

SEM KIN



**I DRUGE ISTINITE PRIČE O LUDILU,
LJUBAVI I ISTORIJI SVETA ISPRIČANE
ZAHVALJUJUĆI PERIODNOM
SISTEMU ELEMENATA**



Prevela
Tatjana Bižić

■ Laguna ■

Naslov originala

Sam Kean

THE DISAPPEARING SPOON

This edition published by arrangement with
Little, Brown and Company, New York, New York, USA.
All rights reserved.

Translation copyright © 2018 za srpsko izdanje, LAGUNA



Kupovinom knjige sa FSC oznakom pomažete razvoj projekta
odgovornog korišćenja šumskih resursa širom sveta.

NC-COC-016937, NC-CW-016937, FSC-C007782

© 1996 Forest Stewardship Council A.C.

**KAŠIKA
KOJA NESTAJE**

SADRŽAJ

<i>Uvod</i>	9
-----------------------	---

PRVI DEO

ORIJENTACIJA: KOLONA PO KOLONA, RED PO RED.	17
1. Sudbina leži u geografiji	19
2. Još malo pa blizanci i crne ovce: genealogija elemenata.	43
3. Galapagos periodne tablice.	61

DRUGI DEO

GRAĐENJE ATOMA, CEPANJE ATOMA	81
4. Odakle dolaze atomi: „Svi smo mi zvezdano tkanje“	82
5. Elementi u ratno doba	103
6. Kompletiranje periodnog sistema elemenata... uz veliku eksploziju	123
7. Širenje periodnog sistema elemenata, produžetak Hladnog rata.	143

TREĆI DEO

PERIODNA ZBRKA: NASTAJANJE KOMPLIKOVANOSTI. . .	165
8. Od fizike do biologije	167
9. Trovački rukavac: „Jao, jao“	187
10. Popijte dva elementa, pa mi se javite ujutru.	205
11. Kako nas elementi obmanjuju	227

ČETVRTI DEO

ELEMENTI LJUDSKOG KARAKTERA	243
12. Politički elementi.	245
13. Elementi kao moneta	266
14. Umetnički elementi	284
15. Element ludila	303

PETI DEO

DANAŠNJICA I SUTRAŠNJICA NAUKE O ELEMENTIMA . . .	325
16. Hemija duboko, duboko ispod nule	327
17. Sfere veličanstva: nauka o mehurićima	347
18. Apsurdno precizni instrumenti.	368
19. Iznad i preko periodnog sistema elemenata.	388

Zahvalnost	407
Bibliografija	409
Razgovor sa Semom Kinom.	411
Pitanja i teme za diskusiju.	415
Pet omiljenih elemenata Sema Kina	417
Predlozi Sema Kina za dalje čitanje	421
Napomene	423

UVOD



Dok sam bio mali, tamo negde oko 1980, bio sam sklon da pričam dok imam nešto u ustima – hranu, zubarsku cevčicu za ispiranje usta, balon, koji bi mi odleteo kad progovorim, i uopšte bilo šta; pričao sam čak i kada sam bio sam. Ta navika je dovela do moje opčinjenosti periodnim sistemom elemenata – opčinjenosti koja se razvila kad su me prvi put ostavili samog s toplomerom ispod jezika. U drugom i trećem razredu osnovne škole razboleo sam se od streptokokne upale grla desetak puta, te su tako proticali dani bez broja kad mi je bilo vrlo bolno da gutam. Nije mi međutim nimalo smetalo što ne moram da idem u školu i mogu da ostajem kod kuće i lečim se sladoledom od vanile i čokoladnim prelivom. Bolesnički dani takođe su mi uvek pružali šansu da razbijem još jedan starinski toplomer sa živom.

Dok sam ležao sa staklenim štapićem pod jezikom, odgovorio bih naglas na neko pitanje koje sam sebi postavio u glavi, tako da bi mi toplomer ispao iz usta i razbio se na podu, a

tečna živa se rasula u kuglice. Moja majka bi se odmah spuštala na pod, iako je imala artritičan kuk, i počinjala da skuplja kuglice. Služeći se čačkalicom kao štapom za hokej, gurkala bi dve kuglice jednu ka drugoj dok se skoro ne dotaknu, a onda, uz jedan konačni sićušni potez, jedna bi progutala drugu. Jedna jedina, potpuno glatka kuglica podrhtavala je na mestu gde su još do malopre bile dve. Moja majka je ponavljala taj mađioničarski trik širom sobe: jedna sve veća kuglica gutala je ostale dok čitavo srebrno sočivo ne bi bilo rekonstruisano.

Pošto bi prikupila sve kuglice žive, uzimala je s police u kuhinji na kojoj smo držali razne drangulije plastičnu bočicu za pilule, sa zelenom etiketom, koja je stajala između plišanog medvedića sa štapom za pecanje i plave keramičke šolje, suvenira s nekakvog porodičnog okupljanja 1985. godine. Kada bi dokotrljala lopticu na koverat, pažljivo je dodavala sadržaj poslednjeg polomljenog toplomera loptici veličine oraha koja se već nalazila u bočici. Ponekad bi, pre nego što sakrije bočicu, sipala živu u zatvarač i puštala nas decu da gledamo kako se futuristički metal preliva, razdeljuje pa spaja, kao da se zalećuje bez ožiljka. Oduvek mi je bilo žao dece čije su majke u takvom strahu od žive da im čak ne daju da jedu tunjevinu. Srednjovekovni alhemičari su, uprkos svojoj žudnji za zlatom, smatrali živu najmoćnijom i najpoetičnijom stvari u čitavoj vasioni. Kao dete, složio bih se s njima. Čak bih i poverovao, kao što su oni verovali, da živa nadilazi sve takve prizemne kategorije kao što su tečno ili čvrsto, metal ili voda, rajsko ili pakleno; da u njoj obitavaju nezemaljski duhovi.

Kasnije sam saznao da se živa tako ponaša zato što je element. Za razliku od vode (H_2O), ugljen-dioksida (CO_2) ili manje-više svega ostalog na šta nailazite u svakodnevnom

životu, živu ne možete prirodnim putem razdeliti u manje jedinice. Njeni atomi žele društvo samo drugih atoma žive i zato svode dodir sa spoljašnjim svetom na najmanju moguću meru tako što se sklupčavaju u lopticu. Većina tečnosti koje sam prosipao kao dete nije se tako ponašala. Voda se razlivala na sve strane, isto tako i ulje, sirće ili rastopljeni žele. Živa nikada nije pravila mrlje. Roditelji su me uvek upozoravali da ne idem bos kad razbijem toplomer da me ne bi nevidljivi komadići razbijenog stakla uboli u nogu, ali se ne sećam da su me upozoravali na neulovljene kuglice žive.

