

# Povijest otkrivanja kemijskih elemenata

---

**Vuković, Vedran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:080584>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Vedran Vuković

# **Povijest otkrivanja kemijskih elemenata**

**Završni rad**

Zagreb, 2015.

Ovo je završni rad izrađen na Zavodu za opću i anorgansku kemiju Kemijskog odsjeka, pod vodstvom doc. dr. sc. Vladimira Stilinovića. Autor je student Molekularne biologije na Biološkom odsjeku.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Kemijski odsjek

Završni rad

**POVIJEST OTKRIVANJA KEMIJSKIH ELEMENATA**

VEDRAN VUKOVIĆ

Sveučilište u Zagrebu

## SAŽETAK

Otkrivanje kemijskih elemenata jedan je od najvećih pothvata čovječanstva. Počeo je prije oko 9000 godina, kad su drevni narodi počeli upotrebljavati bakar i olovo. Prve otkrivene elemente izolirali su iz njihovih ruda jednostavnim postupcima, najčešće žarenjem s ugljenom. Alkemičari su razvili mnoge metode razdvajanja smjesa na pojedine komponente, čime su u narednim stoljećima omogućili otkrivanje i izolaciju je omogućilo izolaciju njima nepoznatih metala. Cavendish je otkrićem vodika kemičarima dao na raspolaganje reducens jači od ugljika kojim su se do tada koristili. Sedam godina nakon što je Volta napravio prvu bateriju, Davy je pomoću nje izolirao još bolje reducense – natrij i kalij. Kombinacija ovih dvaju elemenata, električne baterije, otkrića spektroskopa te Mendeljejevljev periodni zakon omogućili su otkrića mnogih elemenata. Skoro svi elementi lakši od uranija bili poznati do kraja devetnaestog stoljeća. Otkriće radijacije i nuklearnih reakcija omogućilo je proizvodnju elemenata u nuklearnim reaktorima i ciklotronima. Danas je poznato 114 elemenata, a potraga za novima se nastavlja.

Rad je pohranjen u Središnjoj kemijskoj knjižnici, PMF — Kemijski odsjek, Horvatovac 102a, Zagreb

**Ključne riječi:** elementi, metode, povijest

Mentor: Dr. sc. Vladimir Stilinović, docent, PMF

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Chemistry

Bachelor's Thesis

**HISTORY OF THE DISCOVERY OF CHEMICAL ELEMENTS**

VEDRAN VUKOVIĆ  
Faculty of Science, Zagreb

## ABSTRACT

The discovery of chemical elements is one of the greatest ventures of humankind. It started about nine thousand years ago when ancient peoples isolated copper and lead. The first elements were isolated from their ores, usually with simple methods like smelting them with coal. Alchemists developed many methods for separation of mixtures to their individual constituents. This enabled the detection and isolation of metals unknown to them in the centuries to come. By discovering hydrogen Cavendish has given chemists a new reducing agent stronger than carbon. Seven years after Volta invented the battery, Davy used it to isolate even better reducing agents – sodium and potassium. The combination of these two elements, the battery, the discovery of spectroscope and Mendeleev's periodic law paved the way to many unknown elements. By the end of the nineteenth century almost all elements lighter than uranium were known. The discovery of radiation and the subsequent discovery of nuclear reactions enabled the manufacture of elements in nuclear reactors and cyclotrons. Today we know of 114 elements, and the search for new ones continues.

Thesis deposited in the Central Chemical Library, Faculty of Sciences — Department of Chemistry, Horvatovac 102a, Zagreb

**Keywords:** elements, history, methods

Supervisor: Dr.sc. Vladimir Stilinović, Assistant Professor, Faculty of Science

# Sadržaj

Temeljna dokumentacijska kartica	iii
Basic Documentation Card	iv
	<b>Stranica</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturni pregled</b>	<b>5</b>
2.1 Elementi poznati od davnina . . . . .	5
2.2 Elementi od 1250. do Boylea (1661.) . . . . .	10
2.3 Elementi od Boylea (1669.) do Lavoisiera (1787.) . . . . .	11
2.4 Elementi od Lavoisiera (1787.) do otkrića radioaktivnosti (1896.)	23
2.5 Elementi nakon otkrića radioaktivnosti (1896.) . . . . .	57
<b>3 Rasprava</b>	<b>69</b>
<b>4 Zaključak</b>	<b>77</b>
<b>6 Zahvale</b>	<b>xv</b>
<b>7 Prilozi</b>	<b>xvi</b>

7.1	Otkrivači kemijskih elemenata kroz povijest . . . . .	xvi
7.2	Periodni sustav elemenata . . . . .	xxiv
7.3	Životopis . . . . .	xxv

# 1. Uvod

Priča o elementima počinje u samu zoru ljudske misli. Tales je prvi čovjek za kojeg se zna da je prirodne pojave pokušao objasniti prirodnim uzrocima i posljedicama umjesto nadnaravnim intervencijama. Zbog toga nosi naziv prvog filozofa, a nerijetko i oca znanosti. Došao je do zaključka da je cijeli Svemir sazdan od jednog elementa: vode. Prema njemu, zrak je razrijeđena, a zemlja kondenzirana voda. Time je utjecao je na mlađe filozofe: i oni su tvrdili da je cijeli svijet sazdan od jedne tvari, ali se nisu slagali oko koje. Tako je Anaksimenes tvrdio da se sve sastoji od zraka, dok je Heraklit rekao da se sve sastoji od vatre.

Tek je Empedoklo pomislio da možda nije sve napravljeno od samo jedne tvari. Prema njemu, u svemu možemo pronaći četiri elementa: vodu, vatra, zemlju i zrak. Aristotelov učitelj Platon smatrao je da su Empedoklovi elementi građeni od geometrijskih tijela koja su omeđena pravilnim geometrijskim likovima: vatra od tetraedara, zemlja od kocki, zrak od oktaedara te voda od ikozaedara.

Aristotel je proširio misao svog učitelja na posljednje takvo tijelo – dodekaedar. Pridružio mu je peti element koji je nazvao *eter*. Aristotelov je eter tvar od koje su sazdane zvijezde i nebesa i nije podložna zakonima koji vladaju ostalim elementima. Njima je pripisao naravi: vlažnost i suhoću, to-



plinu i hladnoću. Svakom elementu pripadao je njemu svojstven par naravi: voda je bila hladna i vlažna, vatra topla i suha; zrak je bio hladan i suh, a zemlja topla i vlažna.

Arapski alkemičar Abu Musa *Džabir* Ibn Hajan al-Azdi al-Kufi al-Sufi, poznat i pod polatinjenim imenom Geber, imao je drukčije poglede na osnovne građevne jedinice svijeta. Metalima je pripisao iste one naravi koje je Aristotel pripisao svojim elementima, također u parovima. Svaki metal imao je sebi pridružen par vanjskih i par unutrašnjih svojstava, a svi su se sastojali od žive i sumpora. Živa je izvana bila vlažna i hladna, poput Aristotelove vode, a sumpor topao i suh, poput Aristotelove vatre. Ako bi netko htio napraviti zlato, koje je izvana toplo i vlažno, mogao bi, primjerice, uzeti živu i potisnuti njenu hladnoću u unutrašnjost, istovremeno ispoljivši toplinu. Takve su ideje spremno preuzeli europski alkemičari koji su htjeli zadovoljiti vlastitu pohlepu.

Veliki utjecaj na razvoj kemije imao je *Paracelsus* (Theoprastus Philipus Aureolus Bombastus Hohenheimski, 1493.-1541.). On i njegovi sljedbenici nazivaju se jatrokemičarima, odnosno liječnicima kemičarima. Njegov se nauk temelji na arapskim i kršćanskim učenjima. Kršćansku ideju o čovjeku kao trojstvu duha, duše i tijela proširio je na cijelu prirodu. Sumpor za njega predstavlja dušu, živa duh, a sol tijelo neke tvari ili predmeta. Živa, sumpor i sol tri su jatrokemijska principa.

Paracelsus je odbacio učenje alkemičara da svako nebesko tijelo odgovara jednom metalu jer nije objašnjavalo koje tijelo bi odgovaralo na novootkrivenim ili zanemarenim metalima – cinku, antimonu i arsenu. Smatrao je da nebeska tijela odgovaraju pojedinim organima u ljudskom tijelu.

Roberta Boylea danas se smatra jednim od osnivača moderne kemije jer je u svom djelu *The Sceptical Chymist* 1669. odbacio jatrokemijska počela i tradicionalne elemente kao stvarne elemente te upozorio na nedosljednost primjene pojma *element* u dotadašnjim djelima. Naglasio je svoj stav o nedjeljivosti elemenata te ukazao na razliku između spojeva i smjesa.

Antoine Lavoisier je u svojoj knjizi *Traité élémentaire de chimie* otišao korak dalje od Boylea: napravio je popis svih do tada poznatih kemijskih elemenata. Kemijske elemente definirao je kao one tvari koje se nikakvim kemijskim postupkom ne može rastaviti na jednostavnije tvari.

Devetnaesto stoljeće obilježila su dva izuma koja su omogućila velik napredak u otkrivanju novih elemenata. Alessandro Volta je 1800. izumio bateriju; baterija je postala neizostavan aparat u potrazi za onim kemijskim elementima koji se nisu mogli dobiti redukcijom ugljenom ili vodikom. Godine 1859. Gustav Kirchhoff je popisivanjem linija u spektrima poznatih elemenata omogućio korištenje spektroskopije u otkrivanju novih elemenata.

Nakon objave Lavoisierove knjige, dodatno potaknuti spoznajama o novim elementima koji su se otkrivali dodatnom brzinom, mnogi teoretičari kemije u devetnaestom stoljeću pokušali su popis elemenata prikazati na što razumljiviji način, najčešće tražeći numeričke pravilnosti u relativnim atomskim masama elemenata. Prvi koji su objavili potpunu tablicu elemenata koja se temeljila na periodičnom ponavljanju njihovih svojstava bili su Lothar Meyer 1868. i Dmitrij Ivanovič Mendeljejev 1869.<sup>13</sup>

Becquerelovo slučajno otkriće radioaktivnosti 1896. pokrenulo je potragu za drugim radioaktivnim elementima prisutnima u prirodi. Određivanje radioaktivnosti uzorka pokazalo se kao jako osjetljiva metoda, a učestalost

---

radioaktivnog i način raspada su svojstva atomske jezgre – što omogućuje (do neke mjere) raspoznavanje različitih kemijskih elemenata. Radioaktivnost je ujedno bila ključ za otkrivanje strukture atoma i atomske jezgre, što omogućuje stvaranje elemenata koji nisu pronađeni u prirodi.

## 2. Literaturni pregled

### 2.1 Elementi poznati od davnina

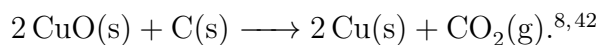
Drevni su narodi poznavali mnoge elementarne metale, iako ih onda nisu smatrali elementima. Glavni razlog njihovu pronalasku je taj što ih je bilo relativno jednostavno naći: bili su samородni ili su se mogli dobiti jednostavnim postupcima poput žarenja lako dostupnih ruda. Riječ je o zlatu, srebru, bakru, kositru, željezu, živi, olovu, antimonu, sumporu i ugljiku.

**Bakar.** Po bakru je dobilo ime cijelo jedno razdoblje u povijesti. Česta ruda bakra na površini Zemlje je malahit ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ). Zbog toga je skoro sigurno bakar prvi poznati element – na sjeveru Iraka pronađene su bakrene perle stare barem deset tisuća godina. Čisti bakar je mekan, zbog čega su drevni metalurzi počeli koristiti njegove slitine za izradu mnogih alata, oruđa i oružja. Poput srebra i zlata, bakar se koristio za kovanje novca.

Postupak dobivanja bakra iz malahita uključuje dva koraka. U prvom se malahit žari u lončiću za žarenje, pri čemu se dobije bakrov(II) oksid:



Dobiveni se bakrov(II) oksid zatim pomiješa s ugljikom i opet žari:



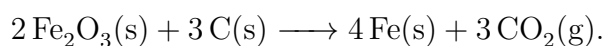
**Olovo.** Olovo su poznavali još stari Egipćani. Koristili su crveni pigment koji su dobivali iz mljevenjem minija ( $\text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$ ) za slike i kozmetiku. U rudnicima Lauriona (današnji Laurium) blizu Atene drevni su Grci iskopali 2 milijuna tona olova. Iskopano olovo bilo je nusprodukt rudarenja srebra. Od njega su pripremali bijeli pigment koji je po kemijskom sastavu bazični olovov karbonat ( $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ).

Rimljani su koristili puno više olova od Grka: kuhali su i pripremali vino u olovnim posudama, pribor za jelo radili su od olova, od olovnih pigmenata priređivali su crvenu i bijelu boju, cijevi vodovoda i kanalizacije bile su također olovne...<sup>8</sup> Engleska riječ za vodovodne cijevi je *plumbing*, od latinske riječi za olovo, *plumbum*. Vjeruje se da je učestala upotreba olova činila Rimljane manje plodnima. Prema nekim izvorima, učestalo korištenje olova glavni je uzrok pada Rimskog carstva.<sup>34</sup>

**Zlato.** Drevni su narodi zlato dobivali iz rudnika ili iz riječnog mulja. Zbog svoje izrazite kovkosti koristili su ga kao ukras. Pronađeno je u grobnicama faraona iz najranijih dinastija. Američki Indijanci kovali su zlatne maske za svoje ceremonije. Plinije Stariji spominje potragu za zlatom u rijekama Tagus u Španjolskoj, Po u Italiji i Ganges u Indiji. Vitruvije je opisao metodu pročišćavanja zlata koju su koristili Rimljani: zlato iz stare luksuzne odjeće reciklirali bi tako što bi tu odjeću spalili u zemljanim posudama, ostatke ubacili u vodu i dodali živu. Vodu bi odlili, a živu bi ispraznili u tkaninu koju bi rukama stiskali. Živa bi stiskanjem prošla kroz pore tkanine, a zlato bi ostalo u njoj.<sup>42</sup>

**Željezo.** Prvi otkriveni tragovi dobivanja željeza žarenjem pronađeni su na sjeveru Sirije i Mezopotamije. Hititi su bili jedna od prvih kultura koja je otkrila proces redukcije željeza iz njegovih ruda. Nakon pada njihovog carstva, otprilike dvanaest stoljeća prije nove ere, na Bliskom istoku započinje pravo željezno doba. Zanimljivo je da južnoamerički Indijanci nisu poznavali umijeće redukcije željeza, iako su je neovisno o Hititima otkrili mnogi narodi, od Eskima do Zimbabveanaca.

Željezo se iz njegovih ruda poput hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) može reducirati pri visokoj temperaturi pomoću ugljika:



Željezo se moglo dobiti iz tri glavna izvora. Prvi je bio meteorsko željezo, koje je bilo jako cijenjeno među drevnim narodima jer je predstavljalo tvar koja je došla s nebesa. Drugi je bio već spomenuti hematit, a treći je magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), mineral nađen blizu mjesta Magnezije u Maloj Aziji. Tales je uočio da neke magnetitne rude imaju neobična svojstva privlačenja tvari napravljenih od željeza.<sup>42</sup> Kinezi su također znali za ta svojstva i upotrebljavali su ih u navigaciji.<sup>20</sup>

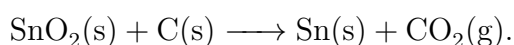
**Srebro.** Za razliku od zlata, srebro je rijetko samородno. Zbog toga je u drevnom Egiptu bilo vrednije od zlata.<sup>42</sup> Pročišćavalo se grijanjem srebrove rude u poroznoj posudi koja bi apsorbirala većinu metala. Nakon ovakvog postupka u posudi bi zaostalo čisto srebro. Ovim načinom pročišćavalo se i zlato. Prvi kovani novac napravljen je na području današnje Turske od elektruma, u tom području česte prirodne slitine. Slitina je to zlata i srebra u kojoj je maseni udio srebra 25–28%.<sup>8</sup>

**Ugljik.** Dok su imenom sumpora zvali sve zapaljive tvari, ugljik su, zbog raznolikosti njegovih pojavnosti, stari narodi krstili različitim imenima. Ugljen, po kojem je ugljik i dobio ime, nije igrao tako važnu ulogu u starom svijetu kao nakon prve industrijske revolucije. Do tada ga se uglavnom dobivalo suhom destilacijom drva, iako su njegova nalazišta bila poznata. Dok se danas koriste grafitne olovke, nekoć se koristila tinta napravljena od čađe pomiješane s maslinovim uljem.

Dijamant je bio poznat drevnim Indijcima. Prva slutnja da je povezan s ugljikom pojavila se tek 1694. kad su Giuseppe Averani i Cipriano Antonio Targioni zagrijali dijamant velikim povećalom i tako ga uništili. Godine 1796. Smithson Tennant dokazao je da je i dijamant ugljik. Spalio je komad ugljika i dijamant jednake mase u smjesi s kalijevim nitratom i dobio jednaku količinu ugljikovog dioksida od oba uzorka.<sup>42</sup>

Dok su ostali elementi poznati iz antike zadržali svoja imena ili dobili preuzeli antičko ime neke od njihovih ruda, ime ugljik uveli su de Morveau, Lavoisier, Berthollet i Fourcroy su tek 1787. u *Méthode de nomenclature chimique*.

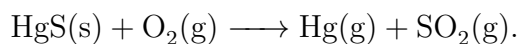
**Kositar.** Kositar je najpoznatiji upravo po svojoj slitini s bakrom – bronci. Povijesno razdoblje nakon bakrenog naziva se brončano doba, a započelo je u različito vrijeme u različitim civilizacijama. Dobivao se dobivao iz njegove jedine rude, kasiterita ( $\text{SnO}_2$ ). Grci su pronašli kasiterit na otoku *Kasiteridu*, čiji geografski smještaj nije pouzdano utvrđen. Bronca se proizvodila mnogo prije nego što je dobiven čisti kositar redukcijom iz kasiterita:



Kositreni predmeti pronađeni su u egipatskim grobnicama iz osamnaeste dinastije (između 1580. i 1350. prije nove ere). Čisti kositar pronađen je i u Machu Picchu, utvrđi južnoameričkih Inka.<sup>42</sup>

**Sumpor.** Od svih povijesnih referenci sumpor je najviše zapamćen po biblijskoj priči o uništenju Sodome i Gomore. Kroz Bibliju se lijepo vidi ono što prožima u mnoge zapise iz antike: svaku zapaljivu tvar nazivali su sumporom. Unatoč takvom brkanju pojmova, stari Grci znali su da mogu koristiti sumpor za sterilizaciju građevina. Stari su Rimljani našli još primjena sumporu: koristili su ga za proizvodnju šibica, izbjeljivanje tkanina i u proizvodnji vina. Vino se i danas štiti sumporovim dioksidom koji nastaje izgaranjem sumpora; sumporov se dioksid više ne koristi za izbjeljivanje. Rimljani su sumpor za svoje potrebe iskapali u bogatim rudnicima na Siciliji.<sup>8,42</sup>

**Živa.** Živa je jedini metal koji je pri sobnoj temperaturi tekućina. Najstariji poznati nalaz žive vjerojatno je iz amuleta pronađenog u egipatskoj grobnici iz petnaestog ili šesnaestog stoljeća prije nove ere. Još je Plinije Stariji zabilježio da je živa otrovna. Dobivala se redukcijom cinabarita (HgS) u lončiću za žarenje:



Ohlađene živine pare kondenzirale bi se u hladnijem dijelu retorte. Drugi izvor žive poznat drevnim narodima bile su srebrove rude, žarenjem kojih oslobađaju se živine pare.<sup>42</sup>

**Antimon.** Najpoznatija uloga antimonovih spojeva u starim civilizacijama slična je ulozi olovovih spojeva – korišteni su kao pigmenti. Crni pigment



koji su žene starog svijeta redovito koristile kao maskaru bio je usitnjeni mineral *stibnit* ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ). Žuti olovov antimonat pronađen je na glazuri cigli kojima je Nabukodonosor ukrasio zidine Babilona.<sup>8</sup> U Louvreu se čuva vaza napravljena oko pet tisućljeća prije nove ere od skoro čistog antimona. Stari Grci i Rimljani žarenjem su pročišćavali antimonov sulfid. Ako su ga žarili predugo, nastao bi čisti antimon. Nisu ga prepoznali kao nešto novo, već su mislili da su dobili olovo.<sup>42</sup>

## 2.2 Elementi od 1250. do Boylea (1661.)

U ovom su razdoblju alkemičari usavršili destilaciju kao postupak razdvajanja tekućih smjesa na pojedine tekućine. Pridonijeli su metalurgiji te proizvodnji baruta, pigmenata i kozmetike. Naučili su kako pripremiti razne biljne i mineralne pripravke. U to vrijeme otkrivena su dva elementa: arsen i platina. Mnogi alkemičari, pa i sam Paracelsus, spominjali su i cink kao poznati metal, ali ga nisu znali razlikovati od ostalih metala.

**Arsen.** Povjesničari kemije nisu sasvim sigurni koje je godine otkriven arsen. To se otkriće pripisuje Albertu Velikom koji ga je priredio oko 1250. zagrijavanjem neke arsenove rudače, najvjerojatnije realgara ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) sa sapunom.<sup>17,42</sup> Ipak, arsen je bio poznat od mnogo ranije. Stari su Grci poznavali arsenove rude, realgar i auripigment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), koje su nazivali  $\alpha\rho\sigma\epsilon\nu\iota\chi\acute{o}\nu$ . Aleksandrijski protokemičari poznavali su postupak za dobivanje arsena iz ruda. Međutim, mislili su da su dobili živu jer arsen, poput žive, bakru daje srebrnobijelu boju.

Drevni metalurzi dobivali su arsenovu bronzu žarenjem bakra i neke od

arsenovih ruda. Time bi postigli željenu tvrdoću metala. Ubrzo su ga, zbog njegove otrovnosti, zamijenili kositrom.<sup>17</sup>

**Platina.** Platina se pojavljuje u elementarnom stanju u malom broju rudnika na svijetu, stoga nije poznato tko je prvi otkrio platinu. Kutija za nakit posvećena egipatskoj kraljici Šapenapit jedan je od rijetkih predmeta načinjenih od platinske slitine prije nove ere.

