

52. N. Kallay, T. Cvitaš, Nazivlje fizikalnih veličina, *Strojarstvo* **19** (1977) 78, 86.
53. T. Cvitaš, N. Kallay, Jugoslavenski zakon o mjernim jedinicama, međunarodne preporuke i nastava kemije, *Kem. Ind.* **27** (1978) 575–581.
54. N. Kallay, T. Cvitaš, Količina tvari – što je to?, *Kem. Ind.* **28** (1979) 1–11.
55. T. Cvitaš, N. Kallay, Kako uvoditi zakonite jedinice u farmaceutsku praksu, *Farm. Glasnik* **38** (1982) 117–127.
56. T. Cvitaš, N. Kallay, Doseg kemijske reakcije, *Kem. Ind.* **31** (1982) 591–594.
57. K. J. Laidler, N. Kallay, Extent of reaction; its significance in thermodynamics and kinetics, *Kem. Ind.* **37** (1988) 183–186.
58. T. Cvitaš, Novi pristup kemijskom računu, *Kem. Ind.* **55** (2006) 175–181.
59. T. Cvitaš, N. Kallay, Equations of electromagnetism from CGS to SI, *J. Chem. Educ.* **54** (1977) 530.
60. T. Cvitaš, N. Kallay, The extent of reaction concept, *Chem. Brit.* **14** (1978) 290, 292 {pretiskano u: D. J. Waddington (ur.), *New trends in chemistry teaching*, The UNESCO Press, Paris, 1981, str. 6–7}.
61. T. Cvitaš, N. Kallay, A mole of chemical transformations, *Educ. Chem.* **17** (1980) 166–168.
62. T. Cvitaš, I. M. Mills, Replacing gram-equivalents and normalities, *Chem. Int.* **16** (1994) 123–124.. {pretiskano u: *Chem 13 News*, No. 237 (1995) 14–15}.
63. T. Cvitaš, Quantities describing compositions of mixtures, *Metrologia* **33** (1996) 35–39.
64. T. Cvitaš, A new look at reaction rates, *J. Chem. Educ.* **76** (1999) 1574–1577.
65. T. Cvitaš, SI for chemists: another position, *J. Chem. Educ.* **76** (2004) 801.
66. T. Cvitaš, The Gibbs function of a chemical reaction, *Croat. Chem. Acta* **80** (2007) 606–612.

Kemija kao samosvojna znanost

H. Vančik*

Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet,
Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Osobitosti kemijskog pristupa spoznaji

U metodologiji znanstvenog istraživanja u prirodnim znanostima, spoznajni se postupak može shematizirati prema algoritmičkom obrascu: fenomen, teorija, matematski model, eksperiment, poboljšana teorija, novi eksperiment itd. Krajnji je cilj oblikovanje što bolje teorije koja bi trebala tumačiti fenomen u okviru neke znanstvene paradigme. Također, razvijeni su i različiti spoznajno-teoretski postupci kojima bi se trebalo provjeravati doseg i vrijednost pojedinih teorija. Sjetimo se samo razmatranja logike znanstvenog otkrića Karla Poppera,¹ ili problema valjanosti nekih prihvaćenih kemijskih koncepata.²

Povijesno gledano, navedena znanstvena metodologija ima svoje podrijetlo u kozmologiji i kasnije fizici, gdje je teorija, gledana u najširem smislu, postala središnja točka znanstvenog djelovanja. Eksperiment u fizikalnu znanost ulazi relativno kasno, ozbiljnije tek u doba Galilea.³ No on od samog početka predstavlja u fizici postupak od drugorazrednog značaja, tj. služi tek za oblikovanje i provjeru vrijednosti teorije.

Suvremena kemija preuzela je takvu fizikalnu znanstvenu metodologiju i to do te mjere, da su pojedini znanstveni teoretičari, neupućeni u bit kemijskog razmišljanja, doveli u pitanje autonomnost kemije kao znanosti. Želimo li pokazati da je kemija autonomna znanost, moramo prije svega potražiti prave tradicionalne izvore kemijske znanosti, i to ne samo glede onog dijela prirode koji joj je dan na proučavanje već i s obzirom na ontološki i epistemološki odnos kemije i susjednih znanosti, osobito fizike.

