



KEMIJA U NASTAVI

Uređuje: Nenad Raos

Demokrit u nastavi kemije

N. Raos*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Ksaverska c. 2, P.O.B. 291, 10 001 Zagreb

|| Sažetak

Grčki filozof Demokrit iz Abdere poznat je kao osnivač atomizma, no tumačenje njegove filozofije u kemijskim udžbenicima je manjkavo; obično se prikazuje kako je došao do pojma atoma iz teze o nemogućnosti beskonačne djeljivosti umjesto, što je točno, kao rješenje paradoksalnog učenja o bitku Elejske škole. U članku se naglašava važnost Demokritova učenja o primarnim i sekundarnim kvalitetama koje čini metafizičku osnovu kemije. Autor ukazuje i na zastranjenja u nastavi do kojih dolazi ako se ne uspostavi čvrsta veza između svojstava atoma i molekula (primarnih kvaliteta) i svojstava tvari (sekundarnih kvaliteta).

|| Ključne riječi

Nastava kemije, grčka filozofija, atomizam, atomske orbitale

Uvod

O grčkom filozofu Demokritu jedno se uči na satu filozofije, a drugo na satu kemije. Da ovo pojasnim, navest ću tipične interpretacije njegove filozofije, onakve kakve nalazimo u našim udžbenicima:

Razmišljajući o građi tvari, Demokrit je zaključio da se svijet sastoji od dva dijela: punog i praznog. Ako bi se puni dio dijelio na sve sitnije i sitnije komadiće, došlo bi se do najsitnijeg djelića koji se dalje neće moći dijeliti.¹

Ili:

*Ipak, postavlja se pitanje: do koje se mjere može šećer usitnjavati na sve manje i manje čestice? Ima li tome kraja? Takva su pitanja postavili još prije 2 500 godina grčki filozofi. Demokrit je (470. do 380. godine pr. Krista) prihvatio Leukipovo učenje o atomima (oko 450. godine pr. Krista), razvio ga i primijenio na sve pojave u prirodi. On je zaključio da sve tvari moraju biti izgrađene od najmanjih, dalje nedjeljivih čestica, **atoma**.²*

Takvo tumačenje antičkog atomizma nalazimo u još radikalnijem obliku u znanstveno-popularnoj literaturi. Tako u svjetski poznatoj knjizi iz Disneyjeve produkcije "Moj pri-

jatelj atom" nalazimo Demokritovo razmišljanje u obliku fiktivnog samogovora:

Pogledajte! Drobeći ovaj grumen dobivam sve sitnije grumenje. Ako dalje mrvim najsitniji grumenčić, dobivam finu prašinu... Tvrdim da se te čestice sitnog praha mogu dalje usitnjavati – do daleko manjih, ali i da se takve čestice mogu usitniti do još sitnijih. Ako nastavim postupati tako, doći ću najzad do nekog kraja – u trenutku kad budem sveo materiju na njezine najmanje čestice, koje se više ne mogu dijeliti. Te najsitnije čestice ja nazivam atomima.³

Čitajući ovakve interpretacije, stječe se dojam da je Demokrit (i dakako Leukip) došao do ideje atoma kao rješenja jedne od četiriju Kantovih antinomija ("drugi sukob transcendentnih ideja u antinomiji čistoga uma"), one koja govori o nemogućnosti beskonačnog dijeljenja tvari. No tu je kvaka, jer upravo riječ "antinomija" govori da se tvrdnje ("ideje") o konačnoj (teza) i beskonačnoj djeljivosti tvari (antiteza) nalaze u sukobu koji se ne može razriješiti. Riječ je o tome da ni beskonačno djeljiva ni potpuno nedjeljiva čestica ne mogu biti predmet realnog iskustva, pa stoga ni predmet racionalne, razumske, a još manje znanstvene prosudbe. Isto je tako naime nemoguće zamisliti da se materija sastoji od nedjeljivih čestica (jer ne možemo zamisliti česticu koja se barem u mislima ne bi mogla dalje dijeliti), kao ni od beskonačno malih čestica (jer u tom slučaju materija ne bi zauzimala nikakav prostor). Već sama činjenica

DOI: 10.15255/KUI.2015.042

KUI-24/2017

Stručni rad

Prispjelo 14. rujna 2015.