Vrlo dugo sam držao na oku element pod rednim brojem osamdeset, i u školi i u knjigama, nekako slično kao što biste pratili ime druga iz detinjstva koje se pojavljuje u novinama. Rođen sam u Velikim ravnicama i naučio sam na časovima istorije da su Luis i Klark prepešaćili Južnu Dakotu i ostatak Luizijane s mikroskopom, kompasima, sekstantima, tri termometra sa živom i drugim instrumentima. Nisam najpre znao, međutim, da su takođe nosili šest stotina tableta laksativa na bazi žive, oko četiri puta većih od tablete aspirina. Laksativ je nosio ime *Tablete doktora Raša za čišćenje*. Doktor Bendžamin Raš je bio jedan od potpisnika Deklaracije o nezavisnosti i junak koji je ostao u Filadelfiji za vreme epidemije žute groznice 1793. godine. Njegov omiljeni lek za sve bolesti bio je rastvor živinog hlorida primenjivan oralno. Uprkos opštem napretku medicine između 1400. i 1800. godine, lekari su sve to vreme bili više vračevi i iscelitelji nego što su primenjivali naučna dostignuća medicine. Primenjujući svojevrsnu simpatijsku magiju, zaključili su da živa, naizgled tako lepa i privlačna, može da izleči bolesti dovodeći ih do ružne krize – bitke između dva otrova. Doktor Raš je davao ljudima da gutaju živin rastvor sve dok ne bi postali dementni; često su im posle višenedelnog ili

višemesečnog tretmana tim rastvorom ispadali kosa i zubi. Rašov „lek“ je, bez ikakve sumnje, u većoj ili manjoj meri otrovao ili direktno ubio mnoštvo ljudi koje bi žuta groznica možda i pošteдела. I pored toga, doktor je deset godina kasnije, usavršivši svoj tretman u Filadelfiji, otpremio Merivedera i Vilijema na put s uzorcima uručenim neposredno na mestu proizvodnje. Kao zgodan propratni efekat pilule doktora Raša omogućile su današnjim arheolozima da uđu u trag logorištima na kojima su dvojica istraživača boravila. S obzirom na čudne vrste hrane i sumnjiv kvalitet vode koje su pronalazili u prirodi, neko od članova ekspedicije uvek je imao problema s probavom, tako da do dana današnjeg talog žive obeležava mnoga mesta gde je družina kopala nužnike pošto bi, možda, pilule gromovnice doktora Raša i predobro obavile svoj posao.

Živa je imala svoje mesto i na časovima hemije. Kad sam se tek upoznao sa zbrkom koju mi je tada predstavljao periodni sistem elemenata, tražio sam na njemu živu, ali nisam mogao da je nađem. Tamo je, naravno – između zlata, koje je takođe mekano i gusto, i talijuma, koji je takođe otrovan – samo što hemijski simbol žive, Hg, čine dva slova koja se ne nalaze u njenom imenu na živim jezicima. Simbol Hg potiče od latinskog *hydragyrum* – vodeno srebro. Odgone-tanje te misterije doprinelo je da shvatim koliko su mnogo uticaja antički jezici i mitologija imali na periodni sistem elemenata. Taj uticaj je i dalje vidljiv u latinskim imenima novijih, superteških elemenata u donjem nizu tablice.

Sa živom sam se susreo i na časovima književnosti. Šeširdžije su se nekada služile jarkonarandžastom tečnošću na bazi žive da bi razdvojile krzno od kože i obične šeširdžije, koje su se bavile oko buradi za natapanje, s vremenom su ćelavile i gubile razum kao ljudi šeširdžija iz *Alise u zemlji*

čuđa. Na kraju sam shvatio koliko je živa otrovna. U tome leži objašnjenje za tako uspešno laksativno dejstvo pilula doktora Raša: telo će se potruditi da izbaci iz sebe svaki otrov, pa tako i živu. Progutana živa vrlo je otrovna, ali su isparenja još gora; ona načinju veze u centralnom nervnom sistemu i progorevaju rupe u mozgu, slično kao Alchajmerova bolest u poodmakloj fazi.

Ipak, što sam više saznavao o tome koliko je živa opasna, to me je više, baš kao tigar Vilijema Blejka – „Tigre! Tigre! ognjem plamtiš“ – privlačila njena razorna lepota. Godine su proticale i moji roditelji su, kad su preuređivali kuhinju, skinuli policu na kojoj su stajali šolja i plišani medved, ali su sitnice s nje poskidali i stavili u jednu kartonsku kutiju. Kad sam nedavno bio kod njih, pronašao sam bočicu sa zelenom etiketom i otvorio je. Naginjući je tamo-ovamo osećao sam kako nešto teško kruži u njoj, a kad sam zavirio, video sam sićušne perlice koje su se razlile oko glavne putanje i ostale da se presijavaju savršene kao kapljice vode kakve se viđaju samo u fantazijama. Čitavog detinjstva prosutu živu povezivao sam s povišenom temperaturom. Ovog puta, znajući za strašnu simetriju tih sićušnih kuglica, osetio sam hladnu jezu.

Polazeći od tog jednog hemijskog elementa, naučio sam mnogo o istoriji, etimologiji, alhemiji, mitologiji, književnosti, sudskomedicinskom ispitivanju trovanja i psihologiji.¹ Priče koje sam sakupio o elementima nisu se okončale na živi, posebno pošto sam se posvetio studiranju prirodnih nauka i na fakultetu pronašao nekoliko profesora koji su rado na neko vreme odlagali svoja naučna istraživanja da bi se malo predali naučnom ćaskanju.

Kao student fizike, koji se nadao da će moći da umakne iz laboratorije da bi pisao, osećao sam se prilično bedno među ozbiljnim, nadarenim mladim naučnicima u mojoj klasi koji su voleli praktične eksperimente, učenje na pokušaju i grešci, a ja nisam. Pregurao sam pet ledenih godina u Minesoti i stekao diplomu iz fizike, ali uprkos stotinama sati u laboratorijama, uprkos tome što sam popamtio na hiljade jednačina i formula, nacrtao na desetine hiljada dijagrama s kosinama i čekrcima bez kočnice, stvarno obrazovanje prikupio sam iz priča svojih profesora. Priča o Gandiju i Godzili i eugeničaru koji je iskoristio germanijum da ukrade Nobelovu nagradu, o ubacivanju kocaka eksplozivnog natrijuma u reke da se pobije riba, o ljudima koji su se radosno gušili azotom u spejsšatlovima, o jednom bivšem profesoru mog univerziteta koji je eksperimentisao s pejsmejkerom na plutonijumski pogon ugrađenim u *sopstvene grudi* tako što mu je povećavao i smanjivao brzinu pomoću divovskih magnetnih navoja.

