



<https://doi.org/10.15255/KUI.2019.008>

KUI-20/2019

Stručni rad

Prispjelo 11. siječnja 2019.

Prihvaćeno 16. travnja 2019.

## Elementi i elementarne tvari

N. Raos\*

Ovo djelo je dano na korištenje pod  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License



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

### Sažetak

Rad se bavi razvojem pojma elementa od antičkih vremena (Empedoklo, Aristotel) preko razdoblja alkemije i rane kemije (Paracelsus, Petar Bono, Boyle) te početaka moderne kemije (Lavoisier, Mendeljejev) do suvremenih shvaćanja utemeljenih na atomskoj teoriji. Pokazuje se da pojam elementa ima dva značenja, elementarne (jednostavne) tvari i elementa u užem smislu; dok se prvi pojam razvijao prateći napredak metoda kemijske analize, za razumijevanje drugog pojma, pojma elementa, bilo je nužno steći dublji uvid u narav kemijskih promjena.

### Ključne riječi

Nastava kemije, povijest kemije, filozofija kemije, periodni sustav elemenata

## Uvod

Pojam elementa i elementarne tvari novijeg je datuma; točnije rečeno, riječ “element” nekoć je pokrivala oba značenja.\*\* Tako primjerice srednjoškolski udžbenik iz 1942. godine kaže o elementu ovo:<sup>1</sup>

*Takve jednostavne tvari, koje se ne mogu dalje rastavljati na još jednostavnije, zovu se **počela ili elementi** (lat. počela).*

Stoga bi navedena definicija “počela ili elementa” više odgovarala suvremenom pojmu elementarna tvar. Wiberg pak u sveučilišnom udžbeniku<sup>2</sup> daje tri definicije “elementa”:

- Za razliku od hidrargirum-oksida tvari živa i oksigen ne mogu se dalje rastaviti nikakvim uobičajenim fizičkim i kemijskim metodama. Takve se tvari nazivaju “**elementi**” za razliku od “**spojeva**” kao što je hidrargirum-oksid, koji se može dalje rastaviti (str. 10).
- Elementi: molekule su izgrađene od jedne jedine vrsti atoma (str. 21).
- Na pređašnjim stranicama prikazana nauka o građi atomskih jezgara omogućuje sada nešto egzaktnije

*formuliranje pojma elementa: Element je tvar koje svi atomi imaju isti naboj jezgre (str. 655).*

Iako se posljednja definicija, “egzaktnije formuliranje pojma elementa”, donekle približava pojmu elementa, sve one zapravo govore o elementarnoj tvari. No isto tako vidimo da za pojam elementa, u smislu elementarne tvari, nije nužna atomska teorija, dapače nikakva teorija o građi tvari, jer je riječ o čisto empirijskom pojmu (slika 1). Tako, primjerice, sveučilišni udžbenik anorganske kemije iz 19. stoljeća izričito kaže da je jednostavnost “tijela” (čiste tvari) relativna (*Es ist daher die Einfachheit der Körper nur ein relativer Begriff...*),<sup>3</sup> jer ovisi o tome koliko su kemičari uspješni u analizi. Pritom navodi primjer kalijeva hidrokksida (Kali), za koji se mislilo da je “jednostavno tijelo” sve dok ga Davy nije 1807. elektrolizom rastavio na još jednostavnija “tijela”, naime na kisik i dotad nepoznat metal – kalij. Prije toga istu su sudbinu doživjeli “elementi” zrak i voda: zrak je prestao biti elementom otkrićem plinova (kisika, dušika, ugljikova dioksida), a voda analizom (elektrolizom) i sintezom iz elemenata.<sup>4</sup> Da je autor mogao zaviriti u budućnost, vidio bi da su i kemijski elementi “složene tvari” jer se mogu rastaviti na protone, neutrone i elektrone a ovi opet – prema standardnoj teoriji – na šest kvarkova i šest leptona,<sup>5</sup> pa stoga pojam elementa ovisi o snazi analitičke metode ili, točnije, o snazi reagensa kojim znanost raspolaže (toplina, kiselina, baza, elektron...). Toga su bili svjesni i pisci modernijih udžbenika, pa naglašavaju razliku između kemijskih i fizičkih metoda rastavljanja:

