



Pouke flogistonske teorije

DOI: 10.15255/KUI.2015.019
KUI-18/2015
Stručni rad
Prispjelo 26. ožujka 2015.
Prihvaćeno 7. travnja 2015.

N. Raos*

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

|| Sažetak

Povijesno gledano, postoje tri tumačenja gorenja: otpuštanje flogistona od tvari koja gori (flogistonska teorija), spajanje s kisikom (Lavoisierova teorija) i prijenos elektrona s tvari koja se oksidira na tvar koja se reducira (teorija redoks procesa). Između tih teorija mogu se povući usporedbe, pa se flogiston može razumjeti ili kao elektron ili kao slobodna (Gibbsova) energija. Razgovor o primjerenosti takvih usporedbi može biti dobra školska vježba, kako za bolje razumijevanje redoks procesa tako i za shvaćanje naravi znanstvenih teorija.

|| Ključne riječi

Teorije gorenja, povijest kemije, kemijsko obrazovanje, flogiston, redoks procesi

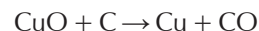
Uvod

Korijene flogistonske teorije^{1–5} možemo tražiti u arapskoj teoriji metala (koja opet vuče podrijetlo od Aristotela), prema kojoj se svi metali sastoje od dva “principa” – žive i sumpora (koje nikako ne smijemo brkati s istoimenim kemijskim elementima). Princip žive daje kovinama taljivost, a princip sumpora zapaljivost (danas bismo rekli sposobnost da budu oksidirani). Takva je predodžba bila utemeljena na svakodnevnom iskustvu: gorenjem tvari nešto iz nje nestaje, nešto izgori, a nešto ostane. To nešto što gori je zapaljiva tvar ili – u alkemičarskoj terminologiji – princip gorenja.

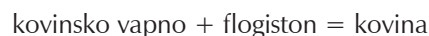
Takvo je viđenje procesa gorenja doživjelo svoj puni procvat u 17. stoljeću. Kritizirajući Paracelsusovu teoriju triju principa (*tria prima*), naime da se sve tvari sastoje od žive, sumpora i soli (*mercurius, sulphur, sal*), njemački dvorski liječnik *Johann Joachim Becher* (1635. – 1682.) postavlja 1669. godine sličnu teoriju o tri zemlje. Prva je *terra vitrea (lapidia)*, staklena ili kamena, druga je *terra mercurialis*, živina, a treća *terra pinguis*, masna zemlja. Upravo ta posljednja, masna zemlja daje tvarima svojstvo gorivosti, zbog nje neke tvari mogu, a druge ne mogu gorjeti.

Becherovu teoriju dovodi do punog sjaja *Georg Ernst Stahl* (1659. – 1734.), profesor medicine na Sveučilištu u Halleu.

Stahl navodi primjer dobivanja kovine iz njezina vapna (oksida) i sumpora iz sumporne kiseline ukazujući da je riječ o istovjetnom procesu. U tim procesima, kao i u svim procesima slične naravi, sudjeluje još jedan sastojak kojeg Stahl naziva flogiston (grč. zapaljiv). Na toj je pretpostavci 1697. godine uspostavio prvu znanstvenu teoriju gorenja, prema kojoj se svaki proces oksidacije može razumjeti kao otpuštanje, a svaki proces redukcije kao primanje flogistona. Jednostavno rečeno, reakciju redukcije bakrova(II) oksida ugljenom:



pristalice flogistonske teorije vide kao prijelaz flogistona z ugljena na bakrovo vapno, pri čemu se vapno (*calx*) pretvara u kovinu:



Stahl je uspio sve pojave gorenja svesti, i to bez pozivanja na mistične sile, na isti nazivnik. Stoga je flogistonska teorija u pravom smislu znanstvena teorija, čak u tolikoj mjeri da ju *Immanuel Kant* (1724. – 1804.) u predgovoru drugog izdanja *Kritike čistoga uma* (1787.) stavlja uz bok Galilejevim i Torricellijevim otkrićima u fizici. Pa iako se suočila s problemima i nedoumicama, prije svega kako to da neke tvari (npr. drvo) smanjuju, a druge (kovine) povećavaju težinu pri gorenju, uskoro su je prihvatili gotovo svi kemičari. Drugi je problem bio sam flogiston. Što je to? Je li to tvar, a ako jest kakva je to tvar? Stahl smatra da je flogiston “prin-