U novije doba europski istraživači pronašli su platinu u Srednjoj Americi. Talijanski znanstvenik Girolamo Cardano definirao je pojam *metal* kao *tvar koja se može taliti i koja se skrutne prilikom hlađenja*. Toj se tvrdnji 1557. usprotivio pjesnik i učenjak Giulio Cesare della Scalla (Iulius Caesar Scaliger), tvrdeći da toj definiciji ne bi odgovarala dva metala – živa i još jedan metal pronađen između Meksika i Darièna\*. Španjolski istraživač Don Antonio de Ulloa u svojim je memoarima objavljenim 1748. spomenuo rudu zvanu platina koja je pravila probleme kopačima zlata jer ju je bilo teško odvojiti od njega.<sup>42</sup>

## 2.3 Elementi od Boylea (1669.) do Lavoisiera (1787.)

Robert Boyle (slika 2.1), engleski kemičar velikog ugleda, dao je velik doprinos daljnjem razvoju ideje o elementu. U njegovoj raspravi *The Skeptical Chymist* (*Skeptični kemičar*) Boyle u platonovskom stilu, kroz razgovor likova koji predstavljaju različita stajališta, pokušava doći do odgovora na

---

\*Pogranično područje Paname i Kolumbije

više pitanja. Što su to elementi? Mogu li se Aristotelovi elementi zbilja zvati elementima? Jesu li elementi pak proizvodi nastali upotrebom vatre, bliži Paracelsusovim principima? Sam razgovor ne sadrži konačne odgovore na ta pitanja jer ih Boyle nije imao. Ne sadrži ni popis elemenata jer nije bio siguran što se točno može nazvati elementom.



Slika 2.1: Portret Roberta Boylea koji je naslikao Johann Kerseboom oko 1689.

Prvo izdanje *Skeptičnog kemičara* objavljeno je 1660. Prva dva izdanja objavljena su u malom broju primjeraka pa je teško za povjerovati da je njime srušen Aristotelov autoritet po pogledu elemenata. Ipak, već je njegov

učenik Nicholas Lemrey odbacio vatru i zrak kao principe, te je prednost dao aktivnim jatrokemijskim principima nad pasivnom vodom i zemljom.

Boyle se nije odmaknuo od Aristotela po svim pitanjima. Tako smatra da se svaka tvar sastoji od različitog omjera svih elemenata. Njegov doprinos samom pojmu elementa gotovo je nepostojeći. Sve što je on izrekao, rekao je i Aristotel. Njegov se doprinos sastoji u upozorenju: nitko od njegovih prethodnika i suvremenika, uključujući i samog Aristotela, nije dosljedno primjenjivao postavljene kriterije o tome što se može nazvati elementom.<sup>13</sup>

U razdoblju između objave *Skeptičnog kemičara* i Lavoisierove knjige *Traité élémentaire de chimie* otkriveno je trinaest elemenata: fosfor, kobalt, cink, nikal, bizmut, vodik, kisik, dušik, mangan, klor, molibden, telurij i volfram.

**Fosfor.** Fosfor je prvi element čiji je otkrivač poznat. Čast otkrića pripada izvjesnom hamburškom trgovcu Hennigu Brandtu. Godine 1669. pripravi je fosfor iz ljudskog urina. Prvo bi ga zagrijao dok sva tekućina ishlapi. Zaostali je talog zagrijavao do crvenog usijanja. Tada bi se počele stvarati fosforne pare koje je kondenzirao u vodi. Takav postupak bio je iznimno opasan jer su pare bile lako zapaljive.<sup>8</sup>

Brandt je htio zadržati tajnu izrade fosfora za sebe jer je mislio da je otkrio kamen mudraca. Životne su ga prilike prisilile da svoju tajnu proda Danielu Kraftu. Poznati kemičar Johann Knuckel je također htio kupiti tajnu, ali nije htio platiti Brandtovu cijenu. Umjesto toga, sam se zabavio urinom i neovisno otkrio metodu kako doći do tako željenog novog elementa. Ni on nije htio široj javnosti otkriti kako pripremiti fosfor, ali s objašnjenjem da je postupak previše rizičan i da bi mogao uzrokovati mnoge požare. Godfrey

Hanckwitz, pomoćnik Roberta Boylea, proizvodio je velike količine fosfora i prodavao ga u cijeloj Europi.<sup>8,42</sup>

**Kobalt.** Prije nego što je elementarni kobalt bio poznat kao zasebna tvar, europski rudari mnoge su minerale nazivali kobaltom. To ime dolazi od zloduha Kobolda koji čini štetu mineralima. S vremenom se ime kobalt ustalilo samo za jedan mineral, onaj od kojeg je staklar Chrisoph Schürer iz Češke prvi priredio plavo staklo. Danas znamo da je u pitanju kobaltit ( $\text{CoAsS}$ ); poznajući otrovnost arsena ne iznenađuje da su rudari smatrali ovaj mineral zlim. Drevni su narodi dobivali plavo staklo na sličan način: analiza plavog stakla u egipatskim grobnicama i mezopotamskim ruševinama pokazala je da ono ponekad sadrži element kobalt.

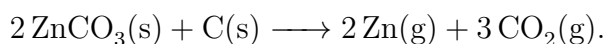
Švedski kemičar Georg Brandt izolirao je kobalt oko 1730. godine. Pronašao je razlike između njega i bizmuta i opisao ga u disertaciji objavljenj 1739. u časopisu *Acta literaria et Scientiarum Sveciae*. Postupak izolacije vjerojatno je uključivao žarenje i redukciju  $\text{CoAs}_2$  ili  $\text{CoAsS}$ .<sup>8,42</sup>

**Cink.** Poput antimona, cink je vjerojatno bio poznat starim narodima Europe. Dokaz u prilog toj tezi je idol pronađen u prapovijesnim ruševinama u Transilvaniji, sedam osmina kojeg čini cink. Stari narodi nisu znali identificirati cink kao zaseban metal. S druge strane, slitine poput mjedi lako se proizvedu žarenjem bakrovih i cinkovih minerala s ugljenom. Pri tom nisu trebali zagrijavati preko temperature taljenja bakra.<sup>42</sup>

Prema nekim izvorima, cink se proizvodio u Indiji još u dvanaestom i trinaestom stoljeću nove ere. Na temelju analize ostataka pronađenih u indijskom gradu Zawaru procjenjuje se da je između dvanaestog i šesnaestog sto-

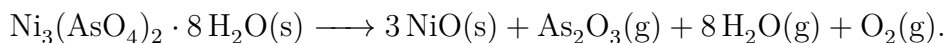
ljeća tamo proizvedeno više od milijun tona cinka i cinkovog oksida.<sup>8</sup> Drugi izvori navode značajno manju proizvodnju cinka u Indiji, ali se slažu da je tamo prvi put prepoznat kao zaseban metal.<sup>42</sup> Cink se u većim količinama počeo proizvoditi u Kini u šesnaestom stoljeću.<sup>8,42</sup>

Tradicionalno se za otkrivača cinka smatra Andreas Margraff koji ga je 1746. izolirao žarenjem smitsonita s ugljenom:

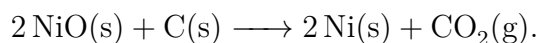


Uzorke smitsonita iz Poljske, Njemačke, Engleske i Mađarske podvrgnuo je ovom postupku i zaključio da njime dobiva novi, dotad nepoznati element. Sličan je postupak tri godine ranije primijenio švedski kemičar Anton von Swab. O cinku se u Europi znalo i ranije: P. Moras de Respoour ga je izolirao 1668., a Geoffroy Stariji ga je opisao deset godina prije Margraffa.<sup>8,42</sup>

**Nikal.** Nikal, kao i kobalt, duguje svoje ime germanskim pričama o zlodusima. Nickel je, upravo poput Kobolda, zloduh koji se krije u rudi Kupfernickel – *bakreni đavao*. Švedski kemičar Axel Fredrik Cronstedt stavio je komad željeza u kiselu otopinu te rude, nadajući se da će bakar istaložiti iz otopine. Očekivani talog nije se pojavio jer ta ruda – danas poznata pod nazivom nikelin (NiAs) – ne sadrži bakar. Na površini nikelina izloženog atmosferi stvaraju se zeleni kristali anabergita ( $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ ). Njih je Cronstedt zagrijavao, pri čemu je dobio niklov(II) oksid:

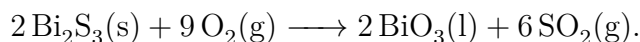


Nastali oksid reducirao je ugljenom, pri čemu je nastao bijeli, dotad nepoznati metal:

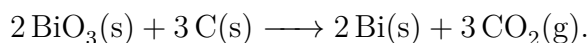


Pokuse je počeo raditi 1751., ali o otkriću je obavijestio švedsku Kraljevsku akademiju tek tri godine kasnije.<sup>42</sup>

**Bizmut.** Poput nekih njegovih prethodnika iz antike, bizmut je otkriven mnogo ranije nego što ga se smatralo novom, zasebnom tvari. Prvi je put izoliran oko 1400. godine. Vrlo brzo je nađena primjena za bizmut i njegove legure: u 15. i 16. stoljeću koristio se za izradu lakova, a slova za Gutenbergov tiskarski stroj napravljena su od bizmutove legure. Paracelsus i Agricola spominju bizmut u svojim djelima; prvi ga smatra oblikom arsena, a drugi oblikom olova, ujedno spekulirajući da je različit od druga dva oblika (*crnog* olova i *bijelog* kositra<sup>†</sup>). Agricola opisuje postupak dobivanja bizmuta: žarenjem ruda bizmuta poput bizmutinita ( $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ) nastaje bizmutov oksid:

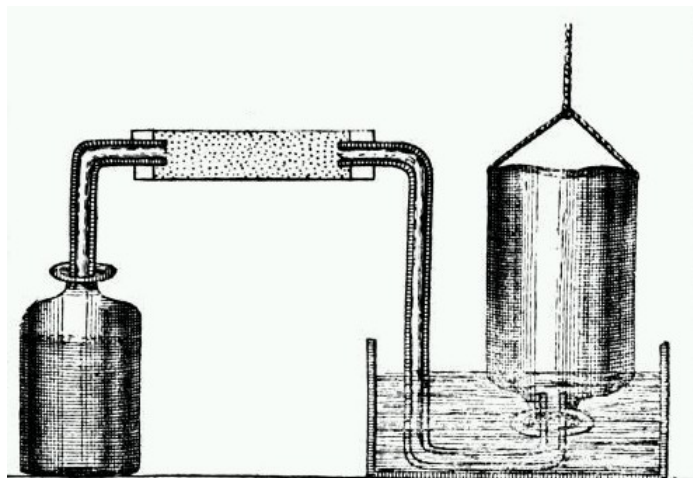


Rastaljeni bizmutov oksid pomiješali bi s ugljenim prahom. Kad bi se stvrdnuo, prenijeli bi ga u lončić za žarenje i žarili:



Zbog velikih sličnosti s olovom i kositrom, alkemičari su bizmut smatrali spojem ili legurom različitih tvari. U nekim farmakopejama postojali su opisi kako ga pripraviti. Međutim, Caspore Neumann je oko 1750. shvatio da tako pripremljen „bizmut“ nije sličan metalu koji je dobio Agricolinim postupkom.

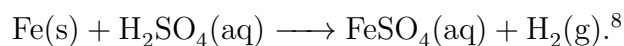
<sup>†</sup>Ovakvi nazivi nisu bili neuobičajeni. Bogoslav Šulek, primjerice, za kositar koristi naziv *bijelo olovo*.<sup>12</sup>



Slika 2.2: Skica Cavendishove aparature pomoću koje je dobio vodik.<sup>5</sup>

Shvatio je da je bizmut poseban metal, različit od dotad poznatih metala. Claude-François Geoffroy istražio je sličnosti između bizmuta i olova.<sup>42</sup> Njegova analiza donijela je konačan dokaz da su u pitanju različiti elementi.<sup>8</sup>

**Vodik.** Otkriće vodika pripisuje se engleskom kemičaru Henryju Cavendishu koji je skupljao plin koji nastaje prilikom uranjanja željeznih čavlića u razrijeđenu sumpornu kiselinu:



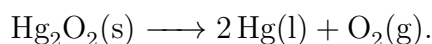
Sam je priznao da su to primijetili mnogi prije njega, uključujući Boylea koji je 1671. opisao zapaljivost para nastalih uranjanjem željeznih čavlića u klorovodičnu kiselinu.

Cavendish ga je, međutim, 1766. prvi opisao i razlikovao od ostalih poznatih plinova. Aparatura u kojoj ga je pripremio prikazana je na slici 2.2.<sup>5</sup> Neko vrijeme mislio je da je otkrio flogiston, ali je 1781. zaključio da je zapravo u



pitanju flogistonirana voda<sup>‡</sup>. Lavoisier mu je nadjenulo ime *hydrogène*, stvaratelj vode.<sup>42</sup> Bogoslav Šulek skovao je ime koje odgovara hrvatskom prijevodu francuskog naziva, a koje koristimo i danas – vodik.<sup>12</sup>

**Kisik.** Kisik su neovisno otkrila dvojica kemičara: Englez Joseph Priestley i Šveđanin njemačkog podrijetla Carl Wilhelm Scheele. Priestley je svoj „deflogistonirani zrak“ pripremio 1774. zagrijavajući živin(II) oksid:



Opazio je da tvari sjajnije gore u prisutstvu ovog plina. Pet godina kasnije pokazao je da treba pomiješati više dušikova(II) oksida s kisikom nego s istim volumenom zraka da bi se u takvoj atmosferi miš počeo gušiti.

Scheele je uspio proizvesti kisik još 1771., i to zagrijavanjem različitih tvari: srebrova karbonata ( $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ ), živina(II) karbonata ( $\text{Hg}_2\text{CO}_3$ ), živina(II) oksida ( $\text{Hg}_2\text{O}_2$ ), kalijeva nitrata ( $\text{KNO}_3$ ) i magnezijeva nitrata ( $\text{MgNO}_3$ ). Ugljikov dioksid nastao zagrijavanjem karbonata uklonio je otapanjem u kaustičnoj potaši. Njegovi rezultati objavljeni su u knjizi *Fire and Air* tek 1777.

U povijesti kisika važnu ulogu odigrao je i Antoine Lavoisier. On je uočio da žarenjem metala bez prisutstva zraka ne dolazi do promjene njihove mase. Slične eksperimente prije njega napravio je ruski kemičar Mihail Vasljevič Lomonosov, ali rezultati njegovih eksperimenata nisu objavljeni. Osim ovih

<sup>‡</sup>Iz modernog kuta gledanja, naziv *flogistoniran* primjenjivan je za one tvari iz kojih je uklonjen kisik. Tako je flogistonirani piroluzit mangan, flogistonirana voda vodik, a flogistonirani zrak (najvećim dijelom) dušik.

pokusa, Lavoisier je zagrijavao metale u zatvorenoj retorti i zaključio da se atmosferski zrak sastoji od dva plina, jer samo jedan od njih reagira s metalima i tvori okside. Iako ga nije otkrio, Lavoisier je prvi koji je za kisik tvrdio da je element. Nazvao ga je *oxygène*, tvorac kiseline, jer je smatrao da sve kiseline sadrže kisik.<sup>42</sup> Šulek je, kao i u slučaju vodika, u hrvatsko kemijsko nazivlje uveo prijevod originalnog naziva.<sup>12</sup>

**Dušik.** Škotski kemičar dr. Joseph Black dao je svom studentu Danielu Rutherfordu zadatak da prouči „zrak“<sup>§</sup> koji zaostane nakon paljenja ugljena i otapanja „fiksiranog zraka“ (ugljkovog dioksida) u kaustičnoj potaši (KOH). Rutherford je imao problema s uklanjanjem kisika iz zraka: nakon što bi miš u zatvorenom prostoru uginuo, šibica bi idalje gorila; kad bi šibica prestala goriti, fosfor je nastavio svijetliti. Najbolje rezultate postigao je spaljivanjem fosfora. Njegova doktorska disertacija, obranjena 1772., bavila se opisivanjem dobivenog „flogistoniranog zraka“.<sup>42</sup>

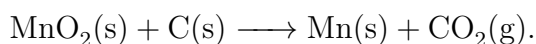
U francuskom jeziku postoje dva imena za dušik: *azote*, beživotni i *nitrogène*, tvorac salitre. Prvo ime mu je dao Lavoisier, a drugo Jean Antoine Chaptal. U hrvatskom se ustalio Šulekov prijevod Lavoisierovog imena.<sup>12</sup>

**Mangan.** Osim s kobaltovim i niklovim mineralima, staklari su bili dobro upoznati i s manganovom rudom piroluzitom ( $\text{MnO}_2$ ). Njime se staklu mogla dati lijepa ljubičasta nijansa, ali i „oprati“ žuti ili zeleni pigment iz obojanog stakla. Zbog toga su ga zvali *sapo vitri*, sapun za staklo. Mnogi kemičari, uključujući Carla Wilhelma Scheelea, nisu uspjeli izolirati metal iz pirolu-

---

<sup>§</sup>U ovom razdoblju povijesti kemije riječ *zrak* koristila se za ono što danas nazivamo plinovima, *voda* za tekućine, a *zemlja* za zemljaste krutine.

zita. Prvi kojem je to pošlo za rukom je švedski kemičar J o h a n G o t t l i e b G a h n. Obložio je jedan lončić za žarenje vlažnom ugljenom prašinom, u sredinu stavio usitnjeni piroluzit i ulje koje je prekrpio ugljenom prašinom. Drugi lončić za žarenje zatalio je na prvi. Takav uređaj zagrijavao je sat vremena, pri tom dobivši mangan:

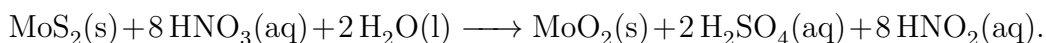


Ovu redukciju napravio je 1774. Podatke o postupku nije objavio u znanstvenoj literaturi, već se o njemu zna preko njegove prepiske sa Scheeleom.<sup>42</sup>

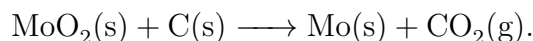
**Klor.** Prilikom istraživanja piroluzita (u kojem je otkrio mangan) Scheele je uočio da njegovim otapanjem u klorovodičnoj kiselini nastaje zagušljiv plin sličan onome koji nastaje u vrućoj zlatotopki. Plin je nazvao *deflogistonirana solna kiselina* misleći da je piroluzit preuzeo flogiston iz klorovodične kiseline. Primijetio je da je vodena otopina tog plina kisela i da izbjeljuje obojane cvjetove i listove.

Lavoisier je mislio da sve kiseline sadrže kisik. Njegov prijatelj Berthollet zaključio je da piroluzit daje kisik klorovodičnoj kiselini, i da je nastali produkt zapravo *oksisolna kiselina*, spoj klorovodične kiseline i kisika. Gay-Lussac i Thénard su pokazali da Berthollet nije bio u pravu tako što su stavili užareni ugljen u atmosferu *oksisolne kiseline*; nije došlo do reakcije. Oni su tada pretpostavili da se *solni plin* (klorovodik) sastoji od vode te da je *oksisolna kiselina* spoj kisika i neke druge tvari. Davy je konačno presudio pokazavši da se solna kiselina sastoji od vodika i *oksisolne kiseline*; ona je pak elementarna tvar koju je Davy nazvao klor. Otkriće broma, joda i cijanovodične kiseline dalo je dodatnu težinu Davyjevim argumentima.<sup>42</sup>

**Molibden.** Mnogi mineralozi mislili su da mineral molibdenit ( $\text{MoS}_2$ ) sadrži olovo, a nerijetko je zamijenjen za grafit i korišten u izradi olovaka. Bengt Quist se 1754. pozabavio istraživanjem molibdenita te pokazao da sadrži sumpor, željezo i bakar, ali ne i olovo. Scheele je dokazao da su grafit i molibdenit različiti tretiravši ih dušičnom kiselinom. Grafit ne reagira s njom, dok molibdenit tvori molibdenov(IV) oksid:



Tako dobiveni molibdenov oksid Scheele je dao svom prijatelju Peteru Jacobu Hjelmu koji je posjedovao dovoljno jaku peć za redukciju. Hjelm je pomiješao molibdenov oksid s lanenim uljem, pri čemu je dobio finu pastu. Nju je zatim jako zagrijavao, pri čemu je laneno ulje pougljenilo, a nastali ugljen reagirao s oksidom:

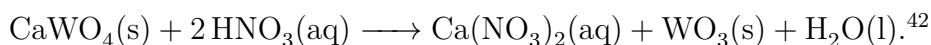


Redukciju je proveo 1781., a nastali metal prozvao molibdenom.<sup>42</sup>

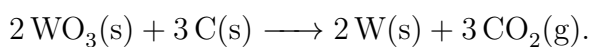
**Telurij.** Austrijski kemičar Franz Joseph Müller uspio je izolirati nepoznati metal iz plavkasto-bijele rude zlata nađene u Transilvaniji, zvane *aurum paradoxum*. Njegovi suvremenici su mislili da je u pitanju antimon, ali on nije bio u to uvjeren. Poslao je mali uzorak Torbernu Bergmanu koji je dokazao da nije u pitanju antimon.<sup>42</sup> Godine 1782. Müller je o tom otkriću napisao članak za opskurni bečki časopis *Physikalische Arbeiten der einträchtigen Freunde in Wien*. Otkriće je ostalo neprimijećeno sve dok 1798. Martin H. Klaproth nije o njemu izvjestio berlinsku Akademiju.<sup>8</sup>

Klaproth je izolirao i imenovao novi element. Ime mu je dao po grčkoj riječi za Zemlju, *tellus*. Izolirao ga je iz već spomenute rude *aurum paradoxum*, najvjerojatnije silvanita ((Ag,Au)Te<sub>2</sub>), koju je samljeo i otopio u zlatotopki. Talog je uklonio filtriranjem, a filtrat razrijedio vodom. Dodatkom kalijeve lužine nastao je bijeli talog topljiv u suvišku lužine. Taj je talog također uklonio filtriranjem, a otopinu je neutralizirao klorovodičnom kiselinom. Nastao je novi talog koji je odvojio i dobro isprao. Nakon ispiranja, pomiješao ga je s uljem i stavio nastalu pastu u tikvicu za suhu destilaciju. Polaganim zagrijavanjem do žarenja i hlađenjem na stijenkama tikvice nastale su kuglice telurija.<sup>42</sup>

**Volfram.** Njemački kemičar Johann Gottlieb Lehmann je 1761. je analizirao tamnosmeđi mineral volframit ((MnFe)WO<sub>4</sub>). Nije shvatio da volframit krije dva tada nepoznata elementa, iako je bio na tragu kad je rekao da je volframit po nekim svojstvima sličan piroluzitu. Scheele je otapanjem minerala koji je zvao *tung sten*,<sup>8</sup> a koji danas, njemu u čast, nazivamo šelit (CaWO<sub>4</sub>), u dušičnoj kiselini dobio kiseli *tungstenov* oksid:



Zaključio je da je u pitanju oksid novog metala, ali se nije pozabavio daljnjim istraživanjem. Godine 1783. dvojica Španjolaca, braća Fausto i Juan José de Elhuyar, uspjeli su iz volframita dobiti kiseli oksid za koji su zaključili da je isti kao i kiseli *tungstenov* oksid. Pomiješali su ga s ugljenim prahom i zagrijavali u hermetički zatvorenom lončiću za žarenje, pri čemu su dobili elementarni volfram:



Juan je htio element krstiti tungstenom, što se uvriježilo u anglofonskom i frankofonskom području; Fausto je preferirao ime volfram, što je postalo latinsko ime elementa.<sup>42</sup>

## 2.4 Elementi od Lavoisiera (1787.) do otkrića radioaktivnosti (1896.)

Torben Bergman bio je prvi koji je upozorio na nedosljednost imenovanja kemijskih spojeva u kemijskoj literaturi do osamnaestog stoljeća. Po uzoru na Linnéa uveo je nazive za pripadnost istoj grupi. Tako su sve kalijeve soli nazivane *alkali vegetabile* –  $\text{KNO}_3$  se, primjerice, zvao *alkali vegetabile nitratum*. Problem je uvidio i enciklopedist Guyton de Morveau. On je u veljači 1787. prihvatio suradnju Lavoisiera, Bertholleta i Fourcroya na izradi nove nomenklature. Knjigu *Méthode de nomenclature chimique* su izdali iste godine. Nova nomenklatura temeljila se na podjeli tvari na elemente i spojeve.