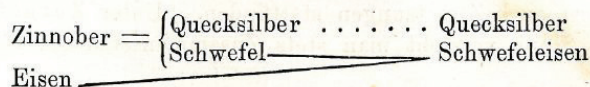
*Elementi dolaze kao sastavni dijelovi složenih tvari, i u slobodnom stanju stvaraju proste tvari, koje se ne mogu kemijski rastaviti niti dobiti spajanjem.<sup>6</sup>*

\* Dr. sc. Nenad Raos

e-pošta: [raos@imi.hr](mailto:raos@imi.hr)

\*\* “In certain languages, a clear distinction is made between the term ‘element’ and ‘elementary substance’. In English it is not customary to make such a nice distinction, and the word ‘atom’ is sometimes also used interchangeably with element or elementary substance. Particular care should be exercised in the use and comprehension of these terms.” (ref. 26). Latinska riječ *elementa* (množina od *elementum*) isprva je značila slova, prvi nauk u čitanju i pisanju, no isto tako početak, izvor i uzrok u drugim stvarima. Tek kasnije poprima značenje grčke riječi *stoicheion* – prirodna sila, stihija (elementarna nepogoda): vatra, voda, zemlja, zrak.

Bereits weiter oben wurde erwähnt, dass die Bestandtheile derjenigen chemischen Verbindung, die wir Zinnober nennen, Schwefel und Quecksilber seien. Wenn wir mit Zinnober unter geeigneten Bedingungen Eisen in Berührung bringen, so wird der Zinnober zersetzt, d. h. der Schwefel desselben vereinigt sich mit dem Eisen, da er zu diesem eine stärkere Verwandtschaft besitzt als Quecksilber, und letzteres wird daher in Freiheit gesetzt:



Zinnober und Eisen geben sonach einen Körper, der Schwefeleisen heisst, und Quecksilber.

Slika 1 – Shema analize i sinteze živina i željezova oksida iz elementarne tvari (ref. 3, str. 35)

Fig. 1 – Scheme of the analysis and synthesis of mercury and iron oxide from simple substances (Ref. 3, p. 35)

Živu i kiseonik ne možemo više hemiskim putem rastaviti u jednostavnije (prostije) materije (supstancije). Takve supstancije zovemo hemiskim elementima.<sup>7</sup>

Tim definicijama, a još više onoj Wibergovoj (“nikakvim uobičajenim fizikalnim i kemijskim metodama”)<sup>2</sup> ipak bismo mogli zamjeriti na cirkularnosti jer iz njih proizlazi da su “uobičajene metode” i “hemiski putevi” upravo oni postupci kojima se elementi ne mogu rastaviti na još jednostavnije tvari.

## Element kao nositelj svojstava

Ima jedna misao koja se provlači kroz nebrojne kemijske udžbenike, a to je da je otac teorije o elementima grčki filozof Empedoklo (oko 450 pr. Kr.) iz Akragasa na Siciliji. Prema njemu, postoje četiri elementa (*stoiheia*) – vatra, voda, zemlja i zrak – koji su nenastali, neuništivi i nepromjenjivi, no beskonačno djeljivi. Njih čas prijateljstvo (*filia*) spaja, čas neprijateljstvo, svađa (*neikos*) razdvaja. No sa zaključcima ipak ne treba ići predaleko. Empedoklova teorija daleko je od suvremene, atomističke teorije o elementima. To je prije svega zbog toga što grčki filozof negira postojanje praznog prostora, pa stoga i postojanje atoma (nedjeljivih čestica); spajanje (miješanje) elemenata objašnjava postojanjem pora.<sup>8</sup>

Oni koji su postavljali hipotezu o porama, znamo da ih nisu zamišljali praznima, nego punima neke tjelesne tvari sastavljene od finijih čestica, kao što je zrak. U tome su se naime razlikovali od onih koji su pretpostavljali postojanje praznoga (fr. 87).

Usto treba reći da je Empedoklo bio sljedbenik Pitagore, pa je Empedoklova teorija prirode opterećena mistikom brojeva njegova učitelja. Četiri elementa nisu izabrana zato što bi to najviše odgovaralo prirodnom stanju stvari (kineska alkemija poznaje primjerice pet elemenata: voda, zemlja, vatra, drvo i metal), nego zbog broja četiri, Pitagorina svetog broja (koji je, prema Jungu, arhetip cjelovitosti). Štoviše, Empedoklo daje svojim elementima mitska imena, identificirajući ih s božanstvima: Zeus (vatra), Hera

(zemlja), Had (zrak) i Nestis (voda).<sup>9</sup> No u učenju se grčkog filozofa nazire ideja povezivanja četiriju elemenata s četirima kvalitetama (toplo, hladno, suho i vlažno), koju će potom Aristotel dovesti do zrele teorije o naravni tvari.