Prihvaćeno 30. studenoga 2015.

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



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

da atom ima neku veličinu i oblik (jer da toga nema ne bi ga se moglo ni zamisliti), govori o mogućnosti njegovog dijeljenja.* Upravo je to dovelo do druge antičke atomističke filozofije, one Epikurove. Za Epikura su atomi, kao i za Demokrita, nedjeljive čestice, no one nisu nedjeljive zbog svoje "sićušnosti", nego zato što se u prirodi njihovo dijeljenje ne događa.

Atomizam kao rješenje paradoksa Elejskog bitka

Na svu sreću u literaturi nalazimo, i to ne samo onoj koju su pisali filozofi za filozofe, nego i kemičari za kemičare, ispravno tumačenje Demokritova atomizma.⁴⁻⁶ Demokrit nije naime bio prvi grčki filozof (poput Talesa, Anaksimena i drugih predstavnika Miletske škole), pa čak ni "predsokratovac", ako taj termin shvatimo kao filozofiranje dok grčka misao još nije sazrela do filozofskih sustava. Nema naime razloga, ni kronološkog ni metodološkog, da Demokrita ne smjestimo u sistematsko razdoblje grčke filozofije (kamo ga i smještaju neki povjesničari filozofije), dakle uz bok Platonu i Aristotelu. Razlog zašto ga ipak nalazimo među predsokratovcima možemo vidjeti u tome što su svi njegovi spisi izgubljeni (ostali su samo fragmenti), drugim riječima njegova se škola nije održala, za razliku od Platonove Akademije i Aristotelova Likeja.

Dakle, da dođemo do istine: Leukip i Demokrit nisu došli na misao o najsitnijim, nedjeljivim česticama na temelju umovanja o konačnosti i beskonačnosti dijeljenja (na što naročito navodi drugi citat), nego rješavajući paradoks o bitku, onako kako su ga shvaćali predstavnici Elejske škole (Ksenofan, Parmenid, Zenon, Melis). Osnivač te škole Ksenofan kaže "da je sve uvijek isto",⁷ dok Parmenid pak tvrdi da "bitak jest a nebitka nema".⁸ Drugim riječima, bitak je jedinstven i nepromjenjiv te – modernim riječima rečeno – izotropan, homogen, apsolutno kompaktna ("nema u sebi mjesta") i konačan ("omeđen").⁹ Ako je tomu tako, postavlja se logično pitanje, kako je onda moguća bilo kakva promjena u prirodi?

Promjena je moguća, tu dolazimo do sukusa Demokritove filozofije, ako pretpostavimo uz postojanje bitka i postojanje nebitka (za koji Parmenid kaže da je "nespoznatljiv" jer "ne možeš spoznati ono što nije moguće ni izreći").⁸ No

* Da malo pojasnim svoju interpretaciju druge Kantove antinomije, onako kako ju je filozof sam obrazložio u "Kritici čistoga uma" (*Kritik der reinen Vernunft*, 1787.). Nasuprot tezi "Svaka složena supstancija u svijetu sastoji se od jednostavnih dijelova, te svugdje postoji samo ono što je jednostavno ili što je iz njega sastavljeno" stoji antiteza "Nijedna složena stvar u svijetu ne sastoji se od jednostavnih dijelova te u njemu uopće ne postoji ništa jednostavno." Iz antiteze proizlazi da "postojanje onoga što je posve jednostavno ne može se dokazati nikakvim iskustvom ili opažanjem, bilo vanjskim bilo unutrašnjim, te je, dakle, apsolutno jednostavno samo ideja čiji se objektivni realitet nikada ne može dokazati ni u kojem mogućem iskustvu..." Drugim riječima o atomima (onim kemijskima) možemo govoriti samo zato što nisu "nedjeljivi" (= apsolutno jednostavni), nego imaju strukturu. Ima i potpuno nedjeljivih čestica, onih koje u fizici zovemo materijalnim točkama. No te su čestice čista matematička apstrakcija, a ne realna fizička bića (materijalna točka može biti elektron, atom, ali i planet u Sunčevu sustavu!)