Antoine-Laurent Lavoisier (slika 2.5) je dvije godine nakon ovoga izdao svoju knjigu *Traité élémentaire de chimie*, udžbenik osnova kemije. U njoj je dao definiciju elementa različitu od Boyleove: elementi su *krajnji sastojci do kojih dopire kemijska analiza*. Na početku drugog dijela svoje knjige Lavoisier je napravio prvi popis elementarnih tvari (slika 2.3):

---

• svjetlo,	• solni radi-	• bakar,	• olovo,
	kal,		
• kalorik,		• kositar,	• volfram,
	• fluorni		
• kisik,	radikal,	• željezo,	• cink,
		• mangan,	
• dušik,	• boaksov		• vapno,
	radikal,	• živa,	
• vodik,		• molibden,	• magnezija,
	• antimon,		
• sumpor,	• arsen,	• nikal,	• barija,
		• zlato,	• stipsa,
• fosfor,	• bizmut,		
		• platina,	• silika.
• ugljik,	• kobalt,		

Naslutio je da će se zemlje (vapno, magnezija, barija, stipsa i silika) jednog dana prestati uvrštavati u jednostavne tvari jer su vjerojatno zasićene kisikom kad s njim ne reagiraju. U tablicu nije uključio sodu i potašu tvrdivši da su one očito spojevi, iako se ne zna njihov elementarni sastav.

Nakon objave ove knjige uslijedio je pravi procvat otkrića elemenata. Taj su procvat popratili teoretičari koji su pokušali prikazati popis kemijskih elemenata na što razumljiviji način. Döbereiner je 1817. otkrio postojanje „trijada“, grupa od triju elemenata takvih da je atomska težina središnjeg jednaka aritmetičkoj sredini preostala dva. Max von Pettenkofer, Johann Gladstone i Josiah Cooke tražili su numeričke pravilnosti među elementima.

Pariški profesor geologije Alexandre de Chancourtois napravio je *zemaljski vijak*. Uzeo je valjak na kojem je svakih 45° nacrtao ravnu liniju po visini,

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

Slika 2.3: Lavoisierova tablica kemijskih elemenata i njihovih naziva skovanih prije reformacije kemijskog nazivlja iz knjige *Traité élémentaire de chimie*.<sup>18</sup>

te je na njemu nacrtao spiralu koja u jednom zavoju siječe 16 ravni linija. Na svakom sjecištu spirale i linija postavio je jedan element, po uzlaznom redosljedu atomskih masa. Znanstvena zajednica nije zapazila njegov valjak, vjerojatno zato što je opis valjka bio objavljen bez grafičkog prikaza. John Alexander Newlands prvi je uveo redni broj u klasifikaciju elemenata te je primijetio zakon oktava. Njega su, međutim, ismijali u Engleskom kemijskom društvu.

Istu sudbinu doživio je i Rus Dmitrij Ivanovič Mendeljejev koji je 1869.





Slika 2.4: Muzejski primjerak električne baterije Alessandra Volte izložen u muzeju *Tempio Voltiano* u njegovom rodnom gradu Comu.

objavio svoju tablicu elemenata. Mendeljejev je također uočio periodično ponavljanje svojstava u nizu elemenata poredanom po atomskim masama. Svoj *zakon periodičnosti* iskoristio je kako bi predvidio svojstva dotad nepoznatih elemenata. Godinu ranije je do istog sustava došao i Nijemac Lothar Meyer, ali je zakasnio s objavom. Mendeljejev i Meyer smatraju se suotkrivačima periodnog sustava elemenata.<sup>13</sup>

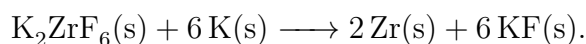
Alessandro Volta je 1800. izumio bateriju koja se sastojala od bakrenih i cincanih elektroda razdvojenih tkaninom koja je namočena otopinom soli (slika 2.4). Godine 1859. Gustav Kirchhoff počeo je sustavno proučavati emisijske spektre svih poznatih elemenata i popisivati linije koji se u njima vide. Kad je završio taj posao, mogao je odrediti postojanje nepoznatih elemenata u nekom uzorku jer bi se spektar tog uzorka sastojao od nepoznatih linija.

Ove i druge tehnike omogućile su otkriće 52 elementa u 109 godina između Lavoisierovog udžbenika i Becquerelovog otkrivanja radioaktivnosti, što je skoro pa jedan element svako dvije godine! Pronađeni elementi su: cirkonij, uranij, titanij, itrij, krom, berilij, niobij, tantal, cerij, paladij, rodij, iridij, osmij, kalij, natrij, barij, kalcij, magnezij, stroncij, bor, jod, selenij, kadmij, litij, silicij, aluminijski, brom, torij, vanadij, lantan, erbij, terbij, rutenij, cezij, rubidij, talij, indij, helij, galij, holmij, iterbij, tulij, samarij, skandij, gadolinij, praseodimij, neodimij, fluor, germanij, disprozij i argon.



Slika 2.5: Antoine-Laurent Lavoisier. Modificirana gravura Louisa Jeana Desirea Delaistrea, prema predlošku Julienu Leopolda Boillyja.

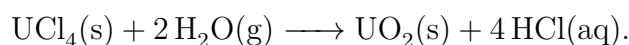
**Cirkonij.** Cirkonijevi minerali su česti u prirodi; poznavali su ih drevni narodi. U osamnaestom stoljeću analitički su kemičari utvrdili da se cirkon sa Šri-Lanke sastoji od aluma i silike. Međutim, tek pred kraj stoljeća, 1789., Klaproth je ustanovio da se u cirkonu krije dotad nepoznati metal. Davy ga je 1808. uzaludno pokušavao izolirati električnom strujom. Jöns Berzelius je 1824. uspio dobiti cirkonij onečišćen njegovim solima redukcijom kalijevog cirkonijevog fluorida kalijem u željeznoj posudi unutar platinskog lončića za žarenje:



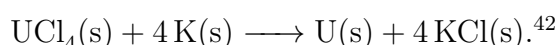
Dobivenu je smjesu otopio u vodi, pri čemu je dobio crni talog nečistog cirkonija. Ovaj su postupak kasnije usavršavali mnogi kemičari, sve dok Nizozemci D. Lely Jr. i J. Hamburger nisu dobili sasvim čisti cirkonij.<sup>42</sup>

**Uranij.** Njemački kemičar Martin Heinrich Klaproth istraživao je crni mineral uraninit ( $\text{UO}_2$ ). Godine 1789. shvatio je da sadrži dotad nepoznat element, pa ga je podvrgnuo dušičnoj kiselini, a nastalu otopinu neutralizirao kalijevom lužinom. Pri tom je dobio žuti talog, najvjerojatnije kalijev diuranat ( $\text{K}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ) koji je zatim reducirao istim postupkom kao što je Hjelm reducirao molibdenov(IV) oksid. Redukcijom je dobio crni prah za koji je mislio da je novi element.

Nakon više od pola stoljeća, francuski kemičar Eugène Péligot analizom bezvodnog uranijevog(IV) klorida uočio je da se 100 dijelova tog spoja sastoji od 110 dijelova *uranija* i klora. Tu je pojavu protumačio nastankom uranijeva(IV) oksida prilikom reakcije uranijeva(IV) klorida s vodom:

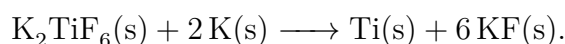


Budući da nije uspio reducirati uranij ugljikom ni vodikom, učinio je to zagrijavanjem bezvodnog uranijevog(IV) klorida s kalijem u zatvorenom platinskom lončiću za žarenje, hlađenjem i ispiranjem nastalog kalijevog klorida.<sup>30</sup> Tu burnu reakciju proveo je 1841.:



**Titanij.** Velečasni William Gregor poznat je kao osnivač Kraljevskog geološkog društva u Cornwallu, ali i po svojim preciznim analizama sastava mnogih minerala. Pozabavio se, među ostalima, i crnim pijeskom koji je pronašao u svojoj vlastitoj župi. Godine 1791. ustvrdio je da se sastoji od magnetita, silike i crvenkasto-smeđeg oksida.<sup>¶</sup> Kad se taj oksid izolira i otopi u sumpornoj kiselini, dobije se otopina žute boje koja postane ljubičasta reducira li se cinkom ili željezom. Njegov je rad pao u zaborav na nekoliko godina, sve dok Klaproth nije usporedio svoje rezultate s Gregorovim. Klaproth nije htio nazvati novi metal po nekome od njegovih svojstava, već ga je nazvao titanijem prema Titanima iz grčke mitologije.

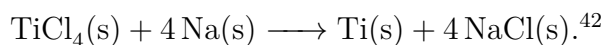
Berzelius je vjerojatno prvi uspio izolirati titanij, postupkom sličnim kao cirkonij:



Tako dobiveni titanij, međutim, bio je vrlo nečist. Vrlo čist titanij dobili su tek 1887. švedani Lars Fredrik Nilson i Otto Pettersson redukcijom titanijevog tetraklorida natrijem u hermetički zatvorenom željeznom cilindru:

---

<sup>¶</sup>Danas bismo rekli da se sastoji od željeza, silicija, kisika i (tada) nepoznatog elementa.



**Rijetke zemlje.** Priča o otkrivanju *rijetkih zemalja*, oksida elemenata trećeg stupca i 4f bloka periodnog elementa, podsjeća na priču o ruskim babuškama koja je trajala 150 godina. Jedan bi kemičar pronašao jedan oksid i utvrdio da je on čist. Zatim bi došao drugi kemičar i pokazao da je taj oksid zapravo smjesa dva ili tri oksida, pri čemu je maseni udio jednog oksida jako velik, a ostalog/ostalih mali, kao što se u velikoj babuški nalazi manja babuška. Potom bi se pojavio treći kemičar koji bi ustvrdio da ni ti oksidi nisu čisti, već su smjese više oksida... Tako su pronađeni oksidi svih elemenata *rijetkih zemalja* osim promecija koji nema stabilnih izotopa, pa je prvi put dobiven nuklearnim reakcijama.

Finski analitički kemičar **Johan Gadolin** pronašao je 1794. u uzorku minerala tada poznatog kao iterit, oksid novog metala **itrija**. Iterit je pronašao poručnik Carl Axel Arrhenius<sup>||</sup> u rudniku u blizini švedskog grada Iterbija; kasnije je preimenovan u gadolinit u čast Gadolinu. Devet godina kasnije Berzelius, Klaproth i Hisinger otkrili su **cerijev oksid** u ceritu. Gadolin, Berzelius, Klaproth i Hisinger tada su mislili da su dobili čiste okside itrija i cerija.

Berzeliusov pomoćnik **Carl Gustav Mossander** zagrijavao je 1839. cerijev nitrat i potom ga tretirao dušičnom kiselinom. Primijetio je da je u otopini zaostao oksid novog elementa, koji je nazvao **lantani** (grč. λανθάνω – skriven). Naziv cerij ostavio je za metal čiji oksid nije bio topljiv u dušičnoj kiselini.

---

<sup>||</sup>Ovo nije Svante Arrhenius, kemičar i fizičar koji je istraživao ovisnost koeficijenta brzine reakcija o temperaturi.

Ove rezultate Mosander nije objavio skoro cijelo desetljeće jer je mislio da nije dovršio analizu. Otapanjem lantanijevog oksida u razrijeđenoj dušičnoj kiselini uspio je 1841. otkriti crveni oksid novog elementa, lantanovog brata blizanca *didimija* (grč. διδυμα – blizanac).

1853. je Marginac krenuo u istraživanje didimijevog oksida. Primijetio je da spektar didimija varira ovisno o podrijetlu uzorka. Boisbaduran je 1879. u otopinu didimija dodao otopinu amonijaka, pri čemu je prije didimija precipitirao još jedan oksid s različitim spektrom od didimijevog. Boisbaduran ga je nazvao **samarijev** oksid. 1886. je u samarijevom oksidu uspio pronaći još jedan, **gadolinijev** oksid. Pretekao ga je Marginac koji je taj isti oksid pronašao 1880. u mineralu samarskitu.

Profesor Bohoslav Brauner primijetio je 1882. niz linija u plavom i u žutom dijelu spektra u frakcijama didimija. Carl Auer, barun von Welsbach, serijskom frakcijskom kristalizacijom amonijevog didimijevog nitrata dobio je 1885. dvije soli. Metale koji čine te soli prozvao je **praseodimijem**, zelenim blizancem (grč. πρασος – zelen), i **neodimijem**, novim blizancem (grč. νεο – novi).

Eugène-Anatole Demarcay izumio je spektroskop kojim je mogao iz spektra istraživane tvari ukloniti sve strane linije osim platine\*\*. Tim je spektrometrom 1901. krenuo u istraživanje niza frakcijskih kristalizacija samarijevog magnezijevog nitrata. U pojedinim frakcijama pronašao je novi element koji je prozvao **europij**.

Kada je 1839. otkrio da cerijev oksid sadrži komponentu netopivu u dušičnoj kiselini, Mosander je odlučio potražiti postoji li takva komponenta i

---

\*\*Elektrode za stvaranje iskri bile napravljene od vrlo čiste platine.

u itrijevom oksidu. Godine 1843. doznao je da frakcijskom kristalizacijom pomoću otopina aminijaka može itrijev oksid razdvojiti na tri dijela: bijeli itrijev, crveni **terbijev** i žuti **erbijev** oksid. Dok su provjeravali njegovo istraživanje, Marginac, Boisbaudran i drugi su zamijenili imena terbija i erbija.

Marginac je 1878. razgradio crveni erbijev oksid zagrijavanjem. Zaostali prah je prelio vodom i dobio dva oksida: crveni erbijev i bijeli **iterbijev**. Elementi itrij, iterbij, terbij i erbij dobili su ime po švedskom gradu Iterbiju u čijoj su okolini pronađeni mnogi vrijedni metali, uključujući iterit. Iduće je godine iz iterbijevog oksida Nilson izolirao **skandijev** oksid.

Marginac i Nilson nisu uspjeli otkriti sve erbijeve tajne. Per Theodor Cleve je primijetio da atomska masa erbija u njegovom oksidu iz kojeg su uklonjeni iterbijev i skandijev oksid nije konstantna. Iz njega je 1878. izolirao nova dva oksida: **holmijev** (stockholmski) i **tulijev** (*Thule* je poetski naziv za Skandinaviju). Apsorpcijski spektar holmija zamijetili su švicarski kemičari Delafontaine i Soret koji su ga objavili kao spektar *elementa X*.

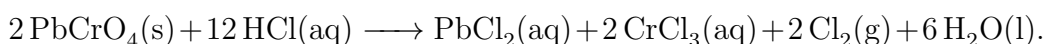
Boisbaudran je 1886. razdvojio čisti holmijev oksid pomoću frakcijske prekrystalizacije. Prvo je holmijev oksid prekrystalizirao pomoću otopine amonijaka, a zatim pomoću zasićene otopine kalijeva sulfata. Otkrio je da se „holmijev“ oksid sastoji od dva oksida: holmijevog i **disprozijevog** (grč. δυσπροσιτος – teško pribavljiv). Prekrystalizacijom nečistih holmijevih soli otkrio je sljedeći redoslijed prekrystalizacija: terbij, disprozij, holmij, erbij.

Posljednju *rijetku zemlju* koja ima neradioaktivne izotope pronašao je Georges Urbain 1907. serijskom prekrystalizacijom iterbijevog nitrata iz dušične kiseline. Nazvao ga je **lutecijem**, po starom imenu za njegov

rodni grad Pariz. Isti je element istovremeno pronašao Welsbach, ali se njegov naziv *kasiopeij* nije održao. Radioaktivni *promecij*<sup>††</sup> pronašli su 1945. znanstvenici Marinsky, Glendenin i Coryell u nuklearnom reaktoru u Oak Ridgeu, među elementima *rijetkih zemalja* koji su nastali kao produkti fisije uranija. Iz smjese su ga izolirali kromatografijom na koloni za ionsku izmjenu. Danas se *rijetke zemlje* uobičajeno odvajaju kromatografijom ionske izmjene umjesto frakcijskom prekrizacijom.<sup>42</sup>

Sažeta povijest otkrivanja metala *rijetkih zemalja* prikazana je na slici 2.6.

**Krom.** Johann Lehmann, koji je odigrao ulogu i u otkrivanju volframa, 1766. se pozabavio istraživanjem sibirskog *crvenog olova* koje je nađeno u rudniku zlata u blizini tadašnjeg Jekaterinburga. Primijetio je da otapanjem tog minerala, danas poznatog kao krokoit ( $\text{PbCrO}_4$ ), u klorovodičnoj kiselini dobiva zelenu otopinu. Prilikom otapanja dolazi i do redukcije:



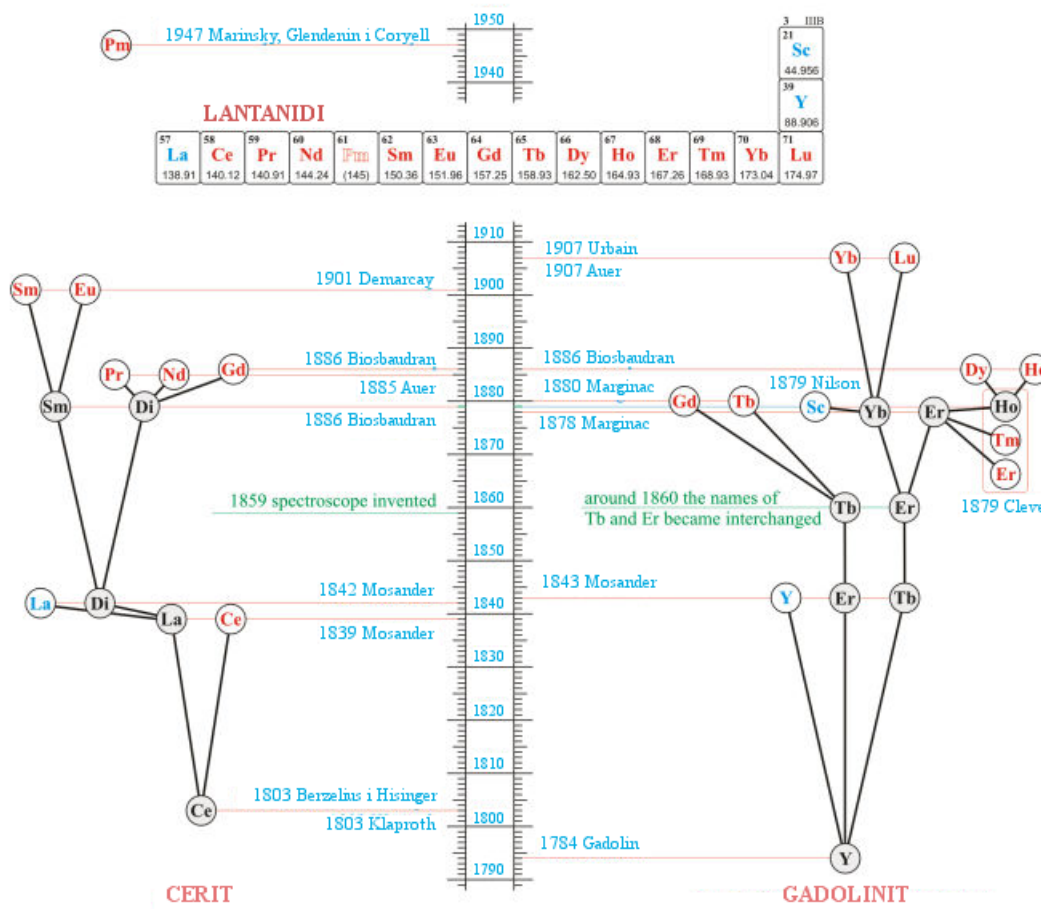
Ne poznajući krom, Lehmann je zaključio da se mineral sastoji od olova i željeza. Nije nastavio svoja istraživanja jer mu je život naglo prekinut u laboratorijskoj nesreći 1767., kad je eksplodirala tikvica za suhu destilaciju u kojoj je zagrijavao arsen.