Za Aristotela četiri elementa – voda, zemlja, vatra i zrak – nisu konkretne tvari, njegov zrak nije zrak koji udišemo niti je Aristotelova voda ona voda koju pijemo. Bit njegove teorije materije<sup>10</sup> je shvaćanje elemenata kao apstraktnih nositelja kvaliteta. Elemente tog grčkog filozofa stoga ne trebamo shvaćati u modernom smislu, kao nešto od čega je sve sastavljeno ili nešto na što se sve može rastaviti, nego kao definirana stanja materije. Materija (*hyle*) je za Aristotela ono u prirodi što daje mogućnost (grč. *dynamis*, lat. *potentia*) preobrazbe. Drugim riječima, materija je ono što pruža mogućnost da se nešto preobrazi u nešto drugo – baš kao što se od drvene građe (što je osnovno značenje riječi *hyle*) može sagraditi bilo koji i bilo kakav brod, premda drvena građa sama po sebi nije brod. No da bi materija prešla iz potencijalnosti u aktualnost, mora poprimiti odgovarajući oblik (grč. *morphe*, *eidos*, lat. *forma*).<sup>\*</sup> Aristotel pronalazi četiri temeljne, opipljive forme, temeljna svojstva svake tvari: toplo, hladno, vlažno i suho. Poprimi li materija svojstva topline i suhoće, postaje vatrom, poprimi li pak svojstva topline i vlažnosti, postaje zrakom, dok kombinacija hladnoga i suhoga daje zemlju, a hladnoga i vlažnoga vodu.

Elementi za Aristotela nisu, kao za Empedokla, nepromjenjivi. Oni prelaze jedan u drugi promjenom forme (npr. voda u zrak promjenom hladnoga u toplo). Elementi, kao i tvari, nastaju združivanjem materije i forme, oblikovanjem one prve posve bezlične materije, prativari, koju je Aristotel zvao *prote hyle* (prva tvar), a njegovi srednjovjekovni sljedbenici *materia prima*. No za grčkog filozofa *materia prima* kao takva ne postoji u prirodi, jer ništa ne može postojati a da nema neko svojstvo, neku formu. (Po tome se razlikovao od alkemičara koji su upravo u prativari vidjeli tvar koja najlakše poprima formu zlata.) Za Aristotela je *prote hyle* samo apstrakcija, ono neopipljivo što leži u korijenu svega

\* Materija i forma su, uz svrhu i načelo kretanja, Aristotelovi uzroci (*causa materialis*, *causa formalis*, *causa finalis* i *causa efficiens*).

opipljivoga. Stoga bi pratvar – a ne Aristotelovi elementi – bila bliža pojmu elementa kako ga danas shvaćamo. Element je ono što omogućuje tvari da bude ono što jest.

Aristotelova je teorija postala temeljem alkemije, ali ne u smislu njezina doktrinarnog prihvaćanja, nego u preuzimanju stava da je tvar nositelj kvaliteta<sup>11</sup> – element je nositelj osnovnih, da ne kažem elementarnih svojstava. Stoga, arapsku teoriju da se svi metali sastoje od žive i sumpora, ne smijemo shvaćati naivno, tj. u modernom smislu, naime tako da se spajanjem žive i sumpora može dobiti bakar ili željezo (alkemičari su se jamačno mogli i sami uvjeriti da to tako ne ide). Ono što se živino-sumpornom teorijom htjelo reći je da se metali razlikuju od drugih tvari po taljivosti i zapaljivosti, tj. mogućnosti oksidacije, ovapnjenja (kalcinacije). Živa je nositelj svojstva taljivosti (jer je stalno rastaljena i ne može se skrutnuti), a sumpor nositelj svojstva zapaljivosti, jer je to tvar koja se najlakše pali i najviše dimi. I Paracelsusova teorija o tri principa ili korijena tvari (*tria prima*) slijedi tu logiku: živa je princip žitkog i hlapljivog, sumpor upaljivog i gorivog a sol krutog i vatrostalnog (str. 360).<sup>4</sup>