Upijao sam te priče, a kad sam nedavno za doručkom razmišljao o živi, shvatio sam da postoji poneka smešna, čudna ili zastrašujuća priča o svakom elementu iz periodnog sistema elemenata. Istovremeno, periodni sistem elemenata je jedno od velikih intelektualnih ostvarenja čovečanstva, podjednako je naučno dostignuće koliko i čitava knjiga priča. Napisao sam ovu knjigu da razotkrijem jedan po jedan njen sloj, kao preseke ljudskog tela u anatomskim atlasima, koji zapravo svi pričaju istu priču, samo na različitim dubinama organizma. Na svom najjednostavnijem nivou periodni sistem elemenata katalogizuje sve vrste materije u našem svemiru, stotinu i nešto vrlo snažnih ličnosti, od kojih potiče sve što možemo da vidimo i dodirnemo. Oblik tablice takođe nam pruža naučne naznake o tome kako se te

ličnosti ponašaju jedne prema drugima kad se nađu izmešane u mnoštvu. Na jednom malo komplikovanijem nivou periodni sistem elemenata pruža nam šifrovane forenzičke podatke o tome odakle svaka vrsta atoma potiče i koji atomi mogu da se fragmentuju ili da mutiraju u neke druge atome. Atomi se takođe prirodno kombinuju u dinamične strukture kao živa bića, a na osnovu periodnog sistema elemenata moguće je predvideti kako se kombinuju. Periodni sistem elemenata čak predviđa i kojim putanjama opaki elementi mogu da oštete ili razore žive organizme.

I konačno, periodni sistem elemenata je pravo antropološko čudo, ljudski artefakt koji odražava sve prekrasne, virtuozne i ružne aspekte ljudskih bića i naših interakcija s fizičkim svetom – istorija naše vrste ispisana jednim zgusnutim i otmenim pismom. Periodni sistem elemenata zavređuje proučavanje na svakom od ovih nivoa, počevši od najelementarnijeg pa postepeno ka sve složenijima. Osim što su zabavne, priče o periodnom sistemu elemenata pružaju nam jedan vid razumevanja na koji nikada ne nailazimo u udžbenicima i laboratorijskim praktikumima. Periodni sistem elemenata jedemo i dišemo; ljudi ulažu i gube ogromne svote novca kladeći se na njega; filozofi se njime služe da bi ispitivali smisao nauke; on truže ljude; on rađa ratove. Između kiseonika gore levo i ljudskom rukom stvorenih neverovatnoća koje vrebaju pri dnu naći ćete mehuriće, bombe, novac, alhemiju, sitno politikanstvo, istoriju, trovanja, zločine i ljubav. Pa čak i nešto malo nauke.

PRVI DEO

ORIJENTACIJA:
KOLONA PO KOLONA,
RED PO RED

1

Sudbina leži u geografiji

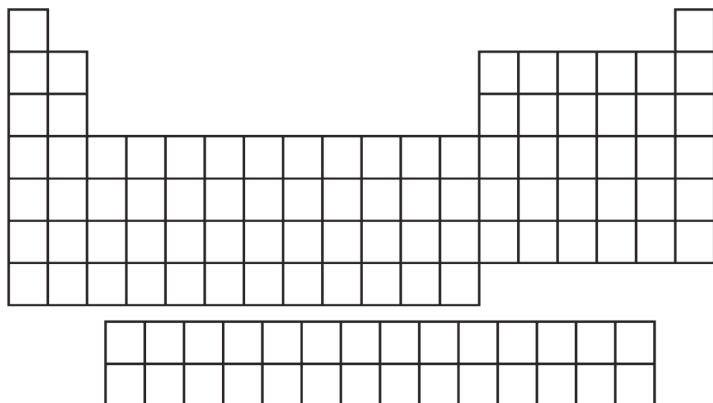
² He 4.003	⁵ B 10.812	⁵¹ Sb 121.760	⁶⁹ Tm 168.934	⁸ O 15.999	⁶⁷ Ho 164.930
-----------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------

Većina ljudi se, kada pomisli na periodni sistem elemenata, seti šeme okačene u čelo hemijskog kabineta u srednjoj školi, asimetrično postavljenih kolona i redova iza profesorovog ramena. Šema je obično velika oko metar sa dva – format i smeo i prikladan s obzirom na važnost periodnog sistema elemenata u hemiji. Prvi razred se upoznaje s njim u septembru, a u maju je i dalje važan i, za razliku od beležaka s predavanja ili udžbenika, periodni sistem je dozvoljeno koristiti i na testovima ili ispitima. Naravno, deo ozlojeđenosti u vezi s periodnim sistemom elemenata, koje ćete se možda takođe sećati, potiče možda od činjenice da, iako ste bez ograničenja mogli da ga konsultujete, ova ogromna i potpuno dozvoljena đačka puškica uglavnom nije pomagala ni najmanje, đavo da je nosi.

Periodni sistem elemenata izgleda vrlo organizovano i usavršeno, gotovo kao plod nemačkog inženjerskog umeća stvoren za vrhunsku naučnu upotrebljivost. Ipak, to je takva

jedna zbrka dugačkih brojeva, skraćenica i, na prvi pogled sudeći, računarskih poruka o grešci ($[\text{Xe}]6s^2 4f^1 5d^1$) da zbilja i ne možete a da se pomalo ne prepadnete. Iako periodni sistem očigledno ima neke veze s drugim naukama, kao što su biologija i fizika, nije sasvim jasno kakve su te veze. Mnogi srednjoškolci se možda najbesspomoćnije osećaju zbog toga što ljudi koji shvataju periodni sistem elemenata, koji su u stanju zaista da raščlane kako on funkcioniše, mogu iz njega da izvuku toliko činjenica s neverovatnom knjiškom nonšalancijom. Mora biti da se isto tako nerviraju ljudi koji pate od slepila za boje dok nedaltonisti lako uočavaju sedmice i devetke među raznobojnim tačkicama na karticama za testiranje – informacije ključne, ali skrivene, koje nikada ne poprime sasvim razgovetan oblik. Zbog toga se ljudi periodnog sistema elemenata prisećaju s fascinacijom, blagonaklonošću, s utiskom nedoraslosti i s odbojnošću.

Pre nego što upozna svoje učenike s periodnim sistemom elemenata, svaki nastavnik bi trebalo da poskida s njega sve što ga zatrpava i da postavi pred đake samo голу rešetku.