Zbog teške dostupnosti krokoita, analizu je tek trideset godina kasnije nastavio mladi francuski kemičar Nicolas-Louis Vanquelin. Godine

---

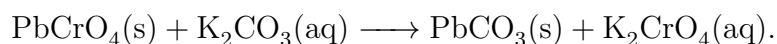
<sup>††</sup>Naziv potječe od Prometeja, Titana koji je ukrao vatru s Olimpa i dao ju ljudima. Odabrali su ga jer je promecij stvoren u novoj vatri nuklearnih reaktora koju su ljudi rasplamsali 1942., tri godine prije otkrića ovog elementa.





Slika 2.6: Kratka povijest otkrivanja elemenata rijetkih zemalja. Preuzeto i prilagođeno sa internetske stranice *Asian Metal Metalpedia*.<sup>1</sup>

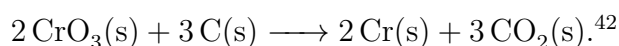
1797. zaključio je da se u krokoitu krije nepoznat metal. Zagrijavanjem u otopini kalijeva karbonata dobio je žutu otopinu kalijeva kromata iz koje je istaložio olovov karbonat:



Dodatkom otopine živinih soli u nastalu otopinu nastaje crveni, a dodatkom otopine olovovih soli nastaje žuti talog. Dodavanjem kiseline otopina

mijenja boju u narančastu, a redukcijom s kositrovim(II) kloridom nastaje zelena otopina kakvu je dobio i Lehmann.

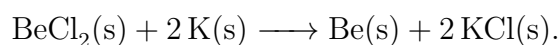
Godine 1798. Vanquelin je uspio izolirati nepoznati metal. Nakon tretiranja krokoita klorovodičnom kiselinom i uklanjanja olova, nastalu je otopinu upario, dobivši kromov trioksid. Njega je stavio u ugljeni lončić za žarenje koji je stavio u zemljani lončić za žarenje napunjen ugljenom prašinom i zagrijavao pola sata. Time je dobio elementarni krom:



**Berilij.** Drevne civilizacije poznavale su zeleni kamen smaragd. Plinije Stariji piše o rijetkom zelenom kamenu sličnom smaragdu, koji se naziva beril i nabavlja iz Indije. Stockholmski papirus iz trećeg ili četvrtog stoljeća nove ere donosi upute za pripravu umjetnog berila.

Klaproth, inače vrstan analitičar, zaključio je da se peruanski smaragd skoro u potpunosti sastoji od aluma i silike. Njegove su rezultate potvrdili i Bergman i Vanquelin. Francuski mineralog René Just Haüy prvi je posumnjao u ove rezultate nakon što je temeljitim mjerenjem plošnih kuteva berila i smaragda utvrdio da su ti kutevi jednaki. Na njegov nagovor, Vanquelin je 1798. ponovio svoju analizu.<sup>23</sup> Otkrio je da se hidroksid dobiven iz berila, za razliku od aluminijevog hidroksida, ne otapa u suvišku lužine, ali se otapa u otopini amonijevog karbonata. Također je otkrio da su beril i smaragd skoro istog sastava ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{SiO}_6$ ); zelena boja smaragda potječe od malih primjesa kroma i vanadija.

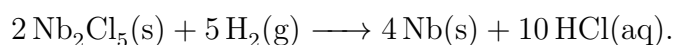
Berilij su neovisno priredili Antoine Bussy i Friedrich Wöhler u kolovozu 1828., burnom reakcijom berilijevog klorida s kalijem:



Nakon ispiranja dobili su sivocrni talog koji je sadržavao kuglice berilija. Čisti berilij prvi je 1899. pripremio francuski kemičar Paul Lebeau elektrolizom talina kalijeva i natrijeva berilijeva klorida.<sup>42</sup>

**Niobij.** John Winthrop Mlađi, guverner kolonije Connecticut, u jednoj od svojih mineraloških ekspedicija pronašao je mineral koji danas poznajemo kao kolumbit  $\{(\text{Fe}, \text{Mn})[(\text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3]_2\}$ . Njegov unuk poslao je taj primjerak u London. Mlađi britanski kemičar Charles Hatchett jedan je od rijetkih koji je dobio dopuštenje da uzme dio tog primjerka za analizu. Unatoč kompleksnosti ovog minerala i mnogim nečistoćama (cirkoniju, toriju, ceriju i itriju), uspio je 1801. utvrditi da je u pitanju novi metal. Prije toga je mislio da je možda u pitanju arsenov ili bizmutov mineral.

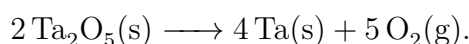
Godine 1864. švedski je kemičar i mineralog Christian Wilhelm Blomstrand prvi uspio izolirati niobij redukcijom njegova klorida u atmosferi vodika:



U američkim zemljama ovaj element su dugo nazivali kolumbijem, po uzoru na Hatchetta; Europljani su prihvatili naziv niobij koji mu je dao Heinrich Rose, a koji se uvriježio u modernoj kemiji.<sup>42</sup>

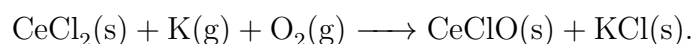
**Tantal.** Šveđanin Andres Gustaf Ekberg, profesor na sveučilištu u Upsali i Berzeliusov učitelj, zainteresirao se za minerale pronađene u rudnicima kraj grada Ytterbija. Tamo je pronašao itrotantalit  $(\text{Y}(\text{Ta}, \text{Nb})\text{O}_4)$ , a

direktor rudnika iz finskog grada Kimita dao mu je tantalit ((Fe,Mn)Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>). Na temelju analize provedene 1802. zaključio je da sadrže nepoznati metal koji je prozvao tantalom.<sup>42</sup> Čisti tantal je prvi izolirao Werner von Bolton tek 1903.,<sup>8</sup> redukcijom užarenog tantalovog pentoksida u vakuumu:<sup>2</sup>

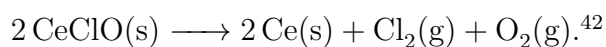


William Hyde Wollaston je, poput Charlesa Hatchetta, analizirao originalni primjerak kolumbita i zaključio da je kiselina dobivena iz njega identična kiselini dobivenoj iz itrotantalita. Više od 40 godina kemičari su smatrali da su tantal i niobij jedan te isti element. 40 godina Heinrich Rose je pronašao razlike između njihovih kiselina i time konačno dokazao da su u pitanju dva različita elementa.<sup>42</sup>

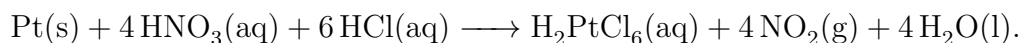
**Cerij.** Otkrivač nikla Cronstedt je 1751. pronašao i opisao neobičan, težak mineral iz rudnika Bastnäs u Švedskoj. Wilhelm Hisinger zvan Hisinger poslao je primjerak ovog minerala Scheeleu na analizu. Scheele i braća de Elhuyar su 1782. analizirali primjerke minerala i zaključili da ne sadrži volfram, ali nisu uspjeli otkriti ništa novo u njemu. Tek 1803. su Hisinger, Klaproth i Berzelius u njemu neovisno ustanovili postojanje oksida novog metala. Nazvali su ga cerijem u čast novootkrivenom patuljastom planetu Ceres. C. G. Mosander je 1839. izolirao cerij redukcijom bezvodnog cerijevog(II) klorida kalijnim parama:



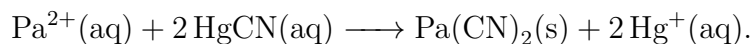
Žarenjem cerijevog hipoklorita dobio je cerij:



**Paladij.** Engleski kemičar William Hyde Wollaston imao je široke znanstvene interese: istraživao je šećernu bolest, giht, te elemente niobij, tantal, titanij i platinu. Otkrio je postupak kojim se platinu može učiniti kovkom. Godine 1803. izolirao je novi metal iz uzorka platinske rude. Prvo je otopio rudu u zlatotopki, pri čemu je dobio heksakloroplatinsku kiselinu:

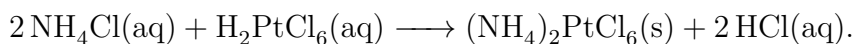


Zatim je upario višak kiseline i dodao živin(I) cijanid do pojave žutog taloga:

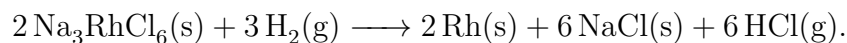


Nastali je talog isprao i zagrijavao sa sumporom i boraksom, pri čemu je dobio novi metal koji je nazvao paladijem, po asteroidu Paladi koji je otkriven svega godinu dana ranije.<sup>42</sup>

**Rodij.** William Wollaston je 1803. ili 1804. pronašao još jedan metal u platinskoj rudi. Rudu je otopio u zlatotopki, koju je zatim neutralizirao. Iz otopine je prvo uklonio platinu taložeći je amonijevim kloridom:



Potom je uklonio paladij već opisanim postupkom pomoću živina(I) klorida. Zaostalu je otopinu, nakon uklanjanja živina(I) klorida pomoću klorovodične kiseline, upario i isprao etanolom. Nakon ovog postupka zaostali su kristali natrijevog heksaklororodata(IV) koje je reducirao vodikom:



Wollaston je rodiju dao ime po tamnocrvenoj boji kristala natrijevog rodijevog klorida. Rodij potječe od grčke riječi  $\rho\acute{o}\delta\omicron\nu$  koja znači crven.<sup>42</sup>

**Osmij i iridij.** Kao što je već spomenuto, engleski kemičar Smithson Tennant dokazao je da se dijamant sastoji samo od ugljika. Ključno mjerenje je, međutim, ostavio svom asistentu Wollastonu, otkrivaću paladija i rodija, u čiju se sposobnost pouzdavao.

Tennant se, kao i njegov asistent, bavio platinom. Godine 1803. otkrio je da crni talog koji zaostaje prilikom otapanja platinske rude u zlatotopki nije grafit, kako se dotada mislilo, već da sadrži novi metal. Kasnije te godine francuski je kemičar Hippolyte-Victor Collet-Descotils primijetio da taj talog sadrži metal zbog kojeg je talog nastao dodavanjem amonijeva klorida u otopinu platine crvene boje. Njegov suradnik Vanquelin dobio je taj metal tako što je crni talog isprao lužinom, a zatim žario nastali oksid.

Tennant je 1804. pokazao da taj talog ne sadrži jedan, već dva metala. Oksid prvog metala topljiv je u kiselini, ali netopljiv u lužini. Oksid drugog metala, pak, netopljiv je u kiselini. Njega je nazvao osmijem zbog njegovog mirisa (grč.  $\omicron\sigma\mu\epsilon$  – miris), a prvog iridijem jer su otopine njegovih soli raznobojne (lat. *iris* – duga).<sup>42</sup>

**Natrij i kalij.** Kad je Johann Bohn 1683. pripremao zlatotopku otapanjem soli (vjerojatno natrijevog klorida) u dušičnoj kiselini, primijetio je da su kristali koji su zaostali nakon destilacije različiti od kristala dobivenih otapanjem biljnog pepela u dušičnoj kiselini. To je bio prvi pokazatelj da se *biljna lužina* (KOH) i *mineralna lužina* (NaOH) razlikuju.

Uz svoju tablicu elemenata Lavoisier je napisao opasku o kaustičnoj sodi i

potaši: nije ih u nju uvrstio jer je smatrao da su ove tvari očigledno spojevi, iako nije poznavao elemente od kojih su sastavljeni. Njih je pronašao Sir Humphry Davy pomoću električne struje. Prvo je pokušao elektrolizirati vodenu otopinu kaustične sode i potaše, pri čemu je uspio elektrolizirati samo vodu. Zatim je, 6. listopada 1807., probao s malenim komadom potaše koji je odstajao kratko vremena na zraku. Na katodi je primijetio nastajanje kuglica metalnog sjaja. Zaključio je da je to metal koji je tražio. Nekoliko dana kasnije istim je postupkom dobio i natrij, ali mu je za to trebala jača baterija.<sup>42</sup>

Davy je nove elemente nazvao *sodium* i *potassium*, jer ih je dobio elektrolizom sode, odnosno potaše. U latinskom i hrvatskom se koriste nazivi natrij i kalij, koji su dobili ime prema tronu (grč. νίτρον, arap. natron, šp. i šved. trona) i lugu (lužina, arapski al-qali).<sup>12</sup>

**Kalcij.** Drevni su narodi koristili vapnenac i gips za izradu žbuke, ali nisu poznavali njihova kemijska svojstva. Kemičari osamnaestog stoljeća mislili su da je vapno element. Lavoisier ga je svrstao u svoju tablicu elemenata, iako je izrazio sumnju da on tamo stvarno pripada. Humphry Davy je iz njega pokušao izolirati metale istim postupkom kojim je dobio natrij i kalij iz sode i potaše, ali mu to nije pošlo za rukom. Zatim ga je pokušao reducirati kalijem, te elektrolizirati smjesu kalija i vapna, ali ni tako nije uspio dobiti kalcij. Izolacija kalcija mu je pošla za rukom u svibnju 1808., kad je dobio Berzeliusovo pismo s opisom postupka izolacije kalcija i barija. Davy je postupio slično: na platinskoj je pločici pomiješao živo vapno s tri puta manje živinog(I) oksida, iskopao malu rupu i u nju stavio kap žive. Živu je

spojio na negativni pol, a platinu na pozitivni, i pustio struju. Na površini živne kuglice uslijedila je reakcija:



Ovim je postupkom dobio dovoljno kalcijevog amalgama za izolaciju kalcija.<sup>7,42</sup>

**Barij.** Kada je Scheele istraživao piroluzit, pronašao je novu bazu u nekim uzorcima. Uskoro je te kristale poslao Gahnu, koji je ustvrdio da su istog sastava kao i bolonjski kamen (barit,  $\text{BaSO}_4$ ). Bolonjski je kamen prvi otkrio Vincenzo Casciarolo početkom sedamnaestog stoljeća. Zaintrigirao ga je jer je nakon žarenja nastavio sjajiti dugo, čak i nakon što se ohladio. Godine 1808. je Berzelius, a nedugo nakon njega i Davy, barij dobio istim postupkom kao i kalcij. Ime je dobio po velikoj gustoći (specifičnoj težini) oksida iz kojeg je izoliran (grč. βαρύς – težak).<sup>7,42</sup>

**Magnezij.** Pastir Henry Wicker primijetio 1618. je da krave ne piju vodu iz jedne škrape, iako je ta godina bila iznimno sušna. Shvatio je da je uzrok tome gorak okus vode. Uzrok tog gorkog okusa je epsomska sol, prozvana po mjestu u Velikoj Britaniji gdje ju je Wicker otkrio. Zbog ljekovitih svojstava te soli, u Epsom su počeli dolaziti imućniji građani iz cijele Europe. Uskoro su otkriveni drugi načini dobivanja epsomske soli, iz morske i kamene soli. Joseph Black je 1755. pokazao da se ova sol razlikuje od vapna. Iz nje je Davy dobio magnezij istim postupkom kao kalcij iz vapna. Nazvao ga je *magnij* zbog sličnosti naziva *magnezij* i *mangan*; taj se naziv nije održao.<sup>7,42</sup>

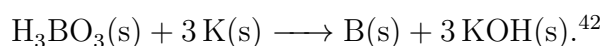


**Stroncij.** Jedan prodavač minerala je donio rijedak primjerak u Edinburghu oko 1787. Mineral je pronađen u rudnicima olova u Strontianu, a većina mineraloga smatrali su da je u pitanju „prozračni barit“. Liječnik Adair Crawford istražio je taj mineral tri godine kasnije, u nadi da će iz njega moći lakše pripremiti barijev klorid koji je koristio kao lijek. U tome nije uspio, ali je prvi uočio da se ovaj mineral, kasnije nazvan stroncijanit, razlikuje od barita. Neovisno o njemu, Rene Just Haüy goniometrom je mjerio kuteve kristala barijeva sulfata i pri tom primijetio da su kutevi uzoraka iz Sicilije za nekoliko stupnjeva različiti od onih u uzorcima iz Engleske. Zaključio je da je u pitanju sulfat drugog elementa, što je kemijskom analizom potvrdio Vanquelin.<sup>23</sup> Davy je 1808. iz njega izolirao stroncij istom metodom kao i kalcij i barij.<sup>7,42</sup>

**Bor.** Kemičari su dugo smatrali da je boraks umjetna tvorevina kakva ne postoji u prirodi. Prvi prirodni boraks, zvan *pounxa*, opisao je švedski trgovac Johann Abraham Grill. Dobio ga je 1772. od katoličkog misionara na Tibetu. Wilhelm Homberg je sedamdeset godina ranije otapanjem smjese boraksa i željezova(II) sulfata te uparavanjem dobio *sedativnu sol* ( $H_3BO_3$ ).

Torben Bergman je jedan od prvih koji je ustvrdio da nije u pitanju sol, već kiselina. U Lavoisierovoj listi elemenata nalazi se radikal ove kiseline. Njen sastav ostao je nepoznat sve dok Francuzi Louis-Joseph Gay-Lussac, poznat po izobarnom i izohornom zakonu stanja plinova, i Louis Jacques Thénard nisu iz nje uspjeli dobiti elementarni bor. To su napravili 1808., iste godine kad je Davy otkrio svoje elemente. U to je doba Francuskom vladao Napoleon. Na vijesti o otkriću alkalijskih metala u

Engleskoj, Napoleon je reagirao tako što je pribavio veliku bateriju za Gay-Lussaca i Thénarda. Oni su međutim pokazali da se natrij i kalij mogu dobiti i bez baterije, redukcijom sode i potaše željezom na visokim temperaturama. Tako dobiveni kalij iskoristili su za redukciju borne kiseline:



**Jod.** Francuski kemičar Bernard Curtois bio je sretnik koji je prvi dobio elementarni jod. S ocem je proizvodio salitru sve dok njihova tvrtka nije propala. Zatim se počeo baviti proizvodnjom natrijevih i kalijevih spojeva iz algi. Naplavine smeđih algi rodova *Fucus* i *Lamaria* bi spalio, te bi nastali pepeo isprao vodom. Tako je dobio matičnicu iz koje su taložili natrijev i kalijev klorid te kalijev sulfat, dok bi u otopini ostali natrijeve i kalijeve soli jodida, karbonata, cijanida, polisulfida, sulfita i hiposulfita. Sumporne je spojeve uklanjao dodatkom sumporne kiseline. Vjerojatno je jednog dana u 1811. dodao sumpornu kiselinu u suvišku, pri čemu je nastao ljubičasti oblak. Kondenzacijom tih ljubičastih para nije dobio tekućinu, već ljubičaste kristale joda.<sup>42</sup>

**Selenij.** Otkrivač selenija je slavni švedski kemičar Jöns Jacob Berzelius. U svom laboratoriju, osim selenija, otkrio je još četiri elementa te odredio relativne atomske mase skoro svih tada poznatih elemenata.<sup>‡‡</sup>

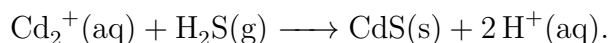
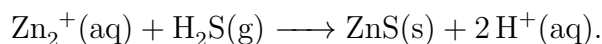
Berzelius je imao udio u tvornici sumporne kiseline u Gripsholmu. U ljeto

---

<sup>‡‡</sup>Kemičari su relativne atomske mase određivali prema masi kisika jer im je najlakše je bilo dobiti okside elemenata. Berzelius je za relativnu atomsku masu kisika koristio 100, dok su kasniji kemičari koristili 16. Fizičari su istovremeno koristili 1 za njihov standard – relativnu atomsku masu vodika. Tek 1961. dogovorom je utvrđena unificirana jedinica mase temeljena na masi ugljika-12.

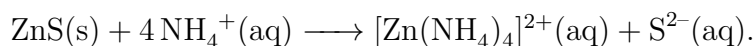
1817. posjetio je tvornicu, gdje ga je zaintrigirao crveno-smeđi talog sa dna posuda s kiselinom. Sušenjem je talog poprimio žutu boju, a tretiranjem sa zlatotopkom postao je žutozelen. Nakon 48 sati dodao je vodu i sumpornu kiselinu, te filtrirao talog. Filtrat je bio žute boje te mirisao na rotkvice prilikom zagrijavanja. To je odgovaralo Klaprothovu opisu telurija, zbog čega se Berzelius ponadao da je otkrio taj rijetki element.<sup>§§</sup> Međutim, taloženjem pomoću otopine amonijaka, miješanjem s kalijem i žarenjem dobio je kalijev selenid. Iz otopine kalijeva selenida taložili su crveni kristali novog elementa. Berzelius mu je dao ime selenij (grč. σελενε, Mjesec). Paljenjem selenija ustanovio je da su mali tragovi selenija u telurijevim mineralima stvarni krivac njihovog mirisa po rotkvicama.<sup>42</sup>

**Kadmij.** Friedrich Störmeyer, profesor kemije i farmacije na sveučilištu u Göttingenu, zaputio se u jesen 1817. u inspekciju ljekarne u Hildesheimu. Otkrio je cinkov karbonat u bočicama u kojima je trebao biti cinkov oksid. Posjetio je farmaceutsku tvrtku u Salzgitteru gdje je pokušao utvrditi razlog ove zamjene. Doznao je da su žarenjem cinkovog karbonata radnici dobivali prah žute boje iako su prethodno uklonili željezo iz cinkove rude. Time su potvrdili njegove eksperimente koje je napravio prije dolaska u Salzgitter. Nastavio je svoje istraživanje: otopio je nečisti cinkov oksid u sumpornoj kiselini te dodao sumporovodik:

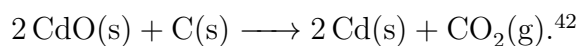


<sup>§§</sup>U nedostatku elementarnog kisika na ranoj Zemlji nastajali su lako hlapljivi selenijevi i telurijevi hidridi, zbog čega je većina ovih metala isparila u svemir.