Svojevrsnu razradu živino-sumporne teorije vidimo u djelu *Pretiosa margarita novella* (Skupocjeni novi biser) istarskog liječnika Petra Bona (Petrus Bonus), koje je napisano u Puli 1330. godine, no tiskano je istom u 16. stoljeću.<sup>12</sup> Prema Bonu ne postoji jedan sumpor, nego dva, vanjski i unutarnji. Vanjski je sumpor nečist, gust i zapaljiv, dok je unutarnji fin i nesagoriv te se nikada ne odvaja od žive. Ta mu je pretpostavka bila nužna kako bi živino-sumporna teoriju uskladio s učenjem o kamenu mudraca. Djelovanje tog “kemijskog reagensa” svodi se na čišćenje metala od vanjskog sumpora, da bi se potom unutarnji sumpor i živa sjedinili – budući da se slično spaja sa sličnim – i pretvorili u zlato. Iz toga slijedi zaključak: vanjski sumpor je (elementarna) tvar, a živa i unutarnji sumpor principi, dakle elementi.

## Element kao elementarna tvar

Shvaćanje elementa kao elementarne tvari dolazi nam s kemijom, točnije s prvim modernim kemijskim udžbenikom, Lavoisierovim *Treité élémentaire de chimie*, izdanim 1789. godine (str. 506 – 511).<sup>4</sup> U njemu nalazimo “tablicu jednostavnih tvari” (*Tableau des substances simples*), u kojoj autor navodi 35 tvari koje se ne mogu razložiti na jednostavnije (slika 2).

Uz 23 tvari koje danas smatramo elementarnim – kisik (*oxygène*), vodik (*hydrogène*), dušik (*azote*) uz sumpor (*soufre*), fosfor (*phosphore*), željezo (*fer*), srebro (*argent*), zlato (*or*) te druge metale i nemetale – nalazimo svjetlost (*lumière*) i toplinu (*calorique*) te tvari koje su očito kemijski spojevi. To su “zemljaste tvari od kojih se mogu prirediti soli” (*substances simples salifiables terreuses*). Riječ je o oksidima još nepoznatih elemenata: magnezija (*magnésie*), barija (*baryte*), aluminijska (*alumine*) i silicija (*silice*). Tu su još i “radikali” kiselina – klorovodične, fluorovodične i borne – dakle kiselina nemetala koji još nisu izdvojeni u elementarnom stanju. Lavoisier je bio svjestan privremenosti svoje tablice, njezine čisto empirijske naravi. “Te su tvari očito

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
Substances simples qui appartiennent aux trois règnes. & qu'on peut regarder comme les éléments des corps.	Lumière . . . . .	Lumière.
	Calorique . . . . .	Chaleur.
		Principe de la chaleur.
	Oxygène . . . . .	Fluide igné.
		Feu.
	Azote . . . . .	Matière du feu & de la chaleur.
		Air déphlogistiqué.
		Air empiréal.
	Hydrogène . . . . .	Air vital.
		Baŕe de l'air vital.
Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.	Gaz phlogistiqué.	
	Mofète.	
	Soufre . . . . .	Baŕe de la mofète.
		Gaz inflammable.
	Phosphore . . . . .	Baŕe du gaz inflammable.
		Soufre.
	Phosphore . . . . .	Phosphore.
	Carbone . . . . .	Charbon pur.
	Radical muriatique . . . . .	Inconnu.
	Radical fluorique . . . . .	Inconnu.
Radical boracique . . . . .	Inconnu.	
Antimoine . . . . .	Antimoine.	
Argent . . . . .	Argent.	
Arŕenic . . . . .	Arŕenic.	
Bismuth . . . . .	Bismuth.	
Cobalt . . . . .	Cobalt.	
Cuivre . . . . .	Cuivre.	
Etain . . . . .	Etain.	
Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.	Fer . . . . .	Fer.
	Manganèse . . . . .	Manganèse.
	Mercure . . . . .	Mercure.
	Molybdène . . . . .	Molybdène.
	Nickel . . . . .	Nickel.
	Or . . . . .	Or.
	Platine . . . . .	Platine.
	Plomb . . . . .	Plomb.
	Tungstène . . . . .	Tungstène.
	Zinc . . . . .	Zinc.
Substances simples salifiables terreuses.	Chaux . . . . .	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie . . . . .	Magnésie, baŕe du ŕel d'epsom.
	Baryte . . . . .	Barote, terre pesante.
	Alumine . . . . .	Argile, terre de l'alun, baŕe de l'alun.
	Silice . . . . .	Terre ŕiliceuŕe, terre vitrifiable.