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

cip koji je u slobodnom stanju neelastičan i sasvim suh, te se ne može spoznati osjetilima", dok drugi smatraju da nema težine ili čak da je njegova težina negativna.¹

Godine 1766. Henry Cavendish (1731. – 1810.) opisuje vodik, "zapaljivi zrak iz kovina" pa isprva smatra kako je uspio dobiti čisti flogiston. (Zanimljivo je da je do iste pretpostavke, čak nešto prije Cavendisha, došao i Mihail Vasiljevič Lomonosov (1711. – 1765.). Cavendish to potkrepljuje četverim svojstvima novoga plina: 1.) zapaljivi zrak gori i ne ostavlja pepeo, 2.) u spoju s kovinskim vapnima daje samo kovinu, 3.) otapanjem kovine u kiselini potpuno se oslobađa, pri čemu nastaje kovinsko vapno i 4.) kovinsko vapno se spaja s kiselinama, ali se ne oslobađa flogiston. Tu je pretpostavku napustio tek nakon je otkrio da gorenjem "zapaljivog zraka" nastaje voda, pa iz toga zaključuje da je zapaljivi zrak spoj vode i flogistona.

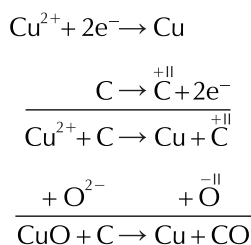
Iako je Priestlyjevo otkriće kisika navelo Antoineta Lavoisiera (1743. – 1794.) da uspostavi modernu teoriju gorenja, sam se Joseph Priestley (1733. – 1804.) sve do svoje smrti držao flogistonske teorije smatrajući da je kisik deflogistonirani zrak.⁶⁻⁸ U sukob flogistonske i nove, Lavoisierove teorije upleo se još i nacionalni ponos, pa su se Nijemci tvrdoglavo držali Stahlove teorije, pokušavajući je na svaki način održavati u životu.^{1,9}

Suvremene interpretacije

Iako je flogistonska teorija posve napuštena već u 19. stoljeću, neki još i danas misle da je se može braniti. Tako u hrvatskoj Wikipediji možemo pročitati:

Iako su kemičari napustili ideju flogistona, flogistonska teorija nije u potpunosti netočna: atomi u reakcijama gube ili dobivaju elektrone. Kemičari su proučavanjem tvari došli do zaključka o postojanju elektrona, prije njegovog otkrića kao elementarne čestice.¹⁰

To je lako razumjeti. Već spomenutu reakciju redukcije bakrova(II) oksida ugljikom možemo napisati:



pa stoga flogiston možemo izjednačiti s elektronom: kazati da kovinsko vapno prima flogiston isto je što i reći da bakrov oksid prima elektrone. Flogiston nema težinu jer je masa elektrona zanemariva prema masi atoma. S druge pak strane vidimo da je uloga kisika u navedenoj reakciji sasvim sporedna. On služi samo za zasićivanje valencije atoma.

Reakcije redukcije i oksidacije ne uključuju, razumije se, samo reakcije s kisikom (oksidacije) nego i sve reakcije pri kojima dolazi do prijenosa elektrona. Slično bi se moglo

reći i za reakcije u kojima sudjeluje flogiston, jer je ta tvar ili princip, po Stahlu, ne samo *motus ignis* (pokretačka snaga vatre) nego i *motus caloris* (pokretačka snaga topline). Flogiston se nalazi u sva tri zemaljska carstva (biljnom, životinjskom i mineralnom), pa je jasno da se njegovom "pokretačkom snagom" ne objašnjavaju samo procesi gorenja. "Flogiston se ne sastoji od vatrenih čestica, nego je njihova pokretačka snaga", kaže Stahl, pa stoga flogiston možemo smatrati osnovnom silom, temeljnim agensom koji pokreće kemijske promjene. Isto bismo mogli reći i za elektrone (ili točnije, gradijente električnog polja oko iona, atoma i molekula), pa i za slobodnu (Gibbsovu) energiju, kako flogistonsku teoriju razumije Vladimir Njegovan (1884. – 1971.): "Ono što su nekada zvali flogiston, zovemo danas 'slobodna energija'".¹¹ To mišljenje dijeli i Egon Wiberg, koji flogiston smatra ekvivalentnim suvremenom pojmu "oslobodena energija".¹² Slična razmišljanja nalazimo i drugdje.^{13,14}