Osvrnemo li se na povijesne tijekove koji su doveli do razvoja dviju znanosti, fizike i kemije, vidimo da su oni sasvim različiti. Dok je fizika kao spekulativna disciplina uvijek težila tumačenju prirode, te tako bila utemeljena kao teoretska disciplina, kemija vuče svoje podrijetlo od protokemije i kasnije alkemije, koja je kao središnju točku svojeg djelovanja imala eksperiment. No ovdje se ne radi o eksperimentu koji bi trebao potkrijepiti ili opovrgnuti neko naše

tumačenje – teoriju, već o proceduri kojom u laboratoriju treba oponašati samu prirodu. Ta filozofija eksperimenta kao glavnog čimbenika djelovanja u kemiji nedvojbeno vuče svoje korijene iz pretpovijesnih metalurških postupaka.⁴ Izdvajanje metala u metalurškoj peći bilo je doživljeno ne samo kao svrsishodan postupak već i kao svojevrstan suživot izvođača procedure, kemičara-metalurga s prirodom. Zadatak je (al)kemičara da njegovo djelo bude odraz pretvorbi u prirodi. U alkemijskom djelu *Summa Perfectionis* stoji: “Ono što priroda nije kadra usavršiti tijekom golemog vremenskog razdoblja, mi svojim umijećem možemo dovršiti u vrlo kratkom vremenu.” Cilj toga velikog djela (*Opus magnum*) nije bilo tumačenje prirode, oblikovanje teorije, već izvođenje eksperimenta kao takvog, *Opus alchimicum*.⁵

Kemija je tako postala disciplina koja neposredno manipulira materijom, ona se bavi *realnim* svijetom. S druge strane, fizikalne su teorije nastojale zahvatiti cjelokupni svijet. Biolozi, s izuzetkom molekularnih biologa koji su metodološki skoro kemičari, opet razmatraju tako složene sustave da nisu u stanju postići razinu egzaktnosti kakva je u kemiji. Ako prihvatimo da je kemija skrajnje egzaktna disciplina, kako je moguće da je ona gotovo sasvim istisnuta iz znanstveno-popularnih medija? Nedvojbeno je da razlozi za to leže kako u sve nižoj razini prosječno naobražene populacije tako i u medijskoj antiznanstvenoj, a osobito antikemijskoj kampanji. Ekološki problemi suvremenog svijeta pripisani su destruktivnom djelovanju kemije. No ta kritika previđa činjenicu da kemija kao znanost nije isto što i nesavjesno, često profitom motivirano baratanje za čovjeka i prirodu pogubnim kemikalijama.

Izostanak kemije u općoj znanstvenoj teoriji i filozofiji znanosti, koji je sve do nedavno bio vidljiv, vuče svoje podrijetlo iz same prirode fenomena koji su obuhvaćeni kemijskim istraživanjima. Ako je osjet početak svake spoznaje, onda moramo dopustiti da i znanost ima svoje prakorjenje u osjetu. Dvije su kategorije osjeta odmah raspoznatljive, osjeti prostora i vremena i osjeti boje, topline, okusa i slično. Dok se prostor i vrijeme može matematizirati, s toplinom i okusom, ili bojom je to bilo nemoguće. Matematiziranje dovodi do razvoja na zakonima utemeljenih teorija, pa su

* Prof. dr. sc. Hrvoj Vančik, e-pošta: vancik@chem.pmf.hr

tako i nastale discipline koje su zahvaćale u fundamentalna kozmička pitanja, a u temelju su bile ono što danas smatramo fizikom.

Ova druga kategorija osjeta nije se mogla mjeriti i bila je u visokom stupnju subjektivna, pa iz nje i nije mogla izrasti matematizirana teorija. Međutim, s tim se fenomenima moglo lako eksperimentirati, pa je iz eksperimenta kao središnje točke izrasla znanost-kemija. Ovakva kategorizacija znanosti prepoznata je kod mnogih znanstvenih teoretičara i filozofa, od arapskog učenjaka Jabira (Džabira) i njegove podjele znanosti pa sve do Immanuela Kanta koji kemiju smješta u znanosti nižeg reda, među one neegzaktne i neutemeljene na matematici.

Velik značaj kemiji pridaje Georg Wilhelm Friedrich Hegel, koji polazeći od svojih kategorija dijalektike uviđa da upravo kemija, kao znanost o promjenama, pruža najbolji primjer za njegove dijalektičke koncepte prirode. *Thomas Kuhn*⁶ u svojoj sociologiji znanosti kao primjer znanstvene revolucije upravo uzima paradigmatiku promjenu u kemiji, koja se zbilja Lavoisierovim konceptima o kemijskim elementima.

Za razumijevanje bilo koje egzaktne discipline potrebna je vještina baratanja posebnim jezicima i pismima koji su temeljni dio metodologije tih disciplina. Tako i kemija, osim sadržaja koji je realna supstancija, posjeduje također svoje pismo