Slika 2 – Tablica elemenata (jednostavnih tvari) iz Lavoisierova udžbenika *Treité élémentaire de chimie*, 1789.

Fig. 2 – Table of the elements (simple substances) from Lavoisier's textbook *Treité élémentaire de chimie*, published 1789.

sastavljene, iako se još ne zna narav principa (=elementa) koji je u njima spojen”, jasno je napisao.\*

Iz navedenog bi se moglo zaključiti da se francuski kemičar ne bavi elementom kao principom, nevidljivim nositeljem svojstava tvari. No nije baš tako. Njegova izvorna teorija gorenja pretpostavlja postojanje kisika (*oxygène*) kao “jednostavne tvari”, no samo postojanje plina u kojem tvari

\* Takav empirijski stav prema elementima nalazimo i kod Roberta Boylea (1627. – 1691.), kemičara koji se općenito smatra ocem suvremene definicije elementa (*The Sceptical Chymist*, 1661.). Iako je jasno kazao: “Tijela koja nisu načinjena od bilo kojih drugih tijela ili jedno od drugog, jesu sastojci od kojih su neposredno sastavljena sva takozvano savršeno pomiješana tijela (= kemijski spojevi) i u koja se konačno rastavljaju”, ipak nije sasvim odbacivao mogućnost transmutacije elemenata, pa je čak zagovarao zakon protiv alkemičara (ref. 4, str. 399. – 411.).

gore brže nego u zraku ne objašnjava proces gorenja. Plinoviti, reaktivni kisik sastoji se naime od “baze zraka” (*base de l' air*)<sup>13</sup> otopljene u “tvari vatre” (*matière de fu*), koja se oslobađa kemijskom reakcijom u obliku fluida svjetlosti i topline (kalorika), dok se “baza zraka” spaja s gorivom tvari. Stoga bismo mogli reći da je “baza zraka” element, a kisik (*oxygène*) elementarna tvar.

No kada se do kraja Lavoisierova “opća teorija gorenja” iščita do kraja, ne može se reći drugo nego da se tumačenje gorenja kao spajanja s kisikom temelji na vaganju i mjerenju, dakle na eksperimentu, dok je uvođenje “tvari vatre” i kemijskih elementa bez mase (svjetlosti i kalorika) samo pokušaj objašnjenja zašto se u kemijskoj reakciji oslobađa energija. Pri tome se Lavoisier oslanjao na tadašnje fizičke teorije, posebice teorije plinova pa je i sâm objašnjavao njihovu elastičnost i malu gustoću postojanjem “tvari vatre”. No pritom je očito bio nesvjestan činjenice da baš tako uvodi, na mala vrata, flogistonu teoriju koju je svojom novom teorijom gorenja pobijao.<sup>14</sup>

## Element i periodni sustav

Otkriće periodnog sustava elemenata izazvalo je mnoge kontroverze, ne samo zbog rivalstva Germana (Julius Lothar Meyer) i Slavena (Dmitrij Ivanovič Mendeljejev)<sup>15,16</sup> – iako su oba kemičara za to otkriće dobila Davyjevu medalju 1882. godine – nego i zbog mnogo istraživača koji su bili na tragu velikog otkrića (slika 3). Iako američki povjesničar znanosti Eric R. Scerri navodi čak šest suotkrivača periodnog sustava (A. E. Béguyer de Chancourtois, J. Newlands, W. Odling, G. Hindricks, uz spomenuta dva kemičara) te upravo u periodnom sustavu vidi primjer kolektivnog otkrića koje razvija znanost kroz evoluciju a ne revoluciju<sup>17,18</sup> (opirući se tako tezi Thomasa Kuhna),<sup>19</sup> ipak priznaje da je za otkriće periodnog sustava najzaslužniji Mendeljejev. Nije to samo zato što je ruski kemičar bio najuporniji u razvijanju i propagiranju periodnog sustava, niti zato što je predvidio postojanje dotad nepoznatih elemenata (galija, germanija i skandija), nego prije zbog toga jer je postavio teorijske temelje periodnog zakona. Te je temelje izložio u osam točaka,<sup>20</sup> od kojih je možda najvažnija ona peta (str. 746):<sup>4</sup> “Veličina atomske težine određuje narav elementa, baš kao što veličina molekule određuje narav složenoga tijela (kemijskog spoja).”