Gledajući tako, vidimo da Lavoisierova i Stahlova teorija govore o istoj kemijskoj pojavi, ali s dva gledišta. Dok Lavoisier vidi u kemijskoj promjeni kemijsku reakciju (nešto se spaja s nečim), Stahl vidi proces: nešto prelazi s jedne tvari na drugu. Kako kemija procesa zahvaća dublje u narav kemijskih promjena od kemije reakcija, Stahlova je teorija temeljnija od Lavoisierove. Ili nam se barem tako čini.

Narav znanstvenih teorija

Izraz "flogistonska teorija nije u potpunosti netočna" nama nepoznatog pisca članka o flogistonu za hrvatsku Wikipediju¹⁰ ukazuje na njegovo nerazumijevanje naravi znanstvenih teorija. Teorije ne mogu biti "točne" ili "netočne" nego samo bolje ili gore. Riječ teorija dolazi naime od grčke riječi *theoria*, koja izvorno označi gledanje, pa bismo za teoriju hrvatski mogli reći i saglednica. No kako god tu grčku riječ preveli, ona označava ono što se s nekog gledišta vidi. Sa svakog gledišta gledamo fizičku stvarnost i nešto u njoj vidimo. Neke teorije vide dalje i bolje, druge vide slabije – ali svaka teorija nešto vidi. Stoga bi se teško moglo i za jednu znanstvenu teoriju reći da je "netočna".

Podudarnost stare teorije s novom ne znači mnogo, jer podudarnost može biti i posve slučajna. Prema indijskoj mitologiji sve što postoji nastalo je od "jednog" (*brahman*), što ne znači da su Indijci u staro doba znali za teoriju velikog praska (*big bang*). Nije dovoljno ni to da teorija nešto tumači. Uzrok sijevanju munja možemo tražiti i u Zeusovom gnjevu ili, novije, u kolima svetog Ilije koja on gura tamo "gdje sve vrvi od Božjih pandura". Nama takvo tumačenje meteoroloških pojava može biti naivno i djetinjasto, no ono je bilo prihvatljivo ljudima koji su živjeli prije nas. Uvjerljivost teorije nije dokaz njezine ispravnosti.

No da konačno dodemo do bitnoga: da bi znanstvena teorija bila dobra, ona prije svega mora biti produktivna. To znači ne samo da mora tumačiti dosadašnje eksperimente nego i predlagati buduće – bilo one koji će je potvrditi, bilo one koje će je pobiti. Flogistonska je teorija bila produktivna jer je predviđala reakcije između flogistonom bogatih i flogistonom siromašnih tvari. Bila je i prva objedinjavajuća teorija u kemiji jer je objedinila procese običnog gorenja

(drva), kalcinaciju (oksidaciju) i redukciju metala te proces disanja. Mogla je reći i što će s čime reagirati (teorija kemijskog afiniteta), pa čak i koliko će reakcija biti burna. Dalje od toga nije išla. Njezina je međutim najveća produktivnost bila u postavljanju pitanja o naravi flogistona, pa kad se ona ni na koji način nije mogla utvrditi, stvorena je podloga za novu, Lavoisierovu teoriju gorenja. Ta se teorija zasniva na davanju važnosti pojmu težine (mase) u kemiji, nedugo nakon što je na toj veličini Newton zasnovao fiziku. Taj se novi pojam u kemiji, bolje rečeno nova kemijska paradigma¹⁵ pokazala nadasve plodonosnom: zahvaljujući masi, bilo je moguće revitalizirati antičku (prije svega Epikurovu) atomsku teoriju, što je 1808. godine dovelo do kemijskog atoma *Johna Daltona* (1766. – 1844.), a kasnije, 1869. godine, i do periodnog sustava elemenata *Dmitrija Ivanoviča Mendeljejeva* (1834. – 1907.).¹⁶