Kako on u suštini izgleda? Liči na nekakav zamak s nepravilnim zidinama, kao da kraljevski zidari nisu dovršili zidanje na levoj strani, i s visokim odbrambenim kulama na obe strane. Celo zdanje ima osamnaest kolona nejednake visine i sedam horizontalnih redova, uz još dva dodatna reda ispod, koji izgledaju kao neka sletna pista. Zamak je sazidan od „cigala“, a prva činjenica, koja nije vidljiva na prvi pogled, jeste da te cigle nisu zamenljive. Svaka je jedan *element*, jedna vrsta materije (zasad periodni sistem čini stotinu dvanaest elemenata, uz još nekoliko čija se sudbina tek rešava), i ako se samo jedna cigla ne bi nalazila tačno tu gde je, čitav zamak bi se srušio. Ovo nije nikakvo preterivanje. Ako bi naučnici zaključili da jedan element zapravo treba da se nalazi u nekoj drugoj pregradici, ili da bi dva elementa trebalo da zamene mesta, čitavo zdanje bi se jednostavno stropoštalo.

Sledeća arhitektonska neobičnost leži u tome što su razni delovi zamka sazidani od različitih materijala. Što će reći, nisu sve cigle od iste tvari, niti sve imaju iste osobine. Sedamdeset pet posto cigala su metali, a to znači da većinu elemenata čine hladne, sive, čvrste tvari, čvrste barem u temperaturnom rasponu na koji su ljudska bića navikla. Nekoliko kolona na desnoj strani sadrži gasove. Na sobnoj temperaturi tečna su samo dva elementa – živa i brom. Između metala i gasova, nalaze se neki elementi koje je teško definisati, kojima amorfnu prirodu daje zanimljive osobine kao što je sposobnost da tvore kiseline milijardu puta jače od svega što je zaključano u kabinetima s hemijskim zalihama. Sveukupno gledajući, da je svaka cigla periodnog zamka napravljena od tvari koju simbolizuje, zamak elemenata bio bi himera s raznim produžecima i nadograđenim krilima iz različitih razdoblja ili, blagonaklonije rečeno, arhitektonsko delo Danijela

Libeskinda sagrađeno od naizgled nespojivih materijala međusobno nakalemjenih tako da daju elegantnu celinu.

Razlog što se zadržavamo na arhitektonskom nacrtu zamka sadržan je u činjenici da koordinate jednog elementa određuju gotovo sve što je kod tog elementa zanimljivo u naučnom smislu. Sudbina svakog elementa leži u geografiji. Sad kad ste stekli pojam o tome kako izgleda osnovni arhitektonski nacrt periodnog sistema elemenata, mogu da pređem i na jednu korisniju metaforu: periodni sistem elemenata je geografska karta. Da bih vam je skicirao s nešto više pojedinosti, razvijaću je zdesna ulevo zadržavajući se i na dobro poznatim i uglavnom skrajnutim elementima.

Kao prvo, sasvim desno u osamnaestoj koloni nalazi se skup elemenata poznat kao plemeniti gasovi. Plemeniti danas u ovom kontekstu zvuči arhaično i čudno, kao nešto što više pripada etici ili filozofiji nego hemiji. I zaista, termin plemeniti gasovi potiče iz zavičaja zapadne filozofije, iz stare Grčke. Tamo je Platon, pošto su njegovi sunarodnici Leukip i Demokrit izumeli ideju atoma, skovao reč elementi – na grčkom *στοιχεῖα* (*stoicheia*) – kao opšti pojam za raznorazne sitne čestice materije. Platon, koji je posle smrti svog učitelja Sokrata za sopstveno dobro napustio Atinu oko 400. g. p. n. e. i neko vreme lutao Grčkom pišući filozofiju, nije naravno znao šta je to element u današnjem hemijskom smislu reći, ali da je znao, nema sumnje da bi kao svoje omiljene odabrao one na krajnjoj desnoj strani, posebno helijum.

U svojoj *Gozbi*, dijalogu o ljubavi i erotici, Platon tvrdi da svako biće žudi da pronađe svoju dopunu, svoju izgublenu polovinu. Kad se primeni na ljude, to podrazumeva seksualnu strast i sve nevolje koje seksualnu strast prate. Osim toga, Platon u čitavom dijalogu naglašava da je apstraktno i nepromenljivo inherentno plemenitije od konkretnog, što se

razvlači okolo i stupa u međudejstvo s prljavom materijom. U tome se nalazi objašnjenje za našu ljubav prema geometriji, idealizovanim krugovima i kockama, telima koja percipiramo samo razumom. O nematematičkim telima Platon je razvio teoriju formi, prema kojoj su sva tela samo senke jednog idealnog prototipa. Svako drvo je, na primer, samo nesavršena kopija idealnog drveta, ka čijoj savršenoj suštini teži. Isto važi za ribe – svaka teži savršenoj suštini idealne ribe, pa čak i za šoljice – svaka teži savršenoj suštini idealne šoljice. Platon je verovao da idealne forme nisu samo teorija nego zaista postoje, iako lebde u empirijskom svetu koji se nalazi van neposredne ljudske percepcije. Bio bi dakle zaprepasćen kao i svi ostali kad su naučnici počeli da pomoću helijuma prizivaju idealne forme na zemlju.

Jedan holandsko-nemački naučnik hladio je 1911. godine živu tečnim helijumom i otkrio je da ispod -269°C sistem potpuno gubi elektrootpornost i postaje idealan provodnik. To bi bilo nešto slično kao da ohladite ajpod na nekoliko stotina stepeni ispod nule i ustanovite da baterija ostaje potpuno napunjena koliko god dugo ili glasno vi puštali muziku, i tako beskonačno, sve dok helijum zadržava rashlađenost strujnog kola. Jedan rusko-kanadski tim izveo je 1937. godine još elegantniji trik s čistim helijumom. Ohlađen na -271°C helijum se pretvara u supertečnost, s nultom viskoznošću i nultim otporom proticanju – savršeno tečne osobine. Helijumska supertečnost prkosi sili teže, teče uzbrdo i preko zidova. U to vreme to su bila potpuno zaprepašujuća otkrića. Naučnici često malo varaju i pretvaraju se da je delovanje sila kao što je trenje jednako nuli, ali to je samo zato da bi pojednostavili izračunavanja. Čak ni Platon nikad nije predviđao da će neko zaista pronaći jednu od njegovih idealnih formi. Helijum je takođe jedan od najboljih primera idealne

suštine elementa – supstance koja se ne može razložiti, niti izmeniti normalnim hemijskim sredstvima. Naučnicima je bilo potrebno dve hiljade dvesta godina, od 400. g. p. n. e. u Grčkoj do 1800. g. n. e. u Evropi, da bi shvatili šta su zaista elementi, jer je većina njih veoma promenljiva. Teško je bilo videti po čemu je to ugljenik zaista ugljenik kad se pojavljuje u hiljadama jedinjenja, koja sva imaju različita svojstva. Danas bismo rekli da, na primer, ugljen-dioksid nije element zato što se jedan njegov molekul deli na atom ugljenika i atome kiseonika, dok ugljenik i kiseonik jesu elementi jer ne možete da ih podelite ni na šta sitnije a da ih pritom ne uništite. Ako se na trenutak vratimo osnovnoj temi *Gozbe* i Platonovoj teoriji o erotskoj žudnji za drugom polovinom, koja nedostaje, ustanovićemo da praktično svaki element traga za atomima drugih elemenata s kojima će stvoriti veze, veze koje prikrivaju njegovu stvarnu suštinu. Čak i „najčistiji“ elementi, kao što su molekuli kiseonika u vazduhu (O_2), u prirodi se uvek pojavljuju kao kompoziti. Ipak, naučnici bi možda mnogo ranije dokučili šta su elementi da su znali za helijum, koji nikada ne reaguje s drugim supstancama i nikad nije bio ništa osim čisti element.²