		O		N		H			
F	Cl	Br	I			Li	Na	K	
	S	Se	Te			Mg	Ca	Sr	Ba
	P	As	Sb			Be	Ce	La	
	C	B	Bi			Zr	Th	Al	
		Ti	Ta	W		Sn	Cd	Zn	
		Mo	V	Cr	U	Mn	Ni	Fe	
			Bi	Pb	Ag	Hg	Cu		
		Os	Ir	Rh	Pt	Pd	Au		

Slika 3 – Prva preteča periodnog sustava: Gmelinovo razvrstavanje elemenata, 1843. (ref. 28)

Fig. 3 – The first forerunner of the periodic system: Gmelin's system of the elements, 1843 (Ref. 28)

No bez obzira na navedene činjenice, pa čak i na eksplicitno formuliranje periodnog zakona,\* Scerri ističe kako je Mendeljejev došao do periodnog sustava zahvaljujući lucidnom razlikovanju pojmova elementa i elementarne tvari. Za ruskog kemičara element nije tvar, fizičko biće, nego unutarnja bit elementarne tvari. Zbog važnosti te teze ona zavrjeđuje citiranje u cijelosti, onako kako je objašnjena u Mendeljevjevom udžbenku:<sup>21</sup>

*Prikladno je u tom smislu napraviti jasnu razliku između pojma elementa, kao izdvojene homogene tvari, i kao materijalnog no nevidljivog dijela spoja. Živin oksid ne sadržava dva jednostavna tijela, plin i metal, nego dva elementa, živu i kisik, koji, kada su slobodni, jesu plin i metal. Niti se živa kao metal niti kisik kao plin nalaze u živinom oksidu; on sadržava samo supstanciju elemenata, baš kao što para sadržava supstanciju leda, ali ne i sam led, ili kao što zrno sadržava supstanciju sjemena iako nije sjeme.*

Jasno razlikovanja elementa (“nevidljivog dijela spoja”) od elementarne tvari (“izdvojene homogene tvari”) omogućila je Mendeljevju da postavi čvrst temelj periodnom sustavu. Jer periodni sustav nije sustav elementarnih tvari, nego baš elemenata – čija se “supstancija” očituje upravo u fizičkim i kemijskim svojstvima spojeva. (Živa je u živinom oksidu nevidljiva, baš kao što je željezo nevidljivo u oksidu željeza, no dva se oksida ipak razlikuju po svojstvima – upravo zbog različite naravi njihove metalne “supstancije”).

## Zaključak

Razlikovati element od elementarne tvari iz gledišta atomske teorije nije lako.<sup>22,23</sup> Kažemo li, jednostavno, da je elementarna tvar tvar sastavljena od istovrsnih atoma, dolazimo do (pre)široke definicije koja ne definira ništa drugo osim rezultata elementne analize. Ozon se vrlo razlikuje od molekularnog kisika (O<sub>2</sub>), da ne govorimo o bezbrojnim alotropskim modifikacijama ugljika (grafit, dijamant, grafen, fulereni, nanotubule...), za koje bismo mogli reći da otvaraju jedno novo i vrlo bogato područje kemije. Uključimo li u elementarne tvari još i atomske ione, jer i oni se sastoje od jedne vrste atoma, postaje nam jasnije čime su određena kako kemijska tako i fizička svojstva čiste tvari bez obzira na sastav. Očito je da svojstva i elementarne tvari i kemijskog spoja ne ovise samo o vrsti ili vrstama atoma od kojih su izgrađeni nego i o kemijskoj vezi među atomima ili – preciznije – o molekularnoj ili kristalnoj strukturi. No unatoč tome, “materijalni no nevidljivi dio” tvari (da citiramo Mendeljevjeva) ostaje nepromijenjen. Taj “materijalni no nevidljivi dio” je upravo atom, ili – točnije – njegova jezgra. Na to upućuje i službena, IUPAC-ova definicija kemijskog elementa: “1. Vrsta atoma; svi atomi s istim brojem protona u atomskoj jezgri (1. *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the*

\* Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов, находятся в периодической зависимости (или, выражаясь алгебраически, образуют периодическую функцию) от величины атомных весов элементов. (Svojstva jednostavnih tijela, a također forme i svojstva spojeva elemenata, nalaze se u periodičkoj ovisnosti (ili, izrazivši se algebarski, čine periodičnu funkciju) o veličini atomskih težina elemenata.), ref. 27.

atomic nucleus)",<sup>24</sup> iako puna definicija uključuje i značenje "elementa" kao elementarne tvari.\*