Unatoč sličnosti flogistona s elektronom i analogije između Stahlove teorije i suvremene teorije redukcije i oksidacije, ova druga teorija nije izvedena iz prve niti je prva teorija utjecala na razvoj druge, kako sugerira spomenuti članak u Wikipediji. Povezivanje redoks procesa ("gorenja") s prijenosom električnog naboja zahvaljujemo galvanom članku, napravi koju je 1800. godine izumio *Alessandro Volta* (1745. – 1827.), a otkriće elektrona istraživanju protoka električne struje kroz evakuirane cijevi krajem 19. stoljeća. (Najvažniji je na tom polju doprinos *Williama Crookesa* (1832. – 1909.), koji je 1874. godine izazvao skretanje kanalnih zraka u magnetskom polju.) Suvremena teorija redukcije i oksidacije proizašla je dakle iz novootkrivenih prirodnih pojava, a ne iz pokušaja obrane Stahlove teorije.

Primjena u nastavi

Mislim da nastavnik treba dati usporedbu flogistonske teorije sa suvremenim teorijama oksidativno-reduktivnih reakcija, kako sugerira članak u Wikipediji, no pri tome treba zauzeti kritički stav. Usto mu to može biti prilika da uđe malo dublje u narav znanstvenih teorija. Štoviše, upravo primjer triju teorija oksidacije (flogistonska, kisična i elektronska) ilustrira učeniku na razumljiv i zanimljiv način put razvoja znanstvene misli i ukazuje mu na značenje teorije u znanosti. Tu temu treba iskoristiti kako bi se učenicima ti pojmovi pojasnili, ne samo radi kemijskog obrazovanja nego i radi opće znanstvene kulture. Pomoglo bi im se da ne upadnu u zamke pseudoznanosti te ih se naučilo kritički misliti, što je konačni cilj svakog prirodnoznanstvenog obrazovanja.

Nakon što nastavnik ukratko izloži sve tri teorije, bilo bi najbolje da pita učenike što misle o rečenici (koju su pročitali na internetu) "Iako su kemičari napustili ideju flogistona, flogistonska teorija nije u potpunosti netočna: atomi u reakcijama gube ili dobivaju elektrone." Neki će se učenici s tom tvrdnjom složiti, drugi neće, pa bi bilo dobro između te dvije skupine zametnuti raspravu. Pri tome bi trebalo skrenuti pozornost na sljedeća pitanja:

- 1.) Zašto neke tvari gube masu pri gorenju, a druge je dobivaju?
- 2.) Što sve prelazi s bakra na ugljik, ili s ugljika na bakar, pri redukciji bakrova(II) oksida ugljenom?

- 3.) Masa čega se mijenja, a čega se ne mijenja u spomenutoj reakciji?
- 4.) Što znači da se CuO, a što da se Cu²⁺ reducira u reakciji bakrova(II) oksida s ugljenom?
- 5.) Da li se ugljen oksidira ili reducira u toj reakciji?
- 6.) Zašto svaki proces redukcije mora biti popraćen procesom oksidacije?
- 7.) Može li se iz flogistonske teorije izvesti teorija redoks procesa kao procesa u kojima dolazi do prijenosa elektrona?
- 8.) Može li se ta teorija izvesti iz Lavoisierove teorije gorenja (=spajanje s kisikom)?
- 9.) Postoje li redoks procesi u kojima ne dolazi ni do kakve kemijske reakcije (tj. kemijskog spajanja)?

Izvođenje rasprave o flogistonu može se provesti i tako da se malim skupinama od 2 – 3 učenika dade zadatak da prouče povijest i tumačenja flogistonske teorije, pa da onda o tome referiraju. Druga je mogućnost da o tome napišu referat ili izrade poster.