Precipitat je opraio i otopio u klorovodičnoj kiselini. Kiselinu je zatim upario, a talog otopio u vodi. Dodatkom amonijevog karbonata otopio je cinkov sulfid:



Isprao je zaostali sulfid te ga žarenjem preveo u oksid. Konačno, žarenjem oksida ugljenom dobio je novi, plavosivi metal koji je nazvao kadmij:

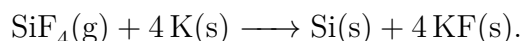


**Litij.** Brazilski znanstvenik i državnik Jose Bonifácio de Andrada e Silva pošao je koncem osamnaestog stoljeća na mineralošku ekspediciju Skandinavijom. Tom je prilikom na otoku Utö pronašao mineral koji je nazvao petalit ( $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ ). Godine 1817. Berzeliusov je učenik Johan August Arfwedson sa samo 25 godina otkrio novi metal u petalitu.

Zagrijavao je smjesu smljevenog minerala i barijevog karbonata, što je bio uobičajen postupak za izoliranje hidroksida alkalijskih metala. Nije, stoga, bio svjestan da ima hidroksid novog metala sve dok nije primijetio da određena masa tog hidroksida otapanjem u nekoj kiselini daje puno više soli te kiseline nego jednaka masa bilo kojeg dotada poznatog hidroksida. Daljnjom analizom uvjerio se da je u pitanju hidroksid novog elementa, o čemu je 1819. obavijestio časopis *Anales de Chimie et de Physique*.

Arfwedson i Berzelius pokušali su izolirati litij iz njegovog hidroksida, ali u tome nisu uspjeli. Pretekli su ih Brande i Davy koji su imali baterije dovoljno jake da rastave litijev hidroksid na njegove sastavne dijelove.<sup>42</sup>

**Silicij.** Preko 80% Zemljine kore sastoji se od silikata i silicijevog dioksida. Drevni su narodi poznavali i koristili kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) u izradi stakla. Davy, Gay-Lussac i Thénard bili su sigurni da silika ( $\text{SiO}_2$ ) nije elementarna tvar, ali nisu uspjeli izolirati metal od kojeg se sastoji. To je prvi put pošlo za rukom Berzeliusu 1823., kad je grijao kalij u atmosferi silicijeva tetrafluorida:



Otapanjem smeđeg praha nastalog ovom reakcijom dobio je tamnosmeđi talog silicija zagađenog teško topljivim kalijevim heksafluosilikatom ( $\text{K}_2\text{SiF}_6$ ). Sličan tamnosmeđi talog dobili su i Davy, Gay-Lussac i Thénard, ali samo je Berzelius uložio trud u dugotrajno ispiranje kalijeva heksafluosilikata da bi pripremio uzorak čistog silicija.<sup>42</sup>

**Aluminij.** Drevni Grci i Rimljani koristili su stipsu ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ )<sup>¶¶</sup> u medicini i građevini, ali je vjerojatno nisu razlikovali od zelene galice ( $\text{FeSO}_4$ ). Stipsu su dobivali iz rudnika u Maloj Aziji.

Danac Hans Christian Oersted zainteresirao se za Voltinu bateriju. Istraživanje elektriciteta navelo ga je na njegovo najveće otkriće: vodič kroz koji teče struja djeluje kao magnet. Puno je manje poznato da je 1825. otkrio aluminij. Prvo je žario smjesu aluminijevog hidroksida i ugljena u struji klora. Nastali aluminijev klorid pomiješao je s kalijevim amalgamom, pri čemu je nastao aluminijev amalgam. Uparavanjem žive u bez prisutstva zraka dobio je čisti aluminij.<sup>42</sup>

<sup>¶¶</sup>Pojam stipsa u širem smislu koristi se za skupinu kemijskih spojeva sličnih svojstava, čija je formula  $\text{A}_2(\text{SO}_4) \cdot \text{M}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$ , gdje A označava monovalentni kation (npr.  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), a M označava trovalentni kation (npr.  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ).

**Brom.** Najpoznatiji spoj iz antike koji je sadržavao brom je purpurna boja iz grada Tira. Drevni Feničani nisu znali da je u pitanju spoj s bromom; to je otkrio Austrijanac Friedländer 1909.

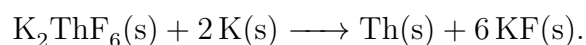
Godine 1826. Antoine-Jérôme Balard objavio je članak o otkriću broma. Dvije godine ranije primijetio je da voda iz slane močvare posmeđi ako u nju doda određene reagense. Destilacijom nastale smjese dobio je čistu crvenosmeđu tekućinu koju je htio nazvati *murid*. To se ime nije svidjelo vijeću Francuske Akademije, koji su ga preimenovali u brom.

Carl Lövig je brom pronašao neovisno o Balardu. Lövig je brom dobio tako što je pustio klor kroz matičnicu iz slanog izvora iz njegovog rodnog grada Kreuznacha, dodao eter i odvojio slojeve. Nakon što je eter othlapio, ostala je crvenosmeđa tekućina koju je ponio sa sobom na studij u Heilderberg na koji je krenuo 1825. Na studiju ga je profesor Leopold Gmelin potaknuo da se pozabavi istraživanjem te tekućine, ali prekasno da pretekne Balarda.<sup>42</sup>

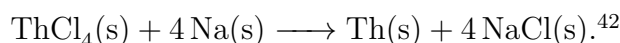
**Torij.** Berzelius je 1815. analizirao minerale iz okolice Faluna. Vjerovao da je u jednom od njih otkrio novi element. Nazvao ga je torijem po bogu Toru iz nordijske mitologije. Deset godina kasnije je shvatio da je taj mineral zapravo itrijev fosfat.

Na otoku Lövöu je velečasni Hans Morten Thrane Esmark otkrio novi mineral koji je jako sličio gadolinitu. Godine 1829. Berzelius je otkrio da je taj mineral silikat nepoznatog elementa kojeg je nazvao torijem. Esmark je htio mineral nazvati *berzelitom*, ali se Berzeliusu više svidio naziv torit po kojem je mineral i danas poznat.

Berzelius je uspio dobiti torij istim postupkom kao i titanij:



Kao i titanij, dobiveni torij nije bio jako čist. Kasnije je dobiven skoro potpuno čist, redukcijom torijevog tetraklorida natrijem:

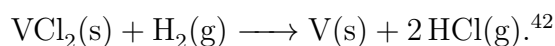


**Vanadij.** Friedrich Wöhler je u povijesti kemije zapamćen kao prva osoba koja je sintetizirala organski spoj iz anorganskog: ureu iz amonijevog cijanata. Malo je nedostajalo da u povijest uđe kao otkrivač vanadija, ali pri tom ga je spriječilo predugo izlaganje fluorovodiku koje je narušilo njegovo zdravlje. Umjesto njega, prema Berzeliusovim riječima, božica Vanada primila je u svoj dom upornog Šveđanina Nilsa Gabriela Sefströma. On je 1831. istraživao meko željezo iz rudnika u Falunu. Primijetio je da prilikom otapanja u klorovodičnoj kiselini ne otapaju svi dijelovi rude jednako. Brže su se otapali mali crni kristalići (vjerojatno vanadijev trioksid,  $\text{V}_2\text{O}_3$ ) na koje je, u suradnji s Berzeliusom, usmjerio svoju analizu. Zaključio je da se u njima krije nepoznati metal koji je nazvao po Vanadis, germanskoj božici ljubavi i ljepote.

Uzorak koji je istraživao Wöhler nije dolazio iz nordijskih rudnika, već iz Zimapána u Španjolskoj. Ondje je Andrés Manuel del Río istraživao smeđe olovo (vanadinit,  $\text{PbCl}_2 \cdot 3\text{Pb}_3(\text{VO}_4)_2$ ). U njemu je 1801. pronašao novi metal koji je prozvaao eritronij, zbog crvene boje njegovih soli nakon zagrijavanja. Međutim, uskoro je zaključio da ipak nije pronašao novi metal, već krom. Sefströmovo otkriće potvrdilo je njegov prvotni zaključak.

Henry Einfeld Roscoe prvi je uspio izolirati čisti vanadij. To je učinio 1869. trodnevnom redukcijom vanadijevog diklorida u platinskoj ladici u

porculanskoj cijevi kroz koju je strujao vodik. Ladica je morala biti platinska zbog burne reakcije vanadija s porculanom i staklom, dok je cijev bila porculanska jer platina propušta vodik pri visokim temperaturama:



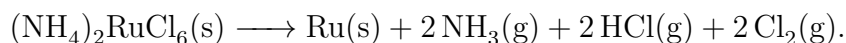
**Rutenij.** Njemački kemičar Gottfried Osann je, zajedno s Berzeliusom, 1828. istraživao crni talog koji zaostane nakon otapanja platinske rude iz novootkrivenog rudnika na Uralu u zlatotopki. Berzelius u tom talogu nije uspio naći ništa novog, međutim Osann je mislio da je pronašao čak tri nova elementa: pluranij, rutenij i polinij.

Profesor Karl Ernst Klaus zainteresirao se za proizvodnju platine tek 12 godina nakon ovog „otkrića“, kad je doznao da „rafinirana“ platina iz Sankt-Petersburga sadrži samo 10% platine. Odlučio je usavršiti tehnike izolacije platine, ali njegove se tehnike nisu pokazale isplative na industrijskoj skali. O njima je 1844. napisao članak dugačak 188 stranica, koji je iduće godine objavio kao knjigu. U njoj je opisao postupak dobivanja elementa kojeg je Osann otkrio.

Prvo je smjesu osmiridija, crnog praha iz kojeg je Tennant izolirao osmij i iridij, kalijeveg hidroksida i kalijeveg nitrata žario sat i pol. Zatim je rastaljenu smjesu prelio u željeznu kapsulu. Kapsulu je stavio u veliku posudu punu vode i tako ostavio četiri dana u tami. Nastala je narančasta otopina iz koje dušičnom kiselinom istaložio osmijev i rutenijev dioksid ( $\text{OsO}_2$  i  $\text{RuO}_2$ ). Nakon uklanjanja osmijeva dioksida pomoću zlatotopke, ostatak se sastojao uglavnom od rutenijeva seskviklorida i rutenijeva(IV) klorida ( $\text{Ru}_2\text{Cl}_3$  i  $\text{RuCl}_4$ ). Od njih je proizveo amonijev heksaklororutenat(IV) iz kojeg je



žarenjem dobio novi metal:



Utvrдио je da je Osann stvarno uspio dobiti ovaj metal, ali izrazito nečist. Zbog toga je ostavio Osannovo, domoljubno ime za taj metal. Preostala dva Osannova metala nisu nikad pronađena.<sup>42</sup>

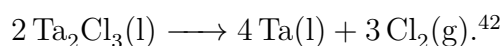
**Cezij.** Gustav Robert Kirchoff i Robert Bunsen su 1860. otkrili novi element pomoću spektroskopije. U spektru kapi mineralne vode iz Dürkheima vidjeli su karakteristične linije natrija, kalija, litija, kalcija i stroncija, što su i očekivali. Iz vode su zatim uklonili stroncij i kalcij. Spektar je, osim linija natrija, kalija i litija, sadržavao još dvije međusobno bliske svijetloplave linije, blizu stroncijeve linije Sr  $\delta$ . Zaključili su da je jedino objašnjenje da one pripadaju novom elementu koji su, zbog boja njegovih spektralnih linija, nazvali cezijem. Elementarni cezij je 1882. dobio Carl Setterberg elektrolizom smjese cezijeve i barijeve cijanida. Elektrolizu je napravio u Bunsenovu laboratoriju.<sup>42</sup>

**Rubidij.** Nekoliko mjeseci nakon pronalaska cezija, u veljači 1861., Bunsen i Kirchoff pronašli su još jedan alkalijski metal, ovaj put u mineralu lepidolitu. Lepidolit je pronašao jezuit Nicolaus Poda, a Klaproth je tek u drugoj analizi pronašao elemente koji bi mogli spadati u grupu koju danas nazivamo alkalijski metali. Bunsen i Kirchoff su iz lepidolita precipitali kalij pomoću heksakloroplatinata(VI). U spektru preostale otopine otkrili su tri nove linije, jednu tamnoplavu i dvije tamnocrvene. Ispiranjem otopine kalijev je spektar

blijedio, a spektar novog elementa sve se više isticao. Element su prozvali rubidijem.<sup>42</sup>

**Talij.** Ubrzo nakon otkrića rubidija, engleski kemičar *William Crookes* počeo je istraživati talog iz tvornice sumporne kiseline iz grada Tilkerode. Iz njih je ranije izolirao selenij. Sačuvao ih je misleći da sadrže i telurij. Nakon što je 1861. više puta pokušao izolirati telurij, i u tome nije uspio, Crookes je odlučio podvrgnuti uzorak spektroskopskoj analizi. Umjesto očekivanih linija telurija našao je jednu sjajnu zelenu liniju koja nije pripadala nijednom dosad poznatom elementu, temeljem čega je zaključio da u uzorku ima novi element. Prozvao novi element talij (grč. *τηραλλος* – zelena grana).

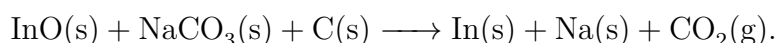
Crookes je tvrdio da je pripremio čisti talij još u svibnju 1862., ali većina povjesničara smatra da ga je prvi izolirao *Claude-Auguste Lamy* krajem lipnja iste godine. Uzeo je talog iz tvornice sumporne kiseline, otopio ga u zlatotopki i dobivenu otopinu ohladio vodom. Pri tom je istaložio talijev seskviklorid kojeg je rastavio na talij i klor elektrolizom:



**Indij.** *Ferdinand Reich*, profesor fizike pri Mineraloškoj školi u *Freiburgu*, i njegov asistent *Hieronim Theodor Richter* krenuli su 1863. u potragu za talijem u rudama iz rudnika *Himmelsfürst*. Uzorak sfalerita ( $\text{ZnS}$ ) žarili su da bi uklonili sumpor i arsen, a zatim su ga otopili u klorovodičnoj kiselinu. Prilikom otapanja zaostao je žuti talog. Reich je htio provjeriti da je stvarno dobio talijev sulfid, a zbog svoje slijepoće na boje spektroskopsku analizu povjerio je Richteru. On je, međutim, uočio indigo-plavu liniju u

spektru koja nije odgovarala nijednoj od dvije cezijeve linije. Kasnije je uočio još jednu blisku liniju. Element su nazvali indijem po najintenzivnijoj liniji u njegovom spektru.

Indij su izolirali pažljivo grijajući smjesu indijeva oksida, natrijeva karbonata i ugljena:



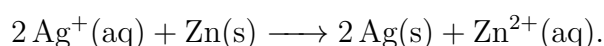
Kasnije su shvatili da je indij lakše izolirati iz cinkovih minerala (ponajprije sulfida) nego iz sfalerita.<sup>42</sup>

**Helij.** Godine 1868. francuski astronom Pierre-Jules-César Janssen otišao je u Indiju da bi promotrio pomrčinu Sunca. Tom je prilikom u Sunčevom spektru uočio žutu liniju D<sub>3</sub> koja je bila različita od žute linije natrija. Britanski je astronom Norman Lockyer ustvrdio da ta linija ne pripada nikojem poznatom elementu. Taj novi element prozvao je *helijem* jer je pronađen na Suncu.

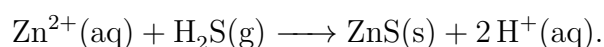
Pred kraj osamdesetih godina devetnaestog stoljeća američki mineralog William Hillebrand podvrgnuo je uranit mineralnim kiselinama i primijetio da se iz njega razvija inertni plin. Mislio je da je u pitanju dušik, ali se William Ramsay, otkrivač većine plemenitih plinova, nije složio s njim. Nije imao uraninita pa je pokus ponovio sa njemu srodnim kleveritom. Dobio je plinsku smjesu koja se sastojala od nešto dušika, argona i još jednog plina. Poslao je uzorke na analizu Lockyeru i Williamu Crookesu. Oni su utvrdili da je u spektru nepoznatog elementa ista ona žuta linija koji je Lockyer vidio u spektru Sunca 27 godina ranije.<sup>42</sup>

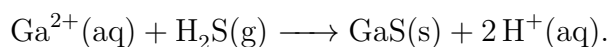
**Galij.** Mendeljejev je 1869. pomoću svog periodnog zakona predvidio svojstva nekolicine tada nepoznatih elemenata. Jednog od njih, aluminijevog susjeda *ekaaluminija*, svega 6 godina kasnije pronašao je Paul-Émile dit François Lecoq de Boisbaudran. M. Malgor, inženjer iz rudnika Pierrefitte, dao mu je 52 kilograma sulfida iskopanog u tom rudniku. Boisbaudran je otopio tu rudu i u njenu otopinu stavio komad cinka. Na njemu se pojavio talog čiji je spektar analizirao. Spektar dobiven zagrijavanjem taloga Bunsenovim plamenom nije sadržavao ništa neobično, ali prilikom zagrijavanja u oksidirajućem vodikovom plamenu pojavile su se dvije nove linije u tamnoplavom dijelu spektra.

Isprva nije uspio izolirati novi element zbog nedostatka rude. Dva društva koja su se bavila proizvodnjom cinka, *La Vieille Montagne* i *La Nouvelle Montagne*, dala su mu dovoljno rude da nastavi istraživanje. Otopio je nekoliko stotina kilograma rude u zlatotopki u koju je dodao suvišak klorovodične kiseline. Talog je ofiltrirao, a u filtrat dodao cinkove ploče i suvišak cinka, pri čemu su na cinkove ploče taložili mnogi elementi:

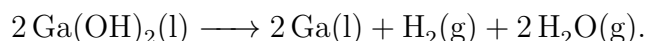


Pored srebra istaložili su olovo, bakar, arsen, kadmij, indij, talij, živa, selenij, srebro, bizmut, kositar, antimon i zlato. Cinkove ploče je zatim uklonio, a u filtrat dodao veliki suvišak cinka. Nastalu je otopinu zagrijavao nekoliko sati na vodenoj kupelji, pri čemu su istaložile kisele soli cinka te hidroksidi aluminiija, željeza, galija, kobalta i kroma. Talog je otopio u klorovodičnoj kiselini; u otopinu je dodao amonijev acetat, octenu kiselinu i sumporovodik:





U otopinu je dodavao cink sve dok sav galij nije istaložio. Galijev sulfid je zatim preveo u hidroksid kojeg je otopio u kalijevom hidroksidu i elektrolizirao nastalu otopinu:



Ovim je postupkom, u srpnju 1875., dobio gram galija. Ime mu je dao po latinskom nazivu za njegovu domovinu Francusku.<sup>\*\*\* 42</sup>

**Skandij.** Iz norveških rudnika došao je još jedan neobičan mineral, euksenit. Njega je otkrio Theodor Scheerer 1840., iste godine kad je rođen Lars Frederik Nilson. Skoro četrdeset godina kasnije Nilson je objavio pronalazak novog elementa u euksenitu. Otkriće je bilo slučajno: dok je 1879. radio u Berzeliusovu laboratoriju, htio je proizvesti čisti iterbijev oksid iz euksenita. Prvo je iz njega izolirao erbijev oksid kojeg je preveo u nitrat. Zatim je taj nitrat razgradio zagrijavanjem, pri tom dobivši čisti iterbij i njemu nepoznat oksid. Daljnjim istraživanjem otkrio je da svojstva metala koji se krije u ovom oksidu odgovaraju svojstvima Mendeljejevog *ekabora*. Prozvao ga je skandij po Skandinaviji.<sup>42</sup>

**Fluor.** Johann Sigismund Elsholtz je 1676. pronašao kamen koji nakon kratkog zagrijavanja svijetli bijeloplavim svjetlom. Četiri godine kasnije je

---

<sup>\*\*\*</sup>Postoji mogućnost da je Lecoq de Boisbaudran ovaj element prozvao po sebi. Naime, i latinska riječ *gallus* i francuska riječ *le coq* znače *pijetao*. Boisbaduran je nijekao da imenovanje galija ima veze s pijetlovima. Zrno sumnje u njegove riječi će vjerojatno zauvijek ostati.

staklar Heinrich Schwanhard primijetio da pare koje nastaju prilikom otapanja ovog kamena u jakim kiselinama nagrizaaju leće njegovih naočala. Ubrzo je počeo otopinu tog kamena primjenjivati u graviranju stakla. Kamen je bio fluorit ( $\text{CaF}_2$ ), a njegovim otapanjem dobije se fluorovodična kiselina.

