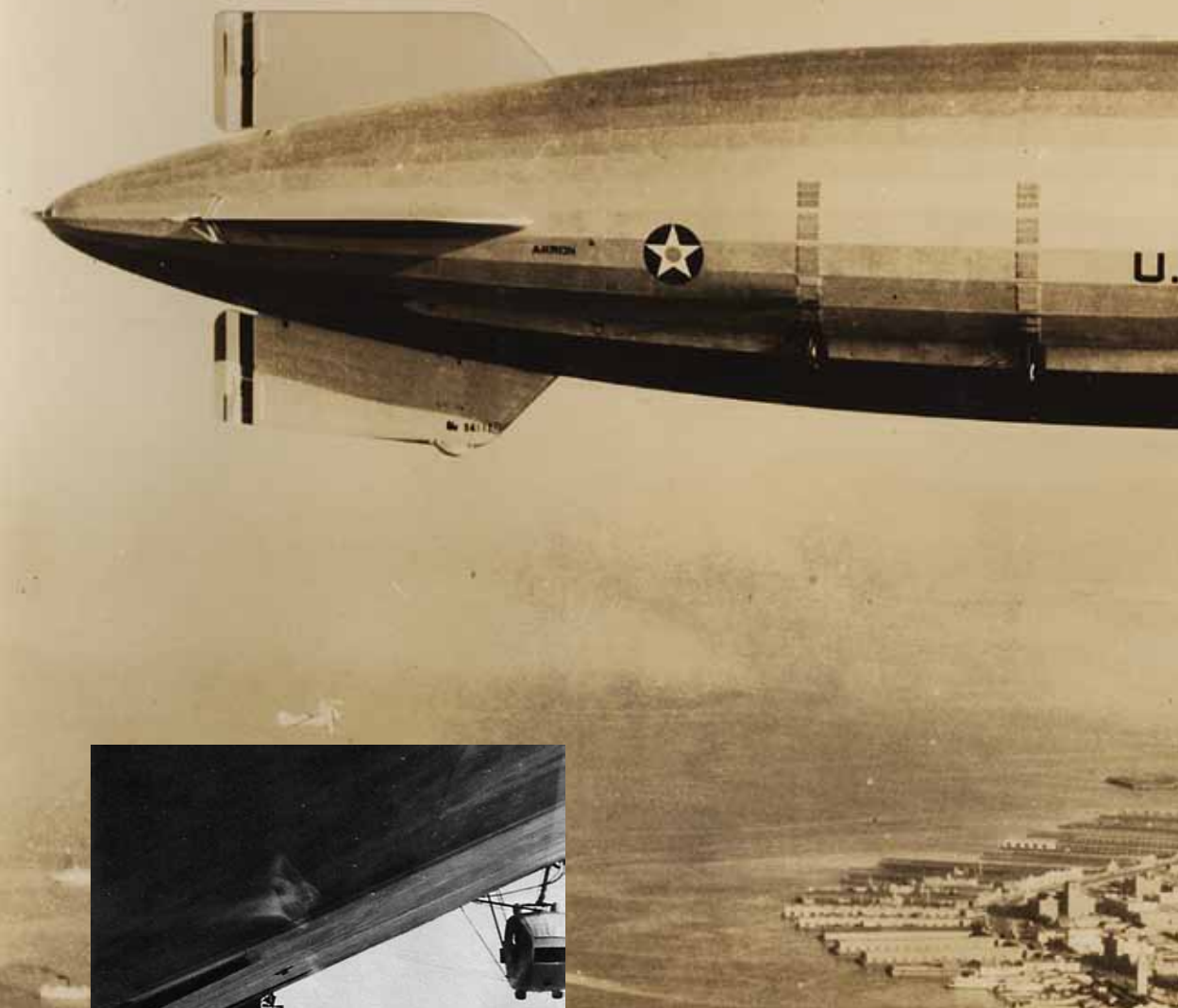
Imate dva bijela praha: jedan se otapa u malo više, a drugi u malo manje kiseline. Jesu li to oksidi dvaju elemenata ili je pak riječ o smjesama oksida dva (ili više) elemenata, samo u različitom masenom omjeru? S tim su se pitanjem kemičari mučili čitavo devetnaesto stoljeće dok na kraju nisu iz dva minerala, iterbita i cerita, izdvojili 15 novih kemijskih elemenata – koje su oni zvali metalima rijetkih zemalja (ili samo »rijetke zemlje«), a mi lantanidima.

Kako se otkrivalo? Prvo bi se otkrio jedan element, a onda bi se vidjelo da je riječ o smje-

si dvaju ili više elemenata. »Didimij« (Di) se otkrio kao smjesa »didimija« i »samarija«, da bi se na kraju otkrilo da »didimiju« ne odgovara nijedan element, nego da je i on smjesa, smjesa praseodimija (Pr) i neodimija (Nd)!

Da bi izolirao lutecij (Lu), francuski je kemičar Urbain morao je napraviti čak 15 tisuća prekrizacija. O teškom putu kemičara govore i imena novootkrivenih elemenata: tulij (Tm) je dobio ime po Tuli, zemlji na kraju svijeta, a nepostojeći element didimij (Di) po grčkoj riječi za blizance – jer je bio »bliznac« lantanu (La), od kojega se teško odvojio.





Američka je mornarica, zahvaljujući izvorima helija, 30-ih godina izgradila orijaške izviđačke zrakoplove...

... koji su u trupu mogli nositi i male avione.



24.

Helij – element koji je prije otkriven na Suncu nego na zemlji

Kada je engleski 1868. astronom Sir Joseph Norman Lockyer (1836 – 1920) ugledao u spektru Sunca dotad nepoznatu Fraunhoferovu liniju, shvatio je da je otkrio novi kemijski element. Kako se linija novog elementa nalazila blizu natrijeve, mislio je kako je riječ o metalu. Stoga ga je nazvao *helium*, dakle metal (-ium) sa Sunca (grč. *helios*). Na Zemlji je helij otkriven tek 1895. u uranovu mineralu klevaitu. (Helij nastaje iz α -zraka, koje nisu

ništa nego jezgre helija, He^{2+} . Nastaje dakle iz radioaktivnih minerala.)

Helij se dobiva iz američkoga zemnog plina. Kako su se helijem punili cepelini, koji su prije svega služili vojsci, helij je bio strateška sirovina koju Amerikanci nisu htjeli prodavati nikomu, ponajmanje Nijemcima. Stoga su Nijemci i dalje punili svoje cepeline zapaljivim vodikom – sve do nesreće putničkog zrakoplova *Hindenburg*, koji se 1937. zapalio i izgorio u njujorškoj zračnoj luci.



Summary

Innumerable Aspects of the Periodic System of the Elements (exhibition catalogue)

The idea of the exhibition «Innumerable Aspects of the Periodic System of the Elements” in the Technical Museum of Zagreb is to present the periodic system of the elements, its history, its forms, the life and work of its founder, the Russian chemist Dmitry Ivanovich Mendeleev, and the history of the discovery of the elements. It is primarily intended for secondary-school

students, but should also be interesting to the general public.

The most attractive exhibit is a model of the periodic system, 7 x 3 x 2 m, in the form of Stonehenge; composed of 16 pillars, each representing a group of the periodic system (exhibit No. ?). Each pillar has three faces (sides) and each face 3 - 7 screens. Each screen, that can glow red or green, represents one chemical element. This is also in function of a quiz game for two players. Each has to answer two questions for every element: (1) is it metal, non-metal, or semimetal? and (2) is it gas, liquid, or solid? The player who answers both questions correctly wins the screen/element, which turns into the winner's colour (either red or green).