Postoji razlog što se helijum ovako ponaša. Svi atomi sadrže elektrone, negativno naelektrisane čestice, koji se nalaze u raznim ljuskama, ili energetske nivoima atoma. Nivoi su koncentrično obavijeni jedan oko drugog i svakom nivou je potreban određen broj elektrona da bi se popunio i bio zadovoljan. Na unutrašnjem nivou, najbližem jezgri, potrebna su dva elektrona. Na ostalim obično osam. Elementi, po pravilu, imaju isti broj elektrona, negativno naelektrisanih čestica, i protona, pozitivno naelektrisanih čestica, tako da im je naelektrisanje neutralno. Elektroni, međutim, mogu slobodno da se razmenjuju među atomima i kada

atom izgubi ili stekne neki elektron, nastaje naelektrisan atom, koji se zove jon.

Važno je znati da atomi najpre popune unutrašnje, niskoenergetske nivoe sopstvenim elektronima, a zatim odbacuju, razmenjuju ili krađu elektrone da bi postigli odgovarajući broj u spoljašnjem nivou. Neki elementi razmenjuju elektrone diplomatski, dok se drugi ponašaju vrlo, vrlo opako. Eto pola čitave hemije u jednoj jedinoj rečenici: atomi koji nemaju dovoljno elektrona u spoljašnjoj ljusci boriće se, pogadati, prositi, kovati i raskidati savezništva, činiti sve što moraju samo da dostignu pravi broj.

Helijum, element broj dva u tablici, ima tačno onoliki broj elektrona koji mu je potreban da popuni svoj jedini nivo. Ova „zatvorena“ konfiguracija daje helijumu strahovitu nezavisnost, jer njemu nije potrebno ni da stupa u međudejstva s drugim atomima, ni da razmenjuje ili otima elektrone da bi se zasatio. Helijum je svoje erotsko upotpunjenje pronašao u samom sebi. Štaviše, ista ta konfiguracija proteže se niz čitavu osamnaestu kolonu, ispod helijuma – na gasove neon, argon, kripton, ksenon i radon. Svi ti elementi imaju zatvorene ljuske popunjene elektronima i pod normalnim uslovima ne reaguju ni sa čim. Upravo zbog toga, uprkos živim nastojanjima početkom XIX veka da se razni elementi identifikuju i jasno obeleže – naporima koji su između ostalog urodili i razvojem samog periodnog sistema elemenata – niko sve do 1895. godine nije izdvojio nijedan gas iz osamnaeste kolone. Ta odvojenost od svakodnevnog životnog iskustva, tako slična njegovim idealnim sferama i trouglovima, sigurno bi očarala Platona. U tom su duhu naučnici koji su otkrili helijum i njegovu ovozemaljsku sabraču i nazvali te gasove plemenitima. Ili da izrazimo to parafrazirajući Platona: „Onome ko ljubi savršeno

i nepromenljivo, a gnuša se iskvarivog i neplemenitog, biće kudikamo draži plemeniti gasovi od svih ostalih elemenata. Jer oni se nikada ne menjaju, nikada ne kolebaju, nikada ne ugađaju drugim elementima kao kmetovi koji nude jeftinu robu na pijaci. Oni su neokrnjivi i savršeni.“

Taj spokoj kakav odlikuje plemenite gasove, međutim, redak je. U susednoj koloni s leve strane nalaze se najenergičniji i najreaktivniji gasovi u periodnom sistemu elemenata – halogeni. Ako zamislite periodni sistem elemenata savijen kao karta na globusu tako da se ivice spoje i osamnaesta kolona nađe uz prvu, s druge strane uz pacifističke plemenite gasove naći će se alkalni metali, elementi još nasilniji od halogena, a plemeniti gasovi činiće demilitarizovanu zonu u sredini s nestabilnim susedima s obe strane.

Uprkos tome što su u izvesnim pogledima normalni metali, alkalni metali, umesto da rđaju, mogu, izloženi vazduhu ili vodi, da se spontano zapale. Takođe, sklapaju savezništva iz obostranog interesa s halogenim gasovima. Halogeni gasovi imaju sedam elektrona u spoljašnjoj ljusci, jedan manje od potrebnih osam, dok alkalni metali imaju samo jedan elektron u spoljašnjoj ljusci i puni sastav od osam u ljusci ispod nje. Otud je sasvim prirodno za ove druge da predaju elektron viška prvima i da pozitivni i negativni joni koji iz toga proisteknu oforme čvrste veze.

Takvo obrazovanje veza dešava se sve vreme i upravo su iz tog razloga elektroni najvažnije čestice atoma. Elektroni zauzimaju praktično sav prostor u atomu kovitlajući se kao oblaci oko kompaktnog jezgra atoma. Ovo važi iako su komponente jezgra, protoni i neutroni, znatno veće od pojedinačnih elektrona. Ako bismo uvećali jedan atom do veličine sportskog stadiona, jezgro, koje sadrži protone, bilo bi veličine teniske loptice, postavljene u sredinu, a elektroni

veličine glava čiode koje munjevito jure ukруг oko loptice. Pri tolikoj brzini zaletali bi se u vas toliko puta u sekundi da uopšte ne biste mogli da uđete na stadion – efekat bi bio isti kao da pokušavate da prođete kroz zid. Kao ishod toga, kad se atomi dodirnu, jezgra u njihovom središtu ne daju od sebe nikakvog glasa – važni su jedino elektroni.³

Samo jedno kratko upozorenje: nemojte isuviše da se vežete za sliku elektrona kao izolovanih glava čioda koje jure oko čvrstog jezgra, niti za onu uobičajeniju metaforu elektrona–planeta koje kruže oko jezgra–sunca. Analogija s planetama je korisna, ali ju je, kao i svaku analogiju, lako preuveličati, što su na svoju žalost otkrili i neki čuveni naučnici.