Mnogi kemičari, uključujući Davyja, Gay-Lussaca i Thénarda, pokušali su izolirati fluor iz njegovih spojeva. Pri tome su si narušili zdravlje, a neki su i umrli. Prvi koji je uspio dobiti fluor bio je George Gore. Međutim, nije ga uspio izolirati jer je nastali fluor odmah burno reagirao s vodikom. Pokušao je elektrolizu bezvodne fluorovodične kiseline, no time je uspio samo razgraditi ugljične i korodirati elektrode od plemenitih metala. Uspješna izolacija fluora pošla je za rukom Ferdinand-Frédéric-Henriju Moissanu 1886. Uspio je to napraviti elektrolizom smjese suhog kalijeveg fluorida i bezvodne fluorovodične kiseline u platinskoj U-cijevi začepljenoj čepovima od fluorita, pomoću elektroda od slitine platine i iridija. Ovako drastični uvjeti potrebni su zbog reaktivnosti elementarnog fluora.<sup>42</sup>

**Germanij.** Richter, suotkrivač indija, napravio je kvalitativnu analizu minerala argirodita ( $\text{GeS}_2 \cdot 4 \text{Ag}_2\text{S}$ ) koji je pronađen 1885. u rudniku u blizini Freiberga. Utvrdio je da se sastoji od srebra, sumpora i tragova žive. Profesor Weisbach je zamolio Clemensa Alexandra Winklera da napravi kvantitativnu analizu. On je ustanovio da se argiodit sastoji od 75% srebra i 18% sumpora, a preostalih 7% opisao je kao gubitak. Ponovio je pokuse, konzistentno gubeći 7% analiziranog minerala. Zaključio je da u njemu mora postojati još neka nepoznata tvar koja pripada u istu grupu kao i antimon, arsen i kositar. Samljeo je mineral u prah, pomiješao ga s natrijevim karbo-

natom i sumporom, rastalio dobivenu smjesu i taljevinu ulio u vodu. Dodavši malo klorovodične kiseline istaložio je sulfide antimona i arsena. Budući da novi metal nije istaložio, morao je ostati u otopini. Nije ga, međutim, uspio dobiti dodatkom klorovodične kiseline ni uparavanjem. U veljači 1886., isfrustriran zbog višemjesečnog neuspjeha, dodao je veliku količinu klorovodične kiseline i dobio bijeli pahuljasti talog. Odlučio je novi element nazvati germanijem, u čast svoje domovine. Richter je ustvrdio da je Winkler pronašao Mendeljejevljev *ekasilicij*.<sup>42</sup>

**Argon.** Henry Cavendish je 1785. uklonio je kisik, ugljikov dioksid i vlagu iz uzorka atmosferskog zraka. Pri tome je zaostao plin koji je zauzimao 120 puta manji volumen od originalnog uzorka. Taj je eksperiment ostao zaboravljen cijelo stoljeće, sve dok se Lord Rayleigh nije počeo baviti gustoćom atmosferskih plinova. Primijetio je da je dušik dobiven iz amonijaka za 1% rjeđi od dušika dobivenog uklanjanjem poznatih sastojaka iz uzorka atmosferskog zraka. Iako mala, ta razlika je bila izvan okvira eksperimentalne pogreške. Niti jedna od njegovih hipoteza o podrijetlu ove razlike (kontaminacija prvog uzorka vodikom ili razgradnja dušika na atome, kontaminacija drugog uzorka kisikom ili hipotetskim alotropom  $N_3$ ) nije se pokazala točnom, pa je stvar prepustio mladom kemičaru Williamu Ramsayu. On je 1894. ponovio Cavendishev postupak uklanjanja plinova, ali zaostali plin je zauzimao svega 80 puta manji volumen od originalnog uzorka. Utvrđivši njegovu gustoću pretpostavio je da je riječ o nekakvoj modifikaciji dušika. U spektru tog elementa, međutim, nije bilo linija dušika, već mnogo linija (Crookes ih je zabilježio skoro dvjesto!) u crvenom i zelenom dijelu spektra.

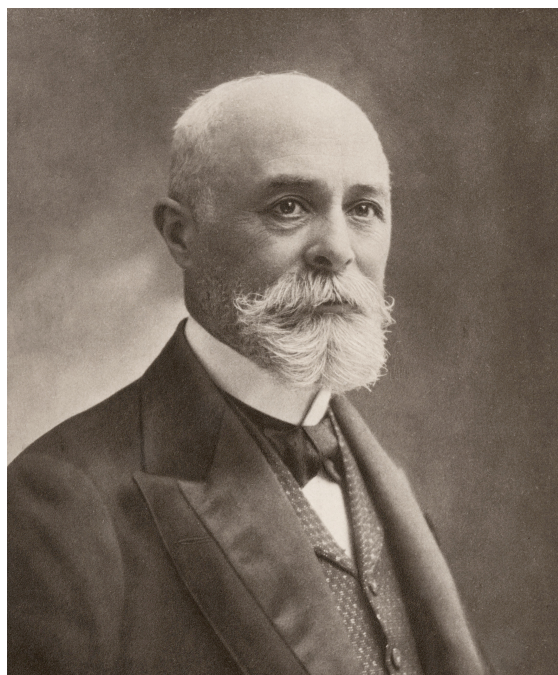
Henry George Madan je elementu dao ime astat (grč.  $\alpha$ ργος – lijen, od grč.  $\alpha$  – ne i  $\epsilon\rho\gamma\omicron\nu$  – rad).<sup>38</sup>

## 2.5 Elementi nakon otkrića radioaktivnosti (1896.)

Henry Becquerel (slika 2.7) istraživao je fosforescenciju uranijevih soli. Fotografske je ploče prekrivio tamnim crnim papirom, između njih stavio kalijev uranijev sulfat i sve zajedno iznio na sunce na nekoliko sati. Sljedećih nekoliko dana, pred kraj veljače 1896., svoj je „uređaj“ ostavio u mraku svoje ladice jer je vani bilo oblačno vrijeme. Prvi ožujka odlučio je razviti te ploče. Na njegovo iznenađenje, bile su jako zamućene. Ispitao je i druge, nefosforescentne soli uranija, i otkrio da i one uzrokuju zamućenja fotografske emulzije. Zaključio je da je izvor zraka sama uranijeva sol. Becquerel je tada otkrio radioaktivnost.

Radioaktivnost je bila ključ za otkrića strukture atoma. Lord Kelvin i Joseph Thompson, otkrivač elektrona, pretpostavili su da se atom sastoji od difuznog pozitivnog naboja unutar kojeg se nalaze elektroni. Taj model, popularno poznat kao model *pudinga sa šljivama*, testirali su Hans Geiger i Ernest Marsden 1909. Bombardirali su tanki listić zlata  $\alpha$  česticama nastalim radioaktivnim raspadom radija. Ako pozitivan naboj unutar atoma jest difuzan, neće značajno skrenuti s putanje pozitivno nabijene  $\alpha$  čestice. Eksperiment je pokazao suprotno. Temeljem tih rezultata njihov mentor Ernest Rutherford je 1911. predložio model prema kojem se atomi sastoje od pozitivno nabijene jezgre koju orbitiraju negativno nabijeni elektroni. Kasniji kvantnomehanički modeli u osnovnoj ideji su se temeljili Rutherfordovom





Slika 2.7: Henry Becquerel. Fotografirao Paul Nadar prije 1908. Slika se nalazi u kolekciji portreta *Scientific Identity* u *Dibner Library of the History of Science and Technology*.

modelu.

Henry Moseley je 1913. primijetio da je korijen frekvencije rentgenskih zraka koje elementi između aluminijskog i zlatnog emitiraju kad ih se kristali koriste kao antikatode u rentgenskoj cijevi proporcionalan njihovom atomskom broju. Time je dao eksperimentalno opravdanje Newlandsovim rednim brojevima atoma koji je, prema Moseleyu, odgovarao električnom naboju jezgre. Rutherford je 1917. bombardiranjem jezgre dušika  $\alpha$  česticama dobio jezgru vodika za koju je zaključio da je morala potjecati iz same dušikove jezgre. Zaključio je stoga da se jezgre sastoje od protona, a vjerojatno i negativno nabijenih čestica koje je nazvao neutronima. Iz ovoga i Moseleyevih proma-

tranja slijedilo je da se promjenom broja protona u jezgri jednog elementa može dobiti jezgra drugog elementa.

Nestabilne jezgre, kakve su jezgre teških elemenata, raspadaju se  $\alpha$  i  $\beta$ -raspadom, a prilikom povratka iz pobuđenog u osnovno stanje mogu emitirati  $\gamma$  zrake.  $\alpha$ -čestice su jezgre helija-4, a atomski broj jezgre koju napuštaju smanjuje se za dva.  $\beta^-$  raspadom jedan neutron u jezgri postaje protonom, a iz jezgre „izlijeću“ elektron ( $\beta^-$  čestica) i antineutrino, dok  $\beta^+$  raspadom proton postaje neutronom uz emisiju pozitrona i neutrina.  $\beta$ -raspadima se atomski broj jezgre povećava, odnosno smanjuje za jedan. Promjena atomskog broja znači i promjena elementa. Uranij se tako može prevesti u torij  $\alpha$ -raspadom ili u protaktinij  $\beta^+$ -raspadom. Nuklearni su kemičari, tako, odgovorili na alkemičarsko pitanje kako dobiti zlato.

U nuklearne reakcije, osim radioaktivnog raspada, spada i fisija – cijepanje velike jezgre na dvije manje, mase jednake otprilike polovici mase početne jezgre – i fuzija – spajanje dviju jezgri u novu jezgru, većeg atomskog broja. Fisijom uranija se danas dobiva element tehnecij atomskog broja 43, dok su fuzijom dobiveni svi elementi atomskog broja većeg od 92, tzv. transuranijski elementi.

Na početku ovog razdoblja su Ramsay i Travers izolirali kripton, neon i ksenon metodama koje su 1895. iskoristili za izolaciju helija. Nakon toga su otkriveni: polonij, radij, aktinij, radon, europij, lutecij, protaktinij, hafnij, renij, tehnecij, francij, astat, neptunij, plutonij, americij, kurij i promecij. Do 1945. otkriveni su svi elementi atomskog broja manjeg od 97, a od tada do danas skoro svi do elementa s atomskim brojem 118.

**Kripton.** Ramsay, otkrivač argona, temeljem relativnih atomskih masa helija (4) i argona (40), pretpostavio je da pripadaju novoj grupi elemenata u periodnom sustavu. Toj bi grupi trebala pripadati još tri elementa: jedan relativne atomske mase oko 20, a druga dva teži od argona. U potrazi za njima mu se pridružio mladi znanstvenik Morris William Travers. Nakon što su proizveli su 15 litara tekućeg argona, pustili su ga da se polako zagrijava, nadajući se da će pri tom zaostati teže hlapljiva komponenta. 30. svibnja 1898. uspjeli su izolirati 25 kubičnih centimetara novog plina kojeg su, zbog njegove skrovitosti, prozvali kriptonom (grč. κρυπτός – skriven, tajan).<sup>32</sup>

**Neon.** Kako bi dobili lakšu komponentu u argonu, 1898. su Ramsay i Travers hlađenjem pripravili čvrsti argon. Za hlađenje su koristili tekući zrak koji je isparavanjem hladio argon. Nakon hlađenja su polako zagrijali argon i prikupili frakciju koja je prva prešla u paru. Spektar ovog elementa ima mnogo linija u crvenom, zelenom i tamnoplavom području, ali najintenzivnija je ona u žutom dijelu spektra. Trinaestogodišnji Ramsayev sin predložio je da ga nazovu *novum*, ali se Ramsayu više svidio naziv *neon*.<sup>33</sup>

**Ksenon.** Ludwig Mond je Ramsayu i Traversu darovao stroj za proizvodnju tekućeg zraka. Nakon što su njime proizveli veće količine kriptona i neona, frakcijskom destilacijom kriptona proizveli su novi plin. Njega su nazvali ksenon (grč. ξενος – stranac). Ksenon su, poput većine plemenitih plinova, otkrili 1898.<sup>42</sup>

**Polonij.** Marie Curie (slika 2.8) je tragala za znakovima radioaktivnosti u svim mineralima koji su joj bili dostupni. Otkrila je radioaktivnost samo u uranijevim i torijevim mineralima<sup>†††</sup>, ali ju je posebno zainteresirao uraninit koji je pokazivao puno veću radioaktivnost od drugih uranijevih minerala. To je objasnila prisutnosti drugog, nepoznatog elementa u uraninitu; njega ima malo, ali je jako radioaktivan. Ona i njen muž Pierre Curie dobili su nekoliko tona uraninita preko austrijske vlade i bečke Akademije znanosti. Frakcijskom prekrizacijom doznali su da nepoznati element taloži s bizmutom, te su ga 1898. izolirali iz bizmutovih polonijevih dvosoli. Marie Curie ga je prozvala po svojoj domovini Poljskoj.<sup>42</sup>

**Radij.** Marie Curie je iste godine utvrdila da najnetopljivije frakcije barijevog klorida pokazuju najviše radioaktivnosti. Poslala je uzorak M. Demarçayu koji je napravio spektroskopsku analizu. Otkrio je novu liniju u ultraljubičastom području spektra. Kad su ga konačno izolirali u većoj količini, M. i P. Curie dali su mu ime radij jer, poput fosfora, fluorescira u mraku.<sup>42</sup>

**Aktinij.** Mladi kemičar André Debierne je 1899. uočio postojanje još jednog radioaktivnog elementa u uraninitu. *Rijetke se zemlje* redovito dobivaju iz otopine uraninita taloženjem pomoću otopine amonijaka; Debierne je uočio da je talog radioaktivan. Novi element, koji je nazvao aktinij, vjerojatno je dobio frakcijskom kristalizacijom taloga.<sup>42</sup>

---

<sup>†††</sup>Radioaktivnost torija neovisno je otkrio Gerhardt Carl Schmidt 1902.

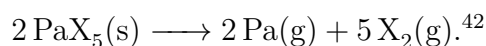
**Radon.** M. i P. Curie primijetili su da zrak u blizini radija također postaje radioaktivan. Friedrich Ernst Dorn, profesor fizike na sveučilištu Königsberg, pokazao je 1900. da je uzrok tome plinoviti produkt radioaktivnog raspada radija. Prvo ga je nazvao *niton*, ali je to kasnije promijenjeno u radon. Ernest Rutherford je uspio kondenzirati ovaj plin, a Ramsay, suotkrivač većine plemenitih plinova, odredio mu je gustoću.<sup>42</sup>



Slika 2.8: Portret Marie Curie iz 1903., kad je sa svojim mužem Pierrom i Becquerelom dobila Nobelovu nagradu.

**Protaktinij.** Tri skupine znanstvenika su 1917. neovisno otkrile aktinijevog „oca“, protaktinija, u uraninitu. Otto Hahn i Lise Meitner su više puta ispirali uraninitni prah dušičnom kiselinom. Iz netopljivog taloga izdvo-

jili su novi element dodatkom tantalovih soli. Odvojiti tantal i protaktinij, međutim, pokazalo se komplicirano. Nijemac Aristid Grosse uspio 1927. je dobiti protaktinijev pentoksid kompliciranim postupkom taljenja netopljivog taloga s natrijevim hidroksidom, uklanjanjem bazičnih oksida, precipitacijom cirkonijevog (i protaktinijevog) fosfata, frakcijskom kristalizacijom i precipitacijom vodikovim peroksidom. Sedam godina kasnije dobio je čisti protaktinij bombardiranjem oksida na bakar u visokom vakuumu i „razbijanjem“ protaktinijevih halogenida u visokom vakuumu na volframovoj niti:



**Hafnij.** Nakon što je Moseley 1913. otkrio da je korijen frekvencije rentgenskih zraka koji neki element emitira kad služi kao antikatoda u rentgenskoj cijevi proporcionalan atomskom broju, pokazalo se da između aluminijskog i zlatnog nisu poznati elementi atomskog broja 43, 61, 72 i 75. Niels Bohr je, temeljem svoje teorije o atomskim orbitalama, pretpostavio da će element 72 biti po svojstvima sličan cirkoniju. Savjetovao je stoga svog prijatelja Georga von Hevesyja da novi element potraži u cirkonijevim rudama. On i Dirk Coster su taj nepoznati element pronašli u siječnju 1923. pomoću spektroskopije rentgenskim zrakama. Pregledali su primjerke cirkonijevih minerala u muzejima i ustanovili da skoro svi sadrže hafnij, ali to nitko dotad nije primijetio zbog velike sličnosti cirkonija i hafnija. Toliko je velika ta sličnost da ih je teže izolirati od niobija i tantala. U tome su uspješni von Hevesy i Thal Jantzen frakcijskim kristalizacijama amonijevog hafnijevog fluorida i amonijevog cirkonijevog fluorida te kalijevog hafnijevog fluorida i kalijevog cirkonijevog fluorida. Čisti hafnij dobili su Anton Eduard

van Arkel i Jan Hendrik de Boer 1924. „razbijanjem“ plinovitog hafnijevog tetrajodida u visokom vakuumu na volframovoj niti:



**Renij.** Do 1922. su dva elementa nedostajala u manganovoj grupi: *ekamangan* atomskog broja 43 i *dvimangan* atomskog broja 75. Kako kolumbit i platinska ruda sadrže elemente bliskih atomskih brojeva, Walter Noddack, Ida Tacke Noddack i Otto Berg su 1922. krenuli u potragu za nepoznatim elementima u ovim mineralima. U platinskoj rudi nisu ništa pronašli, ali u kolumbitu su našli tragove elementa 75.<sup>†††</sup> Tri godine kasnije uspjeli su dobiti jedan gram elementa 75 iz 660 kilograma uzorka molibdenita iz Norveške. Pažljivom analizom spektra dobivenog rentgenskim zrakama ustanovili su da je u pitanju novi element koji su prozvali renij.<sup>43</sup>

**Tehnecij.** Talijanski kemičar Emilio Gino Segré primio je u prosincu 1936. uzorak molibdena koji je Ernest Lawrence bombardirao deutronima u ciklotronu. On i Carlo Perier pokazali su 1937. da prilikom odjeljivanja ovog uzorka radijacija odlazi zajedno s manganom i renijem. Od renija su ga odvojili zagrijavanjem u struji klorovodične kiseline, a kasnije pomoću otopine amonijaka i vodikova peroksida. Nazvali su ga tehnecijem jer je bio prvi umjetno proizvedeni element.<sup>31</sup> Prva istraživanja su radili na uzorku  $10^{-10}$  grama novog metala; kasnije su tehnecij dobili iz fisijskih produkata uranija, što je omogućilo mnogo detaljniju karakterizaciju.<sup>43</sup>

---

<sup>†††</sup>U istom eksperimentu uspjeli su naći i tragove elementa 43., kojeg su nazvali mazurij. Nitko im nije vjerojvao da su u tome uspjeli jer njihove rezultate nisu uspjeli reproducirati u narednim godinama, pa ni oni sami. Godine 1999. John Armstrong je uspio ponoviti njihov eksperiment i pokazati da su oni vjerojatno uspjeli otkriti element 43.<sup>43</sup>

**Francij.** Francuska kemičarka Marguerite Perey je 1939. iz pripravka aktinija uklonila sve poznate radioaktivne elemente. Primijetila je nagli porast intenziteta  $\beta$ -zraka iz uzorka. Ustanovila je da oko 1,2% radioaktivnog raspada aktinija otpada na novi element kojeg je provizorno nazvala *aktinij K* (AcK); ostatak aktinija raspada se  $\alpha$ -raspadom na izotop torija, koji se raspada na izotop radija, isto kao i AcK. Zbog toga i zbog kratkog vremena poluraspada AcK nije uočen ranije. Perey je pripremila AcK sljedećim postupkom: prvo je otopila lantansku rudu koja sadrži aktinij u klorovodičnoj kiselini i dodala natrijev karbonat, zatim je precipitirala radijev izotop barijevim kloridom, a radioaktivni izotop talija koji se također nalazio u otopini precipitirala je amonijevim hidrogensulfatom. Imenovala ga je francij, a simbol koji je predložila, Fa, promijenjen je u Fr.<sup>42</sup>

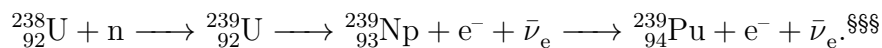
**Astat.** Potraga za *ekajodidom* okončana je 1940. kad su Corson, Mackenzie i Segré, znanstvenici na Sveučilištu u Kaliforniji bombardirali bizmut jezgrama helija. Rad su nastavili nakon rata. Godine 1947. nazvali su element *astat* (grč.  $\acute{\alpha}\sigma\tau\alpha\tau\omicron\varsigma$ , – nestabilan) jer je on jedini halogen bez stabilnih izotopa.<sup>6</sup> Daljnjim istraživanjima pokazali su da mu svojstva nisu bliska svojstvima joda.<sup>42</sup>

**Transuranijski elementi.** Sve do 1940. postojala je samo ideja o mogućnosti postojanja elemenata atomskog broja većeg od 92. Dva su ključna izuma to promijenili: ciklotron i nuklearni reaktor.

Ideju za ciklotron dobio je Ernest Lawrence 1929., a prvog je konstruirao njegov asistent Nils Edlefsen. U ciklotronu se čestice poput protona, deuteron i helijevih jezgri mogu usmjeriti prema određenoj meti poput uranijevih



atoma i tako dobiti atome većeg atomskog broja. Usmjeravanjem ovih jezgri prema beriliju dobiju se neutroni koji se, zbog svoje neutralnosti, lakše približe pozitivno nabijenoj jezgri.  $\beta^-$ -raspadom tako dobivenih jezgri nastaju jezgre većeg atomskog broja. Primjerice, element 94, nazvan **plutonij**, može se vrlo jednostavno dobiti ovim postupkom:



U ciklotronu se može dobiti jako mali broj atoma. Prvi novi element dobiven u ciklotronu, tehnecij, dobiven je u količini od svega  $10^{-10}$  grama. Puno obilniji izvori atoma su uranijevi nuklearni reaktori, u kojima se fisijom jezgra uranija cijepa na lakše elemente i neutrone. Uranij je smješten u grafitnu matricu koja usporava neutrone. Pojedini neutroni nastali fisijom dođu do druge uranijeve jezgre i s njom reagiraju.  $\beta^-$  raspadom koji slijedi nakon te reakcije dolazi do stvaranja elemenata atomskog broja većeg od 92.

Otkrivanje kemijske prirode ovih tvari zahtijevalo je razvoj novih tehnika manipulacije i odvajanja uzoraka. Primjerice, Amerikanci su se jako zainteresirali za plutonij, nakon što su otkrili da je fizibilan i da se može koristiti u izradi nuklearne bombe.