O naboju jezgre (protonskom broju) ovisi konfiguracija elektronskog omotača, a o elektronskoj konfiguraciji ovise pak sva kemijska i fizička svojstva atoma. Stoga bi prava definicija elementa bila "materijalna no nevidljiva" valna funkcija atoma određenog protonskog broja. Ili, drugim riječima, elementarna tvar je čista tvar homogenog sastava, dok pojam elementa ukazuje na mogućnost kemijskog spajanja. Time se moderna definicija elementa približava aristotelovskom pojmu materije (*hyle*), kao mogućnosti prihvaćanja (aktualizacije) forme. Da budem konkretniji a time i jasniji, reći ću da *hyle* Na može poprimiti *forme* Na<sub>2</sub>, NaCl, NaH, NaHCO<sub>3</sub> i još mnoge druge, no *potencija* Na ipak je ograničena njegovom elektronskom konfiguracijom, pa se stoga ne može aktualizirati u obliku NaO<sub>5</sub> ili NaFCl. Postoji dakako materija koja ima veću "sposobnost ostvarenja" od atoma natrija: od samo tri vrste materije – protona, neutrona i elektrona – mogu se napraviti atomi svih kemijskih elementa i dakako sve njihove kombinacije, svi kemijski spojevi. Mogli bismo reći da fizika danas teži onome čemu su težili alkemičari: pronaći pratvar (*materia prima*), materiju koja će se moći aktualizirati u svakoj formi. To bi bila interpretacija suvremene znanosti iz perspektive Aristotelove filozofije prirode (fizike).

Na kraju ovog članka treba reći da razlikovanje elementa od elementarne tvari nema samo praktično nego, još više, načelno, pravo rečeno filozofsko značenje. Stoga bi razmatranje tih pojmova na satu kemije bio dobar uvod u filozofiju znanosti, posebice filozofiju kemije, područja analitičke filozofije koje se tek počelo razvijati. Ujedno bi mogao biti dobar primjer kako je teško postavljati definicije u kemiji i prirodnim (egzaktnim) znanostima općenito. Strogo govoreći, definicije su moguće samo u matematici (apodiktički sudovi), ali ne i u empirijskim znanostima, znanostima koje se temelje na asertornim sudovima: labud je bijela ptica dok se ne pojavi crni labud. Definicije u znanosti podložne su stalnim promjenama budući da moraju biti u skladu s novim spoznajama, novim otkrićima. S obzirom na sve veći broj molekula sve raznolikije strukture umjesno je upitati se imaju li pojmovi kemijskog elementa i elementarne tvari onaj smisao, a posebice važnost za kemičara kakvu su imali u 19. stoljeću, kada su nastali. (Je li prikladna definicija elementarnih tvari kao "supstancija koje se ne mogu kemijskim putem rastaviti na jednostavnije komponente",<sup>25</sup> ako znamo da se kisik i ozon mogu rastaviti na atome, atomski kisik?) Ne bi li umjesto "spojevi" i "elementarne tvari" bilo primjerenije govoriti homogeni i heterogeni spojevi (molekule, ioni)?

\* "2. A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called the elementary substance as distinct from the chemical element as defined under 1, but mostly the term chemical element is used for both concepts." Tu su definiciju međutim kritizirali Portada i Stilinović (ref. 23) smatrajući da bi se pojam elementa trebao ograničiti na prvu definiciju.