Formiranje jonskih veza objašnjava zašto su kombinacije halogenih gasova i alkalnih metala, kao što je na primer natrijum-hlorid (kuhinjska so), toliko česte. Slično tome, često se ujedinjuju elementi iz kolona s dva elektrona viška, kao što je kalcijum, i elementi kojima su potrebna dva dodatna elektrona, kao što je kiseonik. Jonske veze su najlakši način da se svima zadovolje potrebe. Elementi iz neregularnih kolona takođe formiraju spojeve prema istim zakonima. Dva jona natrijuma (Na^+) vezuju se s jednim jonom kiseonika (O^{2-}) da bi formirali natrijum-oksidi, Na_2O . Kalcijum-hlorid se kombinuje kao CaCl_2 iz istih razloga. Uopšteno gledajući, obično već na prvi pogled možete da ustanovite kako će se elementi kombinovati ako pogledate broj kolone i smer naelektrisanja. Obrasci proizlaze iz harmonične simetrije leve i desne strane periodnog sistema elemenata.

Nažalost, nije sve što se tiče periodnog sistema elemenata tako precizno i jasno, ali neurednost i jeste razlog što su neki elementi toliko zanimljivi.

Postoji jedan stari vic o laboratorijskom pomoćniku koji jednog jutra upada u kabinet kod svog šefa, van sebe od radosti uprkos tome što je celu noć proveo radeći u laboratoriji. Podiže bocu punu penušave, klokotave zelene tečnosti i razdragano uzvikuje kako je otkrio univerzalni rastvarač. Hladnokrvni šef zaviri u bocu i pita: „A šta je to univerzalni rastvarač?“ „Kiselina koja rastvara svaku materiju!“, izmuca uzbuđeni asistent.

Pošto je malo razmislio o tim uzbudljivim novostima – ne samo da bi takva univerzalna kiselina bila pravo naučno čudo nego bi i pretvorila njih obojicu u milionere – naučnik reče: „A kako vam uspeva da je držite u staklenoj boci?“

Poenta je odlična i nije teško zamisliti Gilberta Luisa kako se smeška, možda i zajedljivo. Elektroni su pogonska snaga periodnog sistema elemenata, a niko nije učinio više od Luisa da razjasni kako se atomi ponašaju i kako formiraju atomske veze. Njegov rad na atomima posebno je bacio dosta svetla na kiseline i baze, tako da bi mu svakako bila zabavna apsurdna tvrdnja laboratorijskog asistenta, a na ličnijem nivou poenta bi ga možda podsetila na varljivost naučne slave.

Luis je bio litalica, odrastao je u Nebraski, studirao u Masačusetsu, gde je i diplomirao oko 1900. godine, a zatim je nastavio studije u Nemačkoj kod hemičara Valtera Nernsta. Život se pod Nernstovim šefovanjem pokazao tako nesnosan, mada iz sasvim legitimnih i jedva vidljivih razloga, da se Luis posle svega nekoliko meseci vratio u Masačusets i prihvatio je posao na univerzitetu. Pošto se pokazalo da ni tu nije srećan, pobegao je odatle na tek osvojene Filipine da radi za američku vladu. Poneo je jednu jedinu knjigu: Nernstovu *Teorijsku hemiju*, da bi proveo godine opsesivno iskopavajući svaku minornu greščinu i objavljujući radove o njima.⁴

Na kraju ga je savladala nostalgija, pa se skrasio na Univerzitetu Kalifornije u Berkliju, gde je duže od četrdeset godina stvarao od katedre za hemiju jednu od najboljih na svetu. Iako vam se ovo može učiniti kao srećan kraj priče, zapravo nije bio. Jedinstvena činjenica o Luisu jeste da je on možda bio najbolji naučnik koji nikada nije dobio Nobelovu nagradu, i da je toga i sam bio svestan. Niko nije nominovan više puta od njega, ali njegova neprikrivena ambicioznost i zavade koje je ostavljao za sobom širom sveta osujetili su mu izgleda da dobije dovoljno glasova. Uskoro je počeo da daje (ili da biva prinuđen da dà) ostavke na prestižne položaje i polako je postajao ogorčeni pustinjak.

Ako se lični razlozi ostave po strani, Luis nikada nije dobio Nobelovu nagradu zbog toga što je u svom radu išao više u širinu nego u dubinu. Nikada nije uspeo da otkrije nešto zapanjujuće što biste pokazali i rekli: Čoveče! Umesto toga, proveo je čitav život usavršavajući znanje o tome kako elektroni jednog atoma funkcionišu u raznim kontekstima, posebno unutar klase molekula koju nazivamo kiseline i baze. Uopšteno gledajući, kada atomi razmene elektrone da bi raskinuli stare ili obrazovali nove veze, hemičari kažu da su reagovali. Reakcije između kiseline i baze pružaju izrazit i često vrlo buran primer takvih razmena, a Luis je svojim radom na kiselinama i bazama doprineo više nego iko drugi da nam postane vidljivo šta razmena elektrona znači na sub-mikroskopskom nivou.

Otprilike do 1890. naučnici su određivali da li je nešto kiselina ili baza po ukusu ili tako što bi u njih zamočili prste, što nisu bile ni najbezopasnije, a ni najpouzdanije metode. U rasponu od nekoliko decenija naučnici su shvatili da su kiseline u suštini davaoci protona. Mnoge kiseline sadrže vodonik, jednostavan element čiji atom čine jedan proton (to

je čitavo vodonikovo jezgro) i jedan elektron koji oko njega kruži. Kad se neka kiselina, kao što je hlorovodonična (HCl), pomeša s vodom, cepa se na katjon H^+ i anjon Cl^- . Kad se atomu vodonika oduzme negativno naelektrisani elektron, ostaje samo proton, H^+ , koji pliva dalje sam. Slabe kiseline, kao sirćetna, izbace u rastvor svega pokoji proton, dok ga jake, kao sumporna, preplave njima.

Luis je zaključio da ova definicija kiseline suviše ograničava naučnike budući da se neke supstance ponašaju kao kiseline, a da se pritom ne oslanjaju na vodonik. Zato je pomerio paradigmu. Umesto da kažemo da se katjon vodonika otcepljuje, Luis je naglašavao to što hlor otima vodoniku elektron. Umesto davalac protona, kiselina, dakle, jeste otimač elektrona. Nasuprot tome, baze, kao što su varikina ili ceđ, mogle bi se nazvati davaocima elektrona. Osim što su opštije, ove definicije ističu ponašanje elektrona, što je više u skladu s hemijskim principima periodnog sistema elemenata zavisnog od elektrona.