„Velike“ količine plutonija dobili su iz ciklotrona u Berkeleyu i Sveučilištu Washington. Od elementa 93, **neptunija**, odvajali su ga tako što su neptunij oksidirali bromatom i precipitirali fluoridima *rijetkih zemalja*. U kolovozu 1942. uzastopnim ponavljanjem ovog postupka uspjeli su dobiti 1 miligram čistog plutonija. Tada su počeli istraživati kemiju plutonija na miligramskoj skali, promatrajući reakcije plutonijevih spojeva pod mikroskopom, u otopi-

---

§§§Oznaka  $\bar{\nu}_e$  označava elektronska antineutrina.

nama volumena između 10 nanolitara i 100 mikrolitara. Cilj ovih istraživanja bio je utvrditi potencijalne sigurnosne probleme za tvornicu plutonija koja je trebala proizvoditi plutonij u 10 milijardi puta većoj količini nego što se dotada proizvodilo.<sup>42</sup>

Nakon otkrića elemenata 95 i 96 primijećena je velika podudarnost ovih elemenata s *rijetkim zemljama*. Kako je element 95 u periodnom sustavu trebao doći ispod europija, nazvan je **americijem**; element 96 je, poput gadolinija u čast Gadolinu, nazvan **kurijem** u čast bračnom paru Curie. Glenn Theodore Seaborg, suotkrivač nekolicine transuranijskih elemenata, predložio je 1944. seriju aktinida koja započinje aktinijem i završava elementom 103, analognu seriji lantanida koja započinje lantanom i završava lutecijem.<sup>42</sup>

Otkrića transuranijskih elemenata sažeta su u tablici 2.1.

Tablica 2.1: Povijest otkrića transuranijskih elemenata.

Godina	Ime	Z	Otkrivači	Ustanova
1940.	Neptunij	93	McMillan i Abelson <sup>21</sup>	Berkeley
1940.	Plutunij	94	Seaborg, Kennedy i sur. <sup>8</sup>	Berkeley
1944.	Americij	95	Seaborg, James i sur. <sup>37</sup>	Berkeley
1944.	Kurij	96	Seaborg, James i sur. <sup>36</sup>	Berkeley
1949.	Berkelij	97	Seaborg, Thompson i sur. <sup>39</sup>	Berkeley
1950.	Kalifornij	98	Seaborg, Thompson i sur. <sup>40</sup>	Berkeley
1952.	Einsteinij	99	Ghiroso i sur. <sup>11</sup>	Berkeley
1952.	Fermij	100	Ghiroso i sur. <sup>11</sup>	Berkeley
1955.	Mendelevij	101	Ghiroso, Harvey i sur. <sup>4,9</sup>	Berkeley
1958.	Nobelij	102	Zager i sur. <sup>4</sup>	JNIR*

nastavak na sljedećoj stranici...

**Tablica 2.1 – nastavak s prethodne stranice**

<b>Godina</b>	<b>Ime</b>	<b>Z</b>	<b>Otkrivači</b>	<b>Ustanova</b>
1961.	Lavrencij	103	Ghiroso, Sikkeland i sur. <sup>4,10</sup>	Berkeley
1967.	Dubnij	105	Ghiroso i sur.; Druin i sur. <sup>4</sup>	Berkeley JNIR*
1969.	Rutherfordij	104	Ghiroso i sur.; Zvara i sur. <sup>4</sup>	Berkeley JNIR*
1974.	Seaborgij	106	Ghiroso i sur.; Oganeyasan i sur. <sup>4</sup>	Berkeley JNIR*
1981.	Bohrij	107	Münzenber i sur. <sup>4,27</sup>	GIS**
1982.	Meitnerij	109	Münzenber i sur. <sup>4,24</sup>	GIS**
1984.	Hasiij	108	Münzenber i sur. <sup>4,25</sup>	GIS**
1994.	Darmstadtij	110	Hofmann, Ninov i sur. <sup>15</sup>	GIS**
1994.	Roentgenij	111	Hofmann, Ninov i sur. <sup>14</sup>	GIS**
1996.	Kopernicij	112	Hofmann, Ninov i sur. <sup>16</sup>	GIS**
1998.	Flerovij	114	Oganessian i sur. <sup>29</sup>	JNIR*
2000.	Livermorij	116	Oganessian i sur. <sup>26</sup>	JNIR*

\* Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

\*\* Gesellschaft für Schwerionenforschung Helmholtz Centre for Heavy Ion Research, Darmstadt

### 3. Rasprava

**Što znači otkriti element?** Premda je cink bio poznat Indijcima i Kinima još u 12. i 13. stoljeću, tradicionalno smatramo da ga je 1746. otkrio Margraff. On, međutim, nije bio prvi Europljanin koji je izolirao cink. To je skoro cijelo stoljeće ranije napravio de Respoour.

Margraff je proglašen otkrivačem ne zato što je izolirao cink, već zato što ga je *identificirao*, odnosno pokazao da se ne sastoji od drugih tada poznatih metala. Cink je jedini primjer elementa koji je izoliran prije nego što je identificiran jer u 17. stoljeću nisu bile razvijene analitičke tehnike raspoznavanja metala.

Izniman primjer je i otkriće uranija. Klaproth ga je otkrio 1789. u uraninitu i pokušao ga izolirati. Mislio je da je u tome uspio, ali je tek 1841. Pèligot uočio da je zbroj masenog udjela *Klaprothovog uranija* i klora u uranijevom kloridu 110%. Ispravno je zaključio da je *Klaprothov uranij* zapravo oksid. Da je Klaproth 1789. imao na raspolaganju natrij i kalij, možda bi se prilikom redukcije uranijevih soli poslužio njima umjesto ugljenom i vodikom te bi pomoću njih uspio otkriti elementarni uranij.

Fraunhofferovo i Kirckoffovo otkriće spektroskopije omogućilo je identifikaciju dotad nepoznatih elemenata koji su prisutni u jako malim količinama, ili koji nam nisu dostupni. Helij je otkrio Lockyer 1868. promatrajući po-

mrčinu Sunca pomoću spektroskopa. Njegovo ime odražava činjenicu da je jedini element koji nije prvi put opažen na Zemlji. Tek ga je 1895. pronašao ga Ramsay, (su)otkrivač plemenitih plinova, u uraninitu; kasnije se doznalo da su radioaktivne rude obilan izvor helija jer u njima nastaje radioaktivnim raspadom.

Vrijedi još istaknuti slučaj vanadija, za koji je teško jednostavno odrediti otkrivača. Nakon usporedbe soli svog *eritronija*, kojeg je pronašao 1801., s kromovim solima, del Ríó je ustvrdio da nije pronašao novi element, već „ponovo“ otkrio krom. Sefström je 1831. (ponovo) otkrio vanadij. Nedugo nakon toga Wöhler je potvrdio da je del Ríó bio u pravu kad je tvrdio da je otkrio novi element.

Otkrića ostalih elemenata nisu bila toliko burna. Najčešće je ista osoba izolirala, a odmah zatim i identificirala novi element. Neke su, poput vodika i klora, pronašli nego su utvrdili njihovu elementarnu prirodu, dok su druge uspješni otkriti mnogo prije nego što su ih izolirali. Cirkonij, titanij, berilij, niobij i tantal su, poput uranija, uspješni dobiti tek nakon otkrića natrija i kalija; za razliku od uranija, kemičari su bili svjesni da ove tvari nisu dobili u elementarnom stanju. Otkrivačima elemenata *rijetkih zemalja* smatraju se oni koji su otkrili njihove okside, a ne oni koji su ih izolirali.

Otkriti element u većini slučajeva znači odrediti kako se razlikuje od svih ostalih elemenata te da se od njih ne sastoji. U većini slučajeva to znači izolirati element, ali ponekad je moguće samo na temelju kemijskih (npr. topljivost u kiselinama) ili fizikalnih (npr. spektar, radioaktivnost) svojstava reći da neka tvar u sebi sadrži novi element.

**Tko imenuje elemente?** U većini je otkrivač imenovao element koji je otkrio. Već je spomenuto da bi se vanadij zvao *eritronij* da je del Río ostao pri svojoj tvrdnji o otkriću novog elementa. Druga iznimka su otkrivači telurija, Müller, i titanija, Gregor, čiji su radovi pali u zaborav dok ih Klaproth nije pronašao i potvrdio. Nikad nije tvrdio da je otkrio te elemente, ali ih je imenovao.

Ponekad otkrivači poslušaju preporuke svojih kolega. Tako je ime argon predložio Madan, a Ramsay ga je prihvatio. Nedugo prije imenovanja berkelija, Rus A. P. Znojko predložio je da ga se nazove *mendelevij* u čast otkrivaču periodnog sustava. Američki tim se ipak odlučio za naziv berkelij, ali je jednog od sljedećih stvorenih elemenata nazvao po ruskom kemičaru.

Plinovi dušik, vodik i kisik dobivali su različita imena prije sistematizacije kemijske nomenklature koju su proveli de Morveau, Lavoisier, Berthollet i Fourcroy. Francuska imena ovim plinovima dao je Lavoisier u svom udžbeniku kemije: *azote*, *hydrogène* i *oxygène*.

Danas IUPAC propisuje službene nazive svih elemenata. Otkrivači novog elementa imaju pravo predložiti njegove naziv i simbol, ali prednost se daje onim nazivu i simbolu koji su češće u upotrebi.<sup>41</sup> Mineralozi na sličan način imenuju minerale. Unatoč ovom pravilu, imena stvorenih elemenata koja propisuje IUPAC su, uz iznimke elemenata atomskog broja 102 te 104–108, imena koja su im dali njihovi pronalazači.

Biolozi su uveli *pravilo prioriteta*: prvo ime koje se odnosi na neku taksonomsku kategoriju je ujedno i službeno, a ostala se navode kao sinonimna.<sup>\*22,35</sup> Prednost ovakvog sustava je što nema sporova oko ispravnog

---

\*Primjerice, ako je prvo opisana vrsta B, a onda vrsta A, te se naknadno utvrdi da su

naziva; nedostatak mu je nefleksibilnost oko često korištenih naziva. Ima ga smisla primijeniti u biologiji, gdje prema procjenama postoji 8,7 milijuna vrsta koje treba imenovati. Njegova primjena u kemiji nije toliko smisljena jer se elementi otkrivaju dovoljno rijetko da nema potrebe za prilagodbom literature na nove nazive.

**Kako se otkrivaju elementi?** Elementarni metali se u prirodi rijetko nalaze samorodni. Najčešće su dio spojeva s nemetalima poput kisika, sumpora i halogenida. Najstarija metoda odvajanja metala od nemetala, poznata i drevnim narodima, uključivala je žarenje minerala na zraku kako bi ih se prevelo u okside te žarenje smjese oksida i ugljena. Ugljik iz ugljena reagirao bi s kisikom iz oksida i otišao u atmosferu u obliku plinovitog ugljikovog dioksida. Takva reakcija nazivala bi se redukcijom oksida, a ugljik bi bio *reducens*.

Do otkrića vodika pronađena su samo tri nemetala: sumpor, ugljik i fosfor. Prva dva nalaze se samorodni u prirodi, a trećeg je iz mokraće izolirao Brandt dok je tragao za kamenom mudraca. Prestalih 14 elemenata otkrivenih u istom razdoblju su metali ili metaloidi koje se moglo dobiti žarenjem i redukcijom (u rijetkim slučajevima bili su samorodni) te ih se lako moglo međusobno razlikovati.

Cavendish je svojim otkrićem vodika oslobodio novi *reducens*, jači od ugljika. Niobij, rodij, selenij i vanadij dobiveni su redukcijom njihovih ruda vodikom. Sljedeće jake *reducense*, natrij i kalij, izolirao je Davy 1807. Oni

---

vrste A i B zapravo jedna vrsta, službeno ime je ime B, a sinonim ime A. Pronađe li se naknadno treći opis vrste, raniji i od A i od B, to ime postaje prihvaćeno ime vrste. Isto vrijedi i za rodove i više taksonomskih kategorija.

su pokrenuli revoluciju priprave kemijskih elemenata: unutar stotinu godina od njihovog otkrića izolirani su skoro svi elementi lakši od uranija, osim onih bez stabilnih izotopa i nekih elemenata *rijetkih zemalja*.

Izolaciju elemenata nisu potpomogli samo novi reducensi, već i potpuno nova metoda izolacije. Kad je otkrio natrij i kalij, Davy je ujedno otkrio da mnoge elemente može pripremiti elektrolizom otopina ili talina soli tih elemenata. Elektroliza kao metoda ne bi bila moguća bez Voltinog izuma baterije.

Sve izume koji su služili odvajanju metala od nemetala pratio je postupan napredak analitičkih metoda kojima se elementi mogu međusobno razlikovati, ali i metoda razdvajanja smjesa na spojeve. Otkrića s kraja osamnaestog stoljeća bila bi jednako nemoguća bez reakcija dokazivanja pojedinih kationa, destilacije, frakcijske kristalizacije i taložnih reagenasa. Uvođenje vage u kemiju omogućilo kvantitativnu analizu sastava minerala i izradu tablice relativnih atomskih masa elementarnih tvari.

Na početku 18. stoljeća počelo je istraživanje mogućnosti nove eksperimentalne tehnike: spektroskopije. Kirchoff je u šezdesetim godinama tog stoljeća počeo sustavno pripisivati spektre elementima za koje su karakteristični. Nakon što su svi spektri poznatih elemenata bili poznati, nove linije u spektrima ispitivane tvari mogle su značiti samo da sadrži novi, dotad nepoznat element, ili grešku u spektroskopu.

Meyer je 1868. objavio tablicu elemenata u kojoj ih je poredao po periodičnosti ponavljanja njihovih svojstava. Mendeljejev je neovisno o njemu objavio sličnu tablicu 1869., ali je otišao korak dalje: prazna mjesta u svojoj tablici „popunio“ je predviđanjima njihovih fizikalnih i kemijskih svojstava



na temelju svog zakona periodičnosti. *Ekaaluminij, ekabor i ekasilicij*, tri elementa koja je predvidio, pronađena su unutar 15 godina od objave njegovog rada. Njihova su svojstva bila skoro istovjetna svojstvima koja je predvidio Mendeljejev. To su bili prvi dokazi da njegov zakon ima prediktivnu vrijednost. Velika prednost zakona je da omogućuje sustavnu potragu za neotkrivenim elementima na temelju predviđanja njihovih svojstava. Na primjer, Bohr je predvidio da će element 72 biti po svojstvima sličan cirkoniju koristeći se tim zakonom. Von Hevesty i Coster su, vođeni njegovim savjetom, pronašli element 72 – hafnij – upravo u cirkonijevim mineralima.

Elementi *rijetkih zemalja* su toliko međusobno kemijski slični da se mogu razdvojiti mukotrpnim postupcima poput frakcijske kristalizacije, a mnogi od njih pronađeni su u toliko maloj količini da je njihovo postojanje moguće odrediti samo spektroskopijom. Otkriće kromatografije značajno je olakšalo odjeljivanje pojedinih elemenata; radioaktivni promecij izoliran je upravo ovom metodom.

Becquerelovo otkriće radioaktivnosti i briljantan um Marie Curie pokrenuli su na kraju 19. stoljeća novo doba otkrivanja elemenata. Instrumenti kojima se detektira radioaktivnost nekoliko su redova veličine osjetljiviji od spektroskopa. Kad je Curie pronašla značajno veću radioaktivnost uraninita od očekivane za rude uranija, zaključila je da se u uraninitu krije još jedan izvor radioaktivnosti, mnogo jači od uranija, ali u mnogo manjoj količini. Time je ujedno pokazala da je radioaktivnost svojstvo atoma, a ne tvari u kojoj se nalazi. To je omogućilo potragu za drugim rudama koje, poput uraninita, sadrže spektroskopski nemjerljive količine nepoznatih radioaktivnih elemenata.

Ne postoji metoda slična redukciji kojom se mogu dobiti nemetali u elementarnom stanju. Kisik je dobiven zagrijavanjem soli poput kalijevog klorida; vodik reakcijom metala s kiselinom; klor reakcijom klorovodične kiseline i manganovog oksida; brom propuhivanjem klora kroz otopinu bromida; jod dodavanjem sumporne kiseline u otopinu jodida; te dušik i plemeniti plinovi dobiveni uklanjanjem ostalih komponenti iz uzorka atmosfere. Ključni izumi u povijesti otkrivanja kemijskih elemenata zbog toga su uglavnom oni koji omogućuju identifikaciju i izolaciju metala. Drugi razlog tome je što metala ima značajno više od nemetala.

Dva bitna trenutka za izolaciju nemetala odnose se na plemenite plinove. Plemeniti su plinovi mahom inertni, što ih po teškoći odvajanja čini sličnima elementima *rijetkih zemalja*. Izum uređaja za kondenziranje plinova omogućilo je lakše izdvajanje plemenitih plinova iz atmosfere, a frakcijska destilacija izolaciju kriptonu, neonu i ksenonu od argona, najučestalijeg plemenitog plina u atmosferi.

Godine 1936. bombardiranjem atomske jezgre molibdena proizvedeni su prvi atomi elementa koji nije pronađen u prirodi. Danas je sudaranje atomskih jezgri (nuklearna fuzija) jedini poznati način dobivanja novih elemenata. Tako dobiveni elementi proizvedu se u tako malim količinama da je razvijena posebna grana kemije, radiokemija, sa specijaliziranim metodama za određivanje kemijskih i fizikalnih svojstava umjetno dobivenih radioaktivnih elemenata.

**Koliko ima elemenata?** Teoretski, atomskih jezgara može biti beskonačno mnogo. U praksi nastaje veliki problem kad se velika količina po-

zitivnog naboja nalazi u malom prostoru jezgre. Zbog toga su jezgre atoma transuranijskih elemenata nestabilne i raspadaju se. Jezgre elemenata 113, 115, 117 i 118, za kojima se danas traga, toliko su kratkog životnog vijeka da ih je teško proizvesti dovoljno brzo u dovoljno velikoj količini za promatranje i kemijsku analizu. Osim toga, IUPAC i IUPAP zahtijevaju da novi element postoji barem  $10^{-14}$  sekunde, jer toliko vremena je potrebno da se oko jezgre nastale nuklearnom reakcijom stvori elektronski oblak bez kojeg nema smisla govoriti o postojanju kemijskog elementa.<sup>41</sup>

Dosada je potvrđeno otkriće 114 elemenata, a promotrena su i preostala četiri do kraja sedme periode. Međutim, ta promatranja nisu potvrdili neovisni laboratoriji, pa službena potvrda o njihovom postojanju još uvijek ne postoji. Pokušaji sinteze elemenata koji bi otvorili novu periodu dosada su se pokazali neuspješnim.<sup>19,28</sup>

## 4. Zaključak

Otkriti element znači odrediti kako se razlikuje od svih ostalih elemenata te da se od njih ne sastoji. Otkrivači elemenata nisu uvijek uspjeli izolirati otkrivene elemente u čistom stanju. Novootkrivene tvari se smatraju kemijskim elementima samo ako postoje dovoljno dugo da mogu imati oblak elektrona, nosača kemijskih svojstava. Kemijski element može imenovati bilo tko; ime u većini slučajeva daju otkrivači. Primjena pravila prioriteta iz biološke nomenklature zahtijevala bi nepraktičnu promjenu većeg dijela kemijske literature.

Ključni pronalasci koji su omogućili otkrivanje kemijskih elemenata su: ugljik, metode razdvajanja smjesa na sastojke, određivanje metala kemijskim reakcijama, vodik, električna baterija, natrij, kalij, spektroskopija, kondenzacija plinova, radioaktivnost, kromatografija, ciklotron, nuklearni reaktor i tehnike manipulacije malim količinama tvari. Mendeljejevljev periodni sustav elemenata i pravilo periodičnosti neprocjenjivo su vrijedni teorijski alati za usmjeravanje potrage za novim elementima.

Trenutačno je potvrđeno otkriće 114 elementa, a popunjavanje sedme periode u skorijoj budućnosti čini se izvjesno. Nijedan dosadašnji pokušaj sinteze elemenata osme periode nie se pokazao uspješnim.

## 5. Bibliografija

- <sup>1</sup> *Rare earth: discovery and industry development.* [http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare\\_earth/history.shtml](http://metalpedia.asianmetal.com/metal/rare_earth/history.shtml). Pristup: 8. 7. 2015.
- <sup>2</sup> *Tantal – geschichte, eigenschaften, spezifikation.* <http://www.tantec-group.com/en/tantalum/>. Pristup: 8. 7. 2015.
- <sup>3</sup> *Timeline of the Discoveries of the Elements.* <http://www.compoundchem.com/wp-content/uploads/2014/01/Timeline-of-the-Elements-v2.pdf>. Pristup: 8. 7. 2015.
- <sup>4</sup> N. N. Barber, R. C.; Greenwood, A. Z. Hrynkiewicz, Y. P. Jeannin, M. Lefort, M. Sakai, I. Uehla, A. P. Wapstra, and D. H. Wilkinson. *Discovery of the transfermium elements. part ii: Introduction to discovery profiles. part iii: Discovery profiles of the transfermium elements .*
- <sup>5</sup> H. Cavendish. *Three papers, containing experiments on factitious air, by the hon. Henry Cavendish, F. R. S. Philosophical transactions (1766.)* 141.–184. doi:10.1098/rstl.1766.0019.