nebitak za Demokrita nije nekakva apstrakcija, nego fizička realnost – prazan prostor, praznina, vakuum, u kojem se bitak ("atomi") kreće. Drugim riječima atomi zadržavaju karakter Parmenidova bitka (jer su nepromjenjivi, homogeni, kompaktni itd.), no upravo postojanje praznog prostora (nebitka) omogućava sve promjene, pa stoga i prirodne pojave. (Na to donekle ukazuje prvi citat iz udžbenika, no iz njega nije jasno kako je Demokrit došao do toga "da se svijet sastoji od dva dijela: punog i praznog".¹⁾

Učenjem o atomima Demokrit je pomirio s jedne strane učenje o nepromjenjivosti bitka, a s druge očit zahtjev da teorija, ma kako spekulativna bila, mora objasniti promjenjivost bića. No postoji još jedan dublji sloj njegove filozofije o kojemu se, nažalost, ništa ne čuje na satovima kemije. Njega se može iščitati iz možda najvažnijeg Demokritova fragmenta:

*Po mnijenju boja, po mnijenju slatko, po mnijenju gorko, a zapravo (uistinu) atomi i prazan prostor.*¹⁰

Na tom fragmentu, na toj rečenici počiva čitava kemija.

Primarne i sekundarne kvalitete

Od Demokrita, točnije od učenih ljudi koji su još imali prilike čitati njegove spise, možemo malo saznati kako je zamišljao svoje atome. Znamo, po Aristotelu, da bi se oni trebali razlikovati oblikom, redom i položajem.¹¹ Ciceron je u tome određeniji, smatrajući da se Demokritovi (možda baš Epikurovi?) atomi pojavljuju u mnoštvu oblika (glatki, hrapavi, obli, uglasti, kukasti)¹² – no takve spekulacije nemaju nikakve vrijednosti ni važnosti. Ono što je bitno u čitavom antičkom atomizmu – od Leukipa i Demokrita, do Epikura i izlagača njegove filozofije Tita Lukrecija Kara – jest da postoje dva reda stvari. Jedne su dostupne osjetilima, druge nisu. One prve – da se vratimo na citirani fragment – spoznajemo "po mnijenju", a one druge koje postoje "uistinu", filozofskom spekulacijom. Između tih dviju stvarnosti, između ta dva reda bića, postoji veza: njihova su svojstva, kvalitete, posve različite, no one su – da se poslužimo suvremenim jezikom – korelirane. Atomi daju boju, slatkoću i gorčinu, ali sami po sebi nemaju ni boje ni okusa.

To je temeljno učenje koje možemo iščitati iz Demokritove filozofije i iz čitavog antičkog atomizma. Postoje primarne i sekundarne kvalitete. Primarne kvalitete pripadaju atomima, a sekundarne makroskopskim, osjetilnim objektima. Na toj se i takvoj predodžbi fizičke realnosti temelji i kemija.

Zaključak

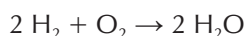
Postoje dvije stranputice u tumačenju Demokritova atomizma. Prva je da se na njega gleda kao na ispraznu spekulaciju bez ikakve znanstvene osnove. Druga je stranputica da se u tom grčkom filozofu vidi vizionara, koji je ("genijalnom

intuicijom”) vidio ono što drugi nisu uspjeli vidjeti gotovo dva tisućljeća.

Jasno je kako Demokrit ne samo da nije mogao dati nikakav dokaz svojoj teoriji nego je i ono što je rekao o atomima bilo krajnje naivno. Stoga se njegov atomizam nikako ne bi mogao smatrati znanstvenom teorijom. Toga su bili svjesni i učeni ljudi njegova vremena, pa je to bio osnovni razlog zašto “sramotno” (Ciceron) učenje o atomima u antici nije zaživjelo. Tko da povjeruje kako postoje nekakve čestice od kojih je “postalo nebo i Zemlja bez ikakve prisile prirode, već nekakvim slučajnim sticajem”¹² ili – još gore – teško je Demokrita shvatiti ozbiljno jer “razglaba o uzrocima nasumice i nesuvislo, polazeći od šupljeg počela i klimave pretpostavke”.¹³ Očito je da i druga tvrdnja, ona o Demokritovu “vizionarstvu”, pada u vodu, jer se njegovo “vizionarstvo” temelji na čistom slučaju. Teorija koja se ne može dokazati u znanosti ne vrijedi ništa. Štoviše, grčka teorija o atomima nije bila ni toliko produktivna da bi ukazivala na moguća rješenja i otvarala nova pitanja. Ona je sve do obnavljanja atomizma u 17. stoljeću bila tek jedna od mnogih filozofskih spekulacija, bez ikakve znanstvene vrijednosti.