Iako je Luis ovu teoriju postavio u trećoj i četvrtoj deceniji XX veka, naučnici još i danas isprobavaju do koje granice mogu da povećaju jačinu kiselina služeći se njegovim idejama. Jačina kiseline meri se pH skalom, na kojoj niži brojevi označavaju veću jačinu. Jedan novozelandski hemičar izumeo je 2005. godine kiselinu na osnovi bora, koju je nazvao karboranska kiselina, s pH vrednošću od -18 . Da bismo postavili ovu vrednost u odgovarajuću perspektivu, recimo da je pH vrednost vode 7, a hlorovodonične kiseline u našem želucu 1. Prema neobičnim metodama merenja na pH skali, međutim, pomeranje za samo jednu mernu jedinicu naniže, na primer s 4 na 3, podiže jačinu kiseline deset puta. Ako se dakle krećemo od želučane kiseline, čija je pH vrednost 1, ka karboranskoj kiselini s pH vrednošću

od -18, ova druga je jača deset milijardi milijardi puta – što je približno broj atoma potreban da naslagani jedan na drugi dopru do meseca.

Postoje čak i još gore kiseline, čija je osnova antimon, verovatno element s najživopisnijom istorijom u čitavom periodnom sistemu elemenata.⁵ Vavilonski car Nabukodonosor, koji je u VI v. p. n. e. sagradio Viseće vrtove, koristio je otrovnu mešavinu antimona i olova da oboji svoj dvorac u žuto. Otud možda nije puka slučajnost što je uskoro poludeo i spavao u poljima hraneći se travom kao goveda. Otprilike u isto vreme Egipćanke su antimon u raznim oblicima nosile kao maskaru da bi se ulepšale i da bi stekle magijske moći i bacile uroke na svoje neprijatelje. U srednjem veku su monasi – a Isaka Njutna i da ne pominjemo – postali opsednuti polnim svojstvima antimona i zaključili su da je taj polumetal poluizolator, ni sasvim ovo, a ni sasvim ono, hermafrodit. Pilule antimona postale su čuveni laksativ. Za razliku od današnjih pilula, tvrde pilule antimona nisu se rastvarale u crevima, a smatrane su tako dragocenima da su ljudi tragali za njima po fekalijama da bi mogli ponovo da ih progutaju. Bilo je čak porodica kojima se posrećilo da mogu da ih prenesu s oca na sina. Možda je iz tog razloga antimon vredno trudbovao na polju medicine, iako je zapravo toksičan. Mocart je verovatno umro od prevelike količine antimona kojim je pokušavao da leči tešku groznicu.

Napokon su naučnici ipak ovladali boljim saznanjima o antimonu. U osmoj decenij XX veka shvatili su da je zahvaljujući svojoj sposobnosti da prikuplja oko sebe elemente gladne ponekog dodatnog elektrona antimon izvrstan za dobijanje po meri naručenih kiselina. Rezultati su bili zapanjujući kao superfluidnost izotopa helijuma. Mešanjem antimon-pentafluorida, SbF_5 , s hlorovodoničnom kiselinom,

HF, dobija se supstanca s pH vrednošću -31 . Ta superkiselina je 10^{31} puta jača od želučane kiseline i razješe staklo podjednako nemilosrdno kao voda papir. Ne možete da uzmete bocu fluoroantimonske kiseline, jer pošto bude progrizla bocu, ova kiselina rastočiće vam ruku. Da odgovorimo profesoru iz vica – fluoroantimonska kiselina se čuva u specijalnim posudama obloženim teflonom.

Da budemo poštteni, ipak, proglašavanje ove antimonske smeše za najjaču kiselinu na svetu pomalo je varanje. Već i same po sebi SbF_5 (kradljivica elektrona) i HF (davateljka elektrona) dovoljno su opake, ali potrebno je da na svojevrsni način umnožite njihove udružene snage tako što ćete ih pomešati pa da im date status superkiseline. Najjača kiselina postaje samo pod veštački stvorenim okolnostima. Najjača samostalna kiselina i dalje ostaje karboranska, $\text{HCB}_{11}\text{Cl}_{11}$, s borom kao osnovnim elementom, a prati je i zasad najbolji moto: istovremeno je najjača i najblaža kiselina na svetu. Da biste ovo nekako uspeli da shvatite, prisetite se da se kiseline dele na pozitivne i negativne sastojke. U slučaju karboranske kiseline, dobijate katjon vodonika, H^+ , i jednu komplikovanu rešetkastu strukturu koju formira sve ostalo – $\text{CB}_{11}\text{Cl}_{11}^-$. U većini slučajeva upravo je negativno naelektrisani deo kiseline taj koji deluje korozivno i razjeda kožu. Borska rešetka, međutim, obrazuje jedan od najstabilnijih ikad izumljenih molekula. Atomi bora tako velikodušno dele među sobom elektrone da se praktično pretvaraju u helijum i nemaju potrebe da otimaju elektrone od drugih atoma, što obično prouzrokuje kiselinske pokolje.

Čemu onda karboranska kiselina služi ako ne da bi rastvarala staklene boce ili otvarala sefove u bankama? Može, na primer, da poveća oktansku vrednost benzina, ili da pomogne pri konzumiranju vitamina. Još važnija je njena primena u

ulozi hemijske „kolevke“. Mnoge hemijske reakcije u kojima učestvuju protoni nisu brze i čiste razmene, nego iziskuju višestruke korake, pri čemu protoni bivaju preneseni s jednog mesta na drugo u trilionitom deliću sekunde i naučnici usled takve brzine pojma nemaju šta se zaista dogodilo. Karboranska kiselina, međutim, pošto je tako stabilna i nepodložna reagovanju, preplaviće rastvor protonima, a zatim zamrznuti molekule u ključnim prelaznim oblicima. Karboranska kiselina čuva prelazne oblike na bezbednom mekanom jastuku.

Nasuprot tome, antimonske superkiseline vrlo su loše kolevke zato što cepaju upravo molekule koje bi naučnici najviše želeli da posmatraju. Luis bi veoma uživao da je mogao da vidi ove i druge primene svog rada s elektronima i kiselinama i možda bi mu to i razvedrilo poslednje, mračne godine života. Iako je za vreme Prvog svetskog rata radio za vladu i davao je vredan doprinos hemiji sve do svoje sedme decenije, u Drugom svetskom ratu ga nisu pozvali da se priključi projektu Menhetn*. Luis je zbog toga bio ogorčen budući da su mnogi hemičari, koje je lično regrutovao za Berkli, igrali važnu ulogu u pravljenju prve atomske bombe i postali su nacionalni heroji, dok je on besposličio, predan sećanjima, pišući tugaljivi roman o vojniku. Umro je sam u svojoj laboratoriji 1946. godine.