## Literatura References

1. Z. Pinterović, Kemija za niže razrede srednjih škola, Nakladni odjel Hrvatske državne tiskare, Zagreb, 1942.
2. E. Wiberg, Anorganska kemija (prev. H. Iveković), Školska knjiga, Zagreb, 1967.
3. E. F. Gorup-Besanez, Lehrbuch der anorganischen Chemie, Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1873., str. 32.
4. D. Grdenić, Povijest kemije, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb, 2001., str. 453–484.
5. M. Grba, Fizika nakon čuda 1905., Alfa, Zagreb, 2016., str. 153–155.
6. V. N. Verhovski, Anorganska kemija za VI. razred gimnazije (prijevod s ruskoga), Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb, 1947., str. 45.
7. V. N. Njegovan, Osnovi hemije, Naučna knjiga, Beograd, 1965., str. 14.
8. H. Diels, Predsokratovci. Fragmenti. I. svezak, Naprijed, Zagreb, 1983, str. 279.
9. B. Bošnjak, Povijest filozofije, Knjiga prva, Nakladni zavod Maticice hrvatske, Zagreb, 1993., str. 126–129.
10. N. Raos, Pojam materije u grčkoj filozofiji (III): Aristotel, Nove Slike iz kemije. Priručnik kemije u nastavi. (ur. N. Raos), Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2004., str. 37–47.
11. N. Raos, Prevladavanje alkemijskog načina mišljenja, Kem. Ind. 65 (1-2) (2016) 65–68, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2015.020>.
12. S. Paušek-Badždar, Hrvatski alkemičari tijekom stoljeća, Školska knjiga, Zagreb, 2017., str. 79–100.
13. A. L. Lavoisier, Mémoire sur la combustion et général, Mem. Acad. Roy. Sci. (1777) 592–600; H. M. Leicester, H. S. Klickstein, A Source Book in Chemistry 1400 – 1900, Mc Graw Hill, New York, 1952., str. 168–174.
14. A. L. Lavoisier, Réflexiones sur la phlogistique pour servir de suit à la théorie de la combustion et la calcination, publiée en 1777, Mem. Acad. Roy. Sci. (1783) 505–538; H. M. Leicester, H. S. Klickstein, A Source Book in Chemistry 1400 – 1900, Mc Graw Hill, New York, 1952, str. 173–174.
15. N. Raos, Periodni sustav u Hrvata, Kem. Ind. 60 (12) (2011) 633–638.
16. N. Raos, Pan-slavism and the periodic system of the elements, Bull. Hist. Chem. 37 (1) (2012) 24–28.
17. E. R. Scerri, The Periodic Table. Its Story and Its Significance, Oxford University Press, Oxford, 2007., doi: <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9093-7>.
18. E. R. Scerri, The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery, Phil. Trans. Roy. Soc. A 373 (2015), doi: <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0172>.
19. T. S. Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions, Univ. Chicago Press, Chicago, 1970.
20. D. Mendelejeff, Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente, Z. Chem. 12 (1869) 405.

21. D. I. Mendeleev, *The Principles of Chemistry* (prijevod Д. И. Менделеев, Основы химии, 5. izdanje, vol. 1, 1889), 1<sup>st</sup> English trans., Collier, New York, str. 23.
22. C. Giomini, M. E. Cardinali, L. Cardellini, Simple and compounds: a proposal, *Chem. Int.* **27** (1) (2005) 18, doi: <https://doi.org/10.1515/ci.2005.27.1.18>.
23. T. Portada, V. Stilinović, Simple and compounds: another opinion, *Chem. Int.* **27** (5) (2005) 20, doi: <https://doi.org/10.1515/ci.2005.27.5.20a>.
24. IUPAC: Compendium of Chemical Technology (The Golden Book), 2<sup>nd</sup> Ed., Blackwell Science, 1997.
25. Lj. Grljić, M. Velimirović, *Kemija. Školski leksikon*, Panorama, Zagreb, 1965., str. 110.
26. G. J. Leigh, H. A. Favre, W. V. Metonimski, *Principles of Chemical Nomenclature – A Guide to IUPAC Recommendations*, Blackwell Science, 1998., str. 3.
27. Д. И. Менделеев, *Основы химии*, 3. izdanje, 1877, str. 847.
28. L. Gmelin, *Handbuch der anorganischen Chemie*, 4. izdanje, 1. sv. Heidelberg, 1843, str. 52.

## SUMMARY

### Elements and Elementary Substances

Nenad Raos

The concept of element in the broader sense has two meanings. The first is quite practical: the product of chemical analysis which cannot be further decomposed (elementary or simple substance). The second is speculative: the part of a compound which remains unchanged by chemical reaction. However, the concept of element has been operative even before the advent of modern chemistry, finding its representation in classical Greek elements (water, earth, air, and fire) and *tria prima* of iatrochemists (mercury, salt, and sulphur). A short history of the concept of element is presented, with special emphasis on the natural philosophy of Empedocles, Aristotle, Paracelsus, Petrus Bonus, as well as on the more modern views on the nature of elements contemplated by Boyle, Lavoisier, and Mendeleev. The concept of element in the light of atomic theory is briefly discussed, especially regarding the large number of carbon allotropes.

#### Keywords

*Chemistry education, history of chemistry, philosophy of chemistry, periodic system of the elements*

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

Professional paper  
Received January 11, 2019  
Accepted April 16, 2019