Zaključak

Suvremene je teorije teško razumjeti ako se barem ugrubo ne poznaje povijest njihova nastanka, posebice pokusa koji su do njih doveli i pitanja koja su iz njih proizašla. Stoga učenike treba upoznavati s najvažnijim događajima i otkrićima u kemiji te ih navoditi da sami izvode zaključke i iznose mišljenja o povijesnim eksperimentima i teorijama, pa i onima odbačenima.¹⁷ Dobro bi ih bilo poticati na čitanje djela iz povijesti kemije, posebice onih popularnih.^{18–20}

Literatura References

1. S. Paušek-Baždar, Flogistonska teorija u Hrvata, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 1994.
2. D. Grdenić, Povijest kemije, Školska knjiga i Novi Liber, Zagreb, 2001., str. 427–452.
3. H. Chang, The hidden history of phlogiston. How philosophical failure can generate historiographic refinement, *Hyle* **16** (2) (2010) 47–79 (www.hyle.org/journal/issues/16-12/chang)
4. D. Allchin, Rekindling phlogiston, URL: <https://www1.umn.edu/ships/modules/RekindlingPhlogiston.pdf> (15. 3. 2015.).
5. J. H. Scott, Qualitative adequacy of phlogiston, *J. Chem. Educ.* **29** (1952) 360–363, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed029p360>.
6. D. Grdenić, Povijest kemije, Školska knjiga i Novi Liber, Zagreb, 2001., str. 453–484.
7. T. L. Davis, Priestley's last defense of phlogiston, *J. Chem. Educ.* **4** (2) (1927) 176–182, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed004p176>.
8. S. Soloveichik, The last fight for phlogiston and the death of Priestley, *J. Chem. Educ.* **39** (1962) 644–646, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed039p644>.
9. A. Nordman, The passion for truth: Lavoisier's and Lichtenberg's enlightenments, u: *Lavoisier in Perspective* (ur. M. Beretta), Deutsches Museum, München, 2005., str. 109–128.

10. URL: http://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flogistonska_kemija&oldid=3928726 (15. 3. 2015.)
11. V. Njegovan, Osnovi hemije, Naučna knjiga, Beograd, 1965., str. 23.
12. E. Wiberg, Anorganska kemija, (E. Wiberg, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1964., prev. H. Iveković), Školska knjiga, Zagreb, 1967., str. 43.
13. L. V. Woodcock, Phlogiston theory and chemical revolutions, Bull. Hist. Chem. 30 (2005) 63–69.
14. F. Habashi, Phlogiston and modern chemistry, Bull. Hist. Chem. 31 (2006) 31–31.
15. T. S. Kuhn, Struktura naučnih revolucija, Nolit, Beograd, str. 99–108, 119–122.
16. N. Raos, Povijesni pristup u nastavi kemije: periodni sustav elemenata, Kem. Ind. 64 (3-4) (2015) 169–172, doi: <http://dx.doi.org/10.15255/KUI.2015.001>.
17. C. J. Giunta, Using history to teach scientific method: the role of errors, J. Chem. Educ. 78 (5) (2001) 623–627, doi: <http://dx.doi.org/10.1021/ed078p623>.
18. N. Raos, Zlatni san, Konzor, Zagreb, 1999.
19. N. Raos, Deset kemijskih pokusa koji su promijenili svijet, Tehnički muzej i Konzor, Zagreb, 2000.
20. N. Raos, Kemijski leksikon u stripu, Školska knjiga, Zagreb, 2010.

SUMMARY

The Moral of the Phlogiston Theory

Nenad Raos

The phlogiston theory, proposed in 1697 by German physician Georg Ernst Stahl (1659 – 1734), was the first scientific theory of combustion. However, it was abandoned by the end of the 18th century after the “Lavoisier revolution”, primarily because it was unable to explain the mass change during chemical reactions. In spite of this, there are modern revitalizations of the theory, claiming that phlogiston could be identified with the electron or even with Gibbs energy. Discussion about such interpretations would be stimulative for the better understanding of the differences between chemical reactions and chemical processes, oxidation and oxygenation, and especially for better understanding the nature of scientific theories. In my view, it is necessary to regard theories in their historical context; the resemblance of an old theory to a new one cannot be the criterion of its validity, much more important is the influence of the former theory on the development of science, especially in the establishment of new concepts.

Keywords

Theories of combustion, history of chemistry, chemistry education, phlogiston, redox processes

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

Professional paper
Received March 26, 2015
Accepted April 7, 2015