Stoga u Demokritovom atomizmu nikako ne bismo smjeli gledati ni znanstvenu hipotezu, a kamoli teoriju. To je prije svega metafizičko stajalište o postojanju materijalne stvarnosti nedostupne osjetilima o kojoj ovisi sve ono što je osjetilima dostupno. Takva je metafizika temelj i kemije, pa upravo u tom smislu treba učenicima prikazati antički atomizam.

Osnovni problem u učenju kemije upravo je teškoća shvaćanja veze između primarnih kvaliteta (koje pripadaju atomima i molekulama) i sekundarnih kvaliteta, onoga što učenici vide u svakodnevnom životu ili (nažalost vrlo rijetko) na satu kemije. Uzmimo za primjer jednadžbu:



Simboli očito predstavljaju atome i molekule, osjetilima posve nedostupne čestice. (Pustimo na stranu konstitucijske formule i druge načine predočavanja, to nisu atomi i molekule nego njihovi modeli.)** Atomi i molekule, znamo, imaju masu. No masu jednog atoma ne možemo osjetiti, a još manje možemo vidjeti što se događa s dvije molekule vodika i jedne molekule kisika da bi nastale dvije molekule vode. Ono što možemo vidjeti je plamen vodika u zraku ili čistom kisiku, svejedno, i stvaranje kapljica vode.

Možemo vagati mase reaktanata i produkata, mjeriti njihove obujme, no to nam sve samo po sebi ne govori baš ništa o atomima i molekulama. Vezu između kemijskih promjena i promjena na razini atoma i molekula može dati tek sustavno učenje kemije. Štoviše, nema smisla učiti kemiju ako se ne izgradi “zlatni Demokritov most” između primarnih i sekundarnih kvaliteta, između našeg svijeta i svijeta atoma i molekula. Bez tog se “mosta” učenje kemije svodi

** Treba znati da model nikada nije istovjetan svome objektu, nego samo opisuje neka njegova obilježja. Fotografija automobila nije isto što i automobil, no za razliku od atoma automobil možemo vidjeti, možemo ga opipati i na kraju krajeva u njemu se voziti. Više o modelima u kemiji vidi ref. 17 i 18.

na isprazno bubanje nerazumljivih formula i jednadžbi, nakon čega učenik izlazi iz škole s mišlju da je kemija besmislena djelatnost ili pak nešto za svladavanje čega nije dovoljna obična ljudska pamet. (“Neima može biti znanosti, koja bi bila, u obće govoreć, po svakoga korisnija od lučbe, pak opet neima znanosti, od koje bi svijet tako zazirao, kako od lučbe.”¹⁴ Ova rečenica iz prve hrvatske znanstveno-popularne knjige iz kemije vrijedi, nažalost, i danas. I odgovor na pitanje, koje autor potom postavlja, “Što je tomu uzrok?”, očit je njemu kao i nama. Kemiju nije moguće razumjeti bez atoma i molekula.)

Stoga se ne bi trebalo učiti ništa iz kemijske teorije što se ne bi moglo povezati s nekom pojavom, s nekim pokusom. I obrnuto: ne bi se smio raditi nijedan pokus ako ga se ne bi moglo objasniti procesom na atomskoj razini. Negativan primjer u tom smislu je učenje atomskih orbitala, koje učenik ne može povezati ni s elektronskim niti s fotoelektronskim spektrima (jer se to u školi ne uči), pa čak ni s kemijskom vezom u kompleksnim spojevima (koji se u školi ikako ili nikako ne spominju). Misao da se periodni sustav elemenata može izvesti iz energije ionizacije, dočim atomskih spektara,¹⁵ posve je strana našem učeniku, a žalibog i nastavniku. To je još jedan tužan primjer pretvaranja kemije iz prirodne znanosti u okultnu nauku, skoro pa alkemiju.¹⁶ Do toga dolazi zato što se silazi s njezine metafizičke osnove, osnove koja je sadržana u jednoj jedinjoj Demokritovoj rečenici: “Po mnijenju boja, po mnijenju slatko, po mnijenju gorko, a uistinu atomi i prazan prostor.”