- 
- <sup>6</sup> D. R. Corson, K. R. Mackenzie, and E. Segré. *Astatine: the Element of Atomic Number 85*. *Nature* 159 (1947.).
- <sup>7</sup> H. Davy. *Electro-Chemical Researches on the Decomposition of the Earths; with Observations on the Metals obtained from the alkaline Earths, and on the Amalgam procured from Ammonia*. *Philosophical Transactions of the Royal Society* (1808.) 333.
- <sup>8</sup> J. Emsley. *Nature's Building Blocks. An A–Z Guide to the Elements*, Oxford University Press, Oxford, 2011. ISBN 0-19-850341-5.
- <sup>9</sup> A. Ghiorso, B. G. Harvey, G. R. Choppin, S. G. Thompson, and G. T. Seaborg. *New Element Mendeleevium, Atomic Number 101*. *Physical Review* (1955.) 1518.–1519. doi:10.1103/PhysRev.98.1518.
- <sup>10</sup> A. Ghiorso, T. Sikkeland, A. E. Larsh, and R. M. Latimer. *New Element, Lawrencium, Atomic Number 103*. *Physical Review Letters* (1961.). doi: 10.1103/PhysRevLett.6.473.
- <sup>11</sup> A. Ghiorso. *Einsteinium and Fermium*. *Chemical & Engineering News* (2003.) 174.–175. doi:10.1021/cen-v081n036.p174.
- <sup>12</sup> I. Gostl. *Bogoslav Šulek: otac hrvatskoga znanstvenoga nazivlja*, Zagreb, 1995.
- <sup>13</sup> D. Grdenić. *Povijest kemije*, Novi liber, Zagreb, 2001.
- <sup>14</sup> S. Hofmann, V. Ninov, F. P. Heßberger, P. Armbruster, H. Folger, G. Müntzenberg, H. J. Schött, A. G. Popeko, A. V. Yeremin, A. N. Andreyev,

- S. Saro, R. Janik, and M. Leino. *The new element 111. Zeitschrift für Physik A* (1994.). doi:10.1007/BF01291182.
- <sup>15</sup> S. Hofmann, V. Ninov, F. P. Heßberger, P. Armbruster, H. Folger, G. Münzenberg, H. J. Schött, A. G. Popeko, A. V. Yeremin, A. N. Andreyev, S. Saro, R. Janik, and M. Leino. *Production and decay of <sup>269</sup>110. Zeitschrift für Physik A* (1994.). doi:10.1007/BF01291181.
- <sup>16</sup> S. Hofmann, V. Ninov, F. P. Heßberger, P. Armbruster, H. Folger, G. Münzenberg, H. J. Schött, A. G. Popeko, A. V. Yeremin, S. Saro, R. Janik, and M. Leino. *The new element 112. Zeitschrift für Physik A* (1996.). doi:10.1007/BF02769517.
- <sup>17</sup> R. E. Krebs. *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements. A Reference Guide*, Greenwood Press, London, 2006, 6th edition. ISBN 0-313-33438-2.
- <sup>18</sup> A. Lavoisier. *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau, et d'après des découvertes modernes*, Cuchet, Paris, 1789, first edition.
- <sup>19</sup> R. W. Lougheed, J. H. Landrum, E. K. Hulet, J. F. Wild, R. J. Dougan, A. D. Dougan, H. Gäggeler, M. Schädel, K. J. Moody, K. E. Gregorich, and G. T. Seaborg. *Search for Superheavy Elements using the <sup>48</sup>Ca+<sup>254</sup>Es<sup>g</sup> reaction. Physical Review C* (1975.). doi:10.1103/PhysRevC.32.1760.
- <sup>20</sup> W. Lowrie. *Fundamentals of Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007, second edition.

- <sup>21</sup> E. McMillan and P. H. Abelson. *Radioactive Element 93. Physical Review* (1940.). doi:10.1103/PhysRev.57.1185.2.
- <sup>22</sup> J. McNeill, F. R. Barrie, W. R. Buck, V. Demoulin, W. Greuter, D. L. Hawksworth, P. S. Herendeen, S. Knapp, K. Marhold, J. Prado, W. F. Prud'Homme van Reine, G. F. Smith, J. H. Wiersema, and N. J. Turland, eds. *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code)*. Fourth edition.
- <sup>23</sup> K. Molčanov and V. Stilinović. *Chemical Crystallography before X-ray Diffraction. Angewandte Chemie* (2013.).
- <sup>24</sup> G. Münzenberg, P. Armbruster, H. Folger, F. P. Heßberger, S. Hofmann, J. Keller, K. Poppensieker, W. Reisdorf, K.-H. Schmidt, H.-J. Schött, M. E. Leino, and R. Hingmann. *The identification of element 108. Zeitschrift für Physik A* (1984.). doi:10.1007/BF01421260.
- <sup>25</sup> G. Münzenberg, P. Armbruster, F. P. Heßberger, S. Hofmann, K. Poppensieker, W. Reisdorf, J. H. R. Schneider, W. F. W. Schneider, K.-H. Schmidt, C.-C. Sahm, and D. Vermeulen. *Observation of one correlated  $\alpha$ -decay in the reaction  $^{58}\text{Fe}$  on  $^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{267}109$ . Zeitschrift für Physik A* (1982.). doi:10.1007/BF01420157.
- <sup>26</sup> Y. Oganessian, V. Utyonkov, Y. Lobanov, F. Abdullin, A. Polyakov, I. Shirokovsky, Y. Tsyganov, G. Gulbekian, S. Bogomolov, B. Gikal, A. Mezentsev, S. Iliev, V. Subbotin, A. Sukhov, O. Ivanov, G. Buklanov, K. Subotic, M. Itkis, K. Moody, J. Wild, N. Stoyer, M. Stoyer, R. Loughheed, C. Laue,



- Y. Karelin, and A. Tatarinov. *Observation of the decay of  $^{292}116$ . Physical Review C* (2000.). doi:10.1103/PhysRev.57.1185.2.
- <sup>27</sup> Y. T. Oganessian, A. G. Demina, N. A. Danilova, G. N. Flerova, M. P. Ivanova, A. S. Iljinova, N. N. Kolesnikova, B. N. Markova, V. M. Plotkoa, and S. P. Tretyakovaa. *On spontaneous fission of neutron-deficient isotopes of elements 103, 105 and 107. Nuclear Physics A.* (1976.).
- <sup>28</sup> Y. T. Oganessian, Utyonkov, Y. V. V. K. Lobanov, F. S. Abdullin, Polyakov, R. N. A. N. Sagaidak, I. V. Shirokovsky, Y. S. Tsyganov, A. A. Voinov, A. N. Mezentsev, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, K. Subotic, V. I. Zagrebaev, Dmitriev, S. N., and R. A. Henders. *Attempt to produce element 120 in the  $^{244}\text{Pu}+^{58}\text{Fe}$  reaction. Physical Review C* (2009.). doi:10.1103/PhysRevC.79.024603.
- <sup>29</sup> Y. T. Oganessian, V. K. Utyonkov, Y. V. Lobanov, F. S. Abdullin, A. N. Polyakov, I. V. Shirokovsky, Y. S. Tsyganov, G. G. Gulbekian, S. L. Bogomolov, B. N. Gikal, A. N. Mezentsev, S. Iliev, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, G. V. Buklanov, K. Subotic, M. G. Itkis, K. J. Moody, J. F. Wild, N. J. Stoyer, M. A. Stoyer, and R. W. Lougheed. *Synthesis of Superheavy Nuclei in the  $^{48}\text{Ca}+^{244}\text{Pu}$  reaction. Physical Review Letters* (1999.). doi:10.1103/PhysRevLett.83.3154.
- <sup>30</sup> E. Péligot. *Recherches sur l'uranium. Annales de chimie et de physique* 5 (1842) 5.–47.
- <sup>31</sup> C. Perrier and E. Segré. *Tehnetium: the Element of Atomic Number 43. Nature* 159 (1947.) 24.

- <sup>32</sup> W. Ramsay and M. W. Travers. *On a new constituent of atmospheric air. Proceedings of the Royal Society of London* (1898.) 405.–408. doi: 10.1098/rspl.1898.0051.
- <sup>33</sup> W. Ramsay and M. W. Travers. *On a new constituent of atmospheric air. Proceedings of the Royal Society of London* (1898.) 437.–440. doi: 10.1098/rspl.1898.0057.
- <sup>34</sup> N. Raos. *Metali života – metali smrti*, Školska knjiga, Zagreb, 2008.
- <sup>35</sup> W. D. L. Ride, H. G. Cogger, C. Dupuis, O. Kraus, A. Minelli, F. C. Thompson, and P. K. Tubbs, eds. *International Code of Zoological Nomenclature*. Fourth edition.
- <sup>36</sup> G. T. Seaborg, R. A. James, and A. Ghiorso. *The New Element Curium (Atomic Number 96)* (1948.).
- <sup>37</sup> G. T. Seaborg, R. A. James, and L. O. Morgan. *The New Element Americium (Atomic Number 95)* (1948.).
- <sup>38</sup> J. M. Thomas. *Argon and the Non-Inert Pair: Rayleigh and Ramsay. Angewandte Chemie* (2004.) 6418.–6424.
- <sup>39</sup> S. G. Thompson, A. Ghiorso, and G. T. Seaborg. *The New Element Berkelium (Atomic Number 96). Physical Review* (1950.). doi:10.1103/PhysRev.80.781.
- <sup>40</sup> S. G. Thompson, K. Street Jr., A. Ghiorso, and G. T. Seaborg. *Element 98. Physical Review* (2009.). doi:10.1103/PhysRev.78.298.2.

- 
- <sup>41</sup> A. H. Wapstra, ed. *Criteria That Must Be Satisfied For The Discovery of a New Chemical Element to Be Recognized*. 1991.
- <sup>42</sup> M. E. Weeks. *Discovery of the Elements*, Mack Printing Company, Easton, Pennsylvania, 1956, 6th edition. Published by the Journal of Chemical Education.
- <sup>43</sup> R. Zingales. *From Masurium to Trinacrium: The troubled story of element 43*. *Journal of Chemical Education* (2005.) 221.–227. doi:10.1021/ed082p221.

## 6. Zahvale

Zahvaljujem svojoj majci Mileni koja mi je omogućila studij. Njoj i tetama Kovički i Ljiljani zahvaljujem na podršci za vrijeme protekle tri godine studiranja i strpljenju za vrijeme pisanja ovog rada.

Zahvaljujem svom bratu Nardiju za pomoć u izradi periodnog sustava elemenata koji sam priložio ovom radu, za čitanje rukopisa i davanje savjeta za poboljšanje rada.

Hvala i Ivi Čupić na savjetima za dizajn periodnog sustava elemenata.

Najviše zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Vladimiru Stilinoviću na predlaganju ove zanimljive i izazovne teme, stpljivom pregledavanju rada i ukazivanju na greške i nedosljednosti te činjenice koje su mi promaknule te poučnim savjetima i komentarima. Boljeg mentora teško mogu zamisliti.

## 7. Prilozi

### 7.1 Otkrivači kemijskih elemenata kroz povijest

Tablica 7.1: Godine otkrića i imena otkrivača kemijskih elemenata. Podatci o elementima otkrivenim prije nove ere pronađeni su na internetskim stranicama *Compound Interest*.<sup>3</sup>

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvao
~7000. PNE	Bakar	29		poznat od davnina	
~7000. PNE	Olovo	82		poznat od davnina	
~6000. PNE	Zlato	79		poznat od davnina	
~5000. PNE	Željezo	26		poznat od davnina	

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvao
~5000. PNE	Srebro	47		poznat od davnina	
~3750. PNE	Ugljik	6		poznat od davnina	de Morveau, Lavoisier, Berthollet i Fourcroy (1787.)*
~3500. PNE	Kositar	50		poznat od davnina	
~2000. PNE	Sumpor	80		poznat od davnina	
~2000. PNE	Živa	80		poznata od davnina	
~1600. PNE	Antimon	51		poznat od davnina; prema nekim izvorima, prvi ga je izolirao Biringuccio (~1500.); spominje ga i Bazilije Valentin (1678.)	
~1250.	Arsen	33	Albert Veliki (oko 1250.)	**	**
~1557.	Platina	78	Scaliger aludira na platinu (1557.), de Ulloa opisuje platinsku rudu (1748.)		
1669.	Fosfor	15	H. Brandt (1669.)	H. Brandt (1669.)	**
1739.	Kobalt	27	G. Brandt (1739.)	G. Brandt (1739.)	G. Brandt (1739.)
1746.	Cink	30	de Respoour (1668.)	Margraff (1746.)	**
1751.	Nikal	28	Cronstedt (1751.)	Cronstedt (1751.)	Cronstedt (1754.)
1753.	Bizmut	83	anonim. (oko 1400.)	Geoffroy mladi (1753.)	**
1766.	Vodik	1	Boyle (1671.)	Cavendish (1766.)	Lavoisier (1789.)*

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvano
1771.	Kisik	8	Scheele (1771.) i Priestley (1774.)	Scheele (1771.) i Priestley (1774.)	Lavoisier (1789.)*
1772.	Dušik	7	Rutherford (1772.)	Rutherford (1772.)	Lavoisier (1789.)*
1774.	Mangan	25	Gahn (1774.)	Gahn (1774.)	**
1774.	Klor	17	Scheele (1774.)	Scheele (1774.)	Davy (1810.)
1781.	Molibden	42	Hjelm (1781.)	Scheele (1778.)	Scheele (1778.)
1782.	Telurij	52	Müller (1782.)	Müller (1782.)	Klaproth (1798.)
1783.	Volfram	74	braća de Elhuyar (1783.)	braća de Elhuyar (1783.)	braća de Elhuyar (1783.)
1789.	Cirkonij	40	Berzelius (1824.)	Klaproth (1789.)	**
1789.	Uranij	92	Pèligot (1841.)	Pèligot (1841.)	Klaproth (1789.)
1791.	Titanij	22	Berzelius (1825.)	Gregor (1791.)	Klaproth (1789.)
1794.	Itrij	39	***	Gadolin (1794.)	**
1797.	Krom	24	Vanquelin (1797.)	Vanquelin (1797.)	Vanquelin (1797.)
1798.	Berilij	4	Busy i Wöhler (1828.)	Vanquelin (1798.)	
1801.	Niobij	41	Blomstrand (1864.)	Hatchett (1801.)	Rose (1846.)
1802.	Tantal	73	von Bolton (1903.)	Ekberg (1802.)	Ekberg (1802.)

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvano
1803.	Cerij	58	Mosander (1839.)	Hissinger, Klaproth i Berzelius (1803.)	Hissinger (1803.)
1803.	Paladij	46	Wollaston (1803.)	Wollaston (1803.)	Wollaston (1803.)
1803.	Rodij	45	Wollaston (1803.)	Wollaston (1803.)	Wollaston (1803.)
1803.	Iridij	77	Tenant (1803.)	Tenant (1803.)	Tenant (1803.)
1804.	Osmij	76	Tenant (1804.)	Tenant (1804.)	Tenant (1804.)
1807.	Kalij	19	Davy (1807.)	Davy (1807.)	Davy (1807.)
1807.	Natrij	11	Davy (1807.)	Davy (1807.)	Davy (1807.)
1808.	Kalcij	20	Berzelius (1808.)	Berzelius (1808.)	Berzelius (1808.)
1808.	Barij	56	Berzelius (1808.)	Berzelius (1808.)	Berzelius (1808.)
1808.	Magnezij	12	Davy (1808.)	Davy (1808.)	Davy (1808.)
1808.	Stroncij	38	Davy (1808.)	Davy (1808.)	Davy (1808.)
1808.	Bor	5	Gay-Lussac i Thénard (1808.)	Gay-Lussac i Thénard (1808.)	Gay-Lussac i Thénard (1808.)
1811.	Jod	53	Curtois (1811.)	Curtois (1811.)	**
1817.	Selenij	34	Berzelius (1817.)	Berzelius (1817.)	Berzelius (1817.)
1817.	Kadmij	48	Stormeyer (1817.)	Stormeyer (1817.)	Stormeyer (1817.)

nastavak na sljedećoj stranici...



Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvao
1818.	Litij	3	Arfwedson (1818.)	Arfwedson (1818.)	Arfwedson i Berzelius (1818.)
1823.	Silicij	14	Berzelius (1823.)	Berzelius (1823.)	Berzelius (1823.)
1825.	Aluminij	13	Oersted (1825.)	Oersted (1825.)	Oersted (1825.)
1826.	Brom	35	Löwig (1825.) i Balard (1826.)	Löwig (1825.) i Balard (1826.)	Löwig (1825.) i Balard (1826.)
1829.	Torij	90	Berzelius (1829.)	Berzelius (1829.)	Berzelius (1829.)
1831.	Vanadij	23	Roscoe (1869.)	Sefström (1831.)	Sefström (1831.)
1839.	Lantan	57	***	Mosander (1832.)	Mosander (1832.)
1843.	Erbij	68	***	Mosander (1843.)	Mosander (1843.)
1843.	Terbij	65	***	Mosander (1843.)	Mosander (1843.)
1844.	Rutenij	44	Klaus (1844.)	Klaus (1844.)	Osann (1828.)
1860.	Cezij	55	Setterberg (1882.)	Bunsen i Kirchoff (1860.)	Bunsen i Kirchoff (1860.)
1861.	Rubidij	37	Bunsen (1863.)	Bunsen i Kirchoff (1860.)	Bunsen i Kirchoff (1860.)
1861.	Talij	81	Lamy (1862.)	Crookes (1861.)	Crookes (1861.)

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvano
1863.	Indij	49	Reich i Richter (1863.)	Reich i Richter (1863.)	Reich i Richter (1863.)
1868.	Helij	2	Ramsay (1895.)	Lockyer (1868.)	Lockyer (1868.)
1875.	Galij	31	Boisbaduran (1875.)		Boisbaduran (1875.)
1878.	Holmij	67	***	Cleve (1878.)	Cleve (1878.)
1878.	Iterbij	70	***	Marginac (1878.)	Marginac (1878.)
1878.	Tulij	69	***	Cleve (1878.)	Cleve (1878.)
1879.	Samarij	62	***	Boisbaduran(1879.)	Boisbaduran(1879.)
1879.	Skandij	21	Nilson (1879.)	Nilson (1879.)	Nilson (1879.)
1880.	Gadoliniij	64	***	Marginac (1880.)	Boisbaduran i Marginac (1880.)
1885.	Praseodimij	59	***	Auer (1885.)	Auer (1885.)
1885.	Neodimij	60	***	Auer (1885.)	Auer (1885.)
1886.	Fluor	9	Moissan (1886.)	Moissan (1886.)	Moissan (1886.)
1886.	Germanij	32	Winkler (1886.)	Winkler (1886.)	Winkler (1886.)
1886.	Disprozij	66	***	Boisbaduran (1886.)	Boisbaduran (1886.)
1894.	Argon	18	Ramsay (1894.)	Ramsay (1894.)	Madan (1894.)
1898.	Kripton	36	Ramsay i Travers (1898.)		Ramsay i Travers (1898.)

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvano
1898.	Neon	10	Ramsay i Travers (1898.)		Ramsay i Travers (1898.)
1898.	Ksenon	54	Ramsay i Travers (1898.)		Ramsay i Travers (1898.)
1898.	Polonij	84	braćni par Curie (1898.)	braćni par Curie (1898.)	braćni par Curie (1898.)
1898.	Radij	88	braćni par Curie (1898.)	braćni par Curie (1898.)	braćni par Curie (1898.)
1899.	Aktinij	89	Debierne (1899.)	Debierne (1899.)	Debierne (1899.)
1900.	Radon	86	Dorn (1900.)	Dorn (1900.)	Dorn (1900.)
1901.	Europij	63	***	Demarçay (1901.)	Demarçay (1901.)
1907.	Lutecij	71	***	Urbain (1907.)	Urbain (1907.)
1917.	Protaktinij	91	Aristid Grosse (1934.)	tri grupe (1917.): Hahn i Meitner; Fajans; Soddy, Cranston i Fleck	Hahn i Meitner (1917.)
1923.	Hafnij	72	van Arkel i de Boer (1924.)	Hevesty i Koster (1923.)	Hevesty i Koster (1923.)
1925.	Renij	75	Noddack, Tacke i Berg (1925.)	Noddack, Tacke i Berg (1925.)	Noddack, Tacke i Berg (1925.)
1937.	Tehnecij	43	Segré i Perier (1937.)	Segré i Perier (1937.)	Segré i Perier (1937.)
1939.	Francij	87	Perrey (1939.)	Perrey (1939.)	Perrey (1939.)

nastavak na sljedećoj stranici...

Tablica 7.1 – nastavak s prethodne stranice

Godina	Ime	Z	Izolirao	Identificirao	Nazvao
1940.	Astat	85	MacKenzie i Sergé (1940.)	MacKenzie i Sergé (1947.)	MacKenzie i Sergé (1947.)
1945.	Promecij	61	***	Glendenin i Coryell (1945.)	Glendenin i Coryell (1945.)

PNE = prije nove ere

\* Hrvatsko nazivlje ovih elemenata skovao je Bogoslav Šulek.<sup>12</sup>

\*\* Podatak nije pronađen.

\*\*\* Izolacija metala *rijetki zemalja* nije opisana u detalje u tekstu.



## 7.3 Životopis

Rođen sam 1994. godine u Splitu. U Sinju sam završio osnovnu školu i gimnaziju. Tijekom školovanja pokazao sam interes prema prirodoslovnim predmetima i programiranju. 2012. godine upisao sam preddiplomski studij molekularne biologije na PMF-u u Zagrebu. Od prve godine upisujem dodatne kolegija sa studija kemije. U slobodno vrijeme bavim se, osim programiranja, popularizacijom znanosti kroz članke i predavanja za srednjoškolce te proučavanjem povijesti znanosti. Dobio sam Rektorovu nagradu 2015. i nagradu Fakultetskog vijeća PMF-a za najboljeg studenta u generaciji.

### Objavljeni radovi

#### Ostali znanstveni radovi

M. Acman i V. Vuković, *Razvoj testova za analizu metilacije regulatornih regija gena EZH2 i GMNN i njihova primjena u istraživanju podskupina difuznog B-velikostaničnog limfoma*. Rad dobitnik Rektorove nagrade za ak. god. 2014/2015. <http://www.unizg.hr/istrazivanje/istrazivanje-i-inovacije/nagrade-za-posebna-postignuca/rektorova-nagrada/>. Pristup: 12. 7. 2015.

#### Stručni radovi

M. Acman, I. Mikičić i V. Vuković, *Vrisak s Dinare. Priroda* (2014.), str. 51.–53.