Opšteprihvaćeno je mišljenje da je, pošto je duže od četrdeset godina pušio dvadeset i nekoliko cigareta dnevno, Luis umro od srčanog udara, ali teško je ne zapaziti da je na dan njegove smrti laboratorija mirisala na gorke bademe – što upućuje na cijanid. Luis je u istraživanjima koristio cijanid i moguće je da je ispustio kanister s cijanidom kada je srčani

* Američki projekat razvoja nuklearnog naoružanja. (Prim. prev.)

napad otpočeo. Tog dana je, međutim, Luis takođe bio na ručku – na koji je prvobitno bio odbio da pođe – s jednim mlađim i harizmatičnijim rivalom na polju hemije, ovenčanom Nobelovom nagradom, specijalnim konsultantom projekta Menhetn. Neki su uvek negde u prikrajku svesti držali misao da je uvaženi kolega možda rastrojio Luisa. Ako je to tačno, Luisovo vladanje hemijom i dostupnost cijanida bili su istovremeno i zgodna i nesrećna okolnost.

Osim reaktivnih metala na levoj strani i halogenih i plemenitih gasova na desnoj, periodni sistem elemenata sadrži i „velike ravnice“, koje se pružaju u sredini – od treće do dvanaeste kolone, s prelaznim metalima. Pošteno govoreći, prelazni metali imaju hemijska svojstva koja bacaju naučnike u očaj – teško je o njima reći išta što bi imalo sveobuhvatno važenje, osim: budite oprezni. Jer vidite, teži atomi, kao što su atomi prelaznih metala, fleksibilniji su u odnosu na ostale atome kad je reč o načinu pohranjivanja elektrona. Kao i drugi atomi, i atomi prelaznih metala imaju energetske nivoe koji se obeležavaju s prvi, drugi, treći i tako dalje, pri čemu su niži zatvoreni ispod viših. Takođe se bore s drugim atomima da bi obezbedili potpun skup od osam elektrona u spoljnoj energetskoj ljusci. Nešto je teže, međutim, ustanoviti šta se tačno računa kao spoljna ljuska.

Kako se krećemo horizontalno preko periodnog sistema elemenata, svaki element ima po jedan elektron više od svog suseda s leve strane. Natrijum, element broj jedanaest, pod normalnim okolnostima ima jedanaest elektrona; magnezijum, broj dvanaest, dvanaest elektrona i tako dalje. Kako rastu po broju i veličini, elementi razvrstavaju svoje elektrone ne samo u razne energetske nivoe ili ljuske nego ih

takođe raspoređuju po putanjama raznih oblika, koje nazivamo orbitale. Nemaštoviti konformisti kakvi jesu atomi ljuske i energetske nivoe popunjavaju istim redom kojim se mi krećemo preko periodnog sistema elemenata. Elementi sasvim levo smeštaju prvi elektron na orbitalu s, koja je sferna. Na orbitali s mogu da se nalaze samo dva elektrona, što objašnjava dve više kolone na levoj strani. Posle ta dva prva elektrona atomi traže malo više prostora za ostale. Ako preskočimo na desnu stranu periodnog sistema elemenata, elementi u kolonama s te strane smeštaju nove elektrone, jedan po jedan, u orbitalu p, koja liči na izobličeno plućno krilo. Orbitala p može da sadrži šest elektrona, pa otuda šest viših kolona s desne strane. Obratite pažnju na to da u svakom redu pri vrhu periodnog sistema dva elektrona u orbitali s i šest elektrona u orbitali p daju ukupno osam elektrona, koliko većina atoma i želi da ima u spoljnoj energetskoj ljusci. Osim plemenitih gasova, savršeno zadovoljnih sobom, elektroni iz spoljne ljuske svih ovih elemenata na raspolaganju su da budu predati drugim atomima ili da stupe u reakciju s njima. Svi se ovi elementi ponašaju logično: ako se atomu doda jedan novi elektron, njegovo ponašanje treba da se promeni zato što on tada na raspolaganju ima više elektrona koji će učestvovati u reakcijama.

Sada prelazimo na deo koji nervira. Prelazni metali nalaze se u redovima od četvrtog do sedmog i kolonama od treće do dvanaeste, a svoje elektrone počinju da razvrstavaju i u orbitalu d, koja može da sadrži deset elektrona. Orbitale d najviše liče na izvitoperene balone u obliku životinja. Na osnovu onoga što su svi prethodni elementi radili sa svojim ljuskama, očekivali biste da prelazni metali izlože svoj prekobrojni elektron iz orbitale d u spoljašnjoj ljusci, te da taj elektron bude raspoloživ za stupanje u reakcije, ali to nije

tako. Prelazni metali radije skrivaju prekobrojne elektrone ispod drugih ljusaka. Odluka prelaznih metala da prekrše pravilo i sakriju orbitalu d deluje kao otežavanje uobičajenih procesa i protivi se našem intuitivnom očekivanju. Platonu se uopšte ne bi dopala. Tako to međutim izgleda kad je priroda na delu, i mi tu ništa ne možemo.

Isplati se, ipak, da razumemo ovaj proces. Po pravilu, dok se krećemo horizontalno preko periodnog sistema elemenata, dodavanje po jednog elektrona svakom sledećem prelaznom metalu trebalo bi da promeni njegovo ponašanje, kao što se dešava s elementima u drugim delovima sistema. Pošto međutim prelazni metali zavlache svoje elektrone iz orbitale d u fioku s lažnim dnom, ti elektroni su zaštićeni. Kada atomi drugih elemenata pokušaju da reaguju s atomima prelaznih metala, ne mogu da dospeju do tih zaštićenih elektrona, a ishod je taj da više metala iz istog reda ostavlja izložen isti broj elektrona, te se otuda u hemijskom pogledu ponašaju potpuno isto. Zbog toga se s naučne tačke gledišta mnogi metali ne razlikuju ni po izgledu, ni po ponašanju – svi su hladne sive grudve jer im njihovi spoljni elektroni ne ostavljaju izbora. Naravno, tek koliko da unesu zbrku, elektroni zavučeni ispod drugih ljusaka ponekad isplivaju na površinu i reaguju, te to stvara izvesne neznatne razlike među nekim metalima. U tome je takođe razlog što zadaju muke hemičarima.

Elementi s orbitalom f izazivaju sličnu zbrku. Orbitala f počinje da se pojavljuje u prvom od dva nezavisno lebdeća reda metala ispod periodnog sistema elemenata, u grupi elemenata koji nose ime lantanoidi. Nazivaju se i retki zemni metali i, sudeći po svojim atomskim brojevima – od pedeset sedam do sedamdeset jedan – trebalo bi zapravo da pripadaju šestom redu u tablici, ali su pomereni na dno da bi se tablica