Literatura References

1. M. Herak, B. Sever, B. Zdjelarević, Kemija oko nas. Udžbenik za 1. razred strukovnih škola s jednogodišnjim programom kemije, Profil, Zagreb, 2012., str. 3.
2. M. Sikirica, Kemija 7. Udžbenik za 7. razred osnovne škole, Školska knjiga, Zagreb, 2001., str. 55.
3. H. Haber, Moj prijatelj atom. Priča Volta Diznija (The Walt Disney Story of Our Friend the Atom by Heinz Haber), Savremena škola i Školska knjiga, Beograd i Zagreb, 1962., str. 30.
4. D. Grdenić, Povijest kemije, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb, 2001., str. 132–134.
5. N. Raos, Atomism in Greek philosophy, Kem. Ind. 51 (2002) 385–392.
6. N. Raos, Pojam materije u grčkoj filozofiji(III): atomizam, u N. Raos (ur.), Nove Slike iz kemije, priručnik kemije u nastavi, Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2004., str. 25–36.
7. H. Diels, fr. A32 (Ksenofan), Predsokratovci. Fragmenti, I. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 125.
8. H. Diels, fr. B2 (Parmenid), Predsokratovci. Fragmenti, I. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 208.
9. H. Diels, fr. A23 (Parmenid), Predsokratovci. Fragmenti, I. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 198.
10. H. Diels, fr. B125 (Demokrit), Predsokratovci. Fragmenti, II. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str.165.
11. H. Diels, fr. A6 (Leukip), Predsokratovci. Fragmenti, II. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 73.

12. *H. Diels*, fr. A11 (Leukip), *Predsokratovci. Fragmenti*, II. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 76.
13. *H. Diels*, fr. B118 (Demokrit), *Predsokratovci. Fragmenti*, II. sv., Naprijed, Zagreb, 1983., str. 163.
14. *B. Šulek*, *Lučba za svakoga ili popularna kemija*, Matica hrvatska, Zagreb, 1881., str. 3.
15. *P. Vrkljan*, *Građa atoma i periodni sustav elemenata*, u N. Raos (ur.), *Nove slike iz kemije, priručnik kemije u nastavi, Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo*, Zagreb, 2004., str. 253–271.
16. *N. Raos*, *Prevladavanje alkemijskog načina mišljenja*, *Kem. Ind.* **65** (1-2) (2016) 65–68, doi: <https://doi.org/10.15255/KUI.2015.020>.
17. *M. Mintas, S. Raić-Malić, N. Raos*, *Načela dizajniranja lijekova*, Hinus, Zagreb, 2000., str. 68.
18. *C. Trindle*, *The hierarchy of models in chemistry*, *Croat. Chem. Acta* **57** (1984) 1231–1245.

SUMMARY

Democritus in the Teaching of Chemistry

Nenad Raos

The Greek philosopher Democritus is well known as the founder of the first atomistic theory, but his philosophy has not always been interpreted correctly in chemistry textbooks; it is taken for granted, without historic argument, that his atomism stems from the thesis of the impossibility to divide matter *ad infinitum*. The truth is, however, that he invented atoms as an answer to the problem of paradoxical Eleatic being. The utmost value of Democritus's philosophy for chemistry is in his teaching of primary and secondary qualities, the former belongs to atoms, the latter to things. That teaching provides a metaphysical basis for chemistry, the neglectance of which could lead to the misunderstanding of chemical processes. Therefore, the teacher needs to establish a strong relation between primary and secondary qualities, *i.e.* the properties of atoms/molecules, and the properties of substances.

Keywords

Chemistry education, Greek philosophy, atomism, atomic orbitals

Institute for Medical Research and Occupational Health, Ksaverska c. 2, P.O.B. 291, 10 001 Zagreb, Croatia

Professional paper
Received September 14, 2015
Accepted November 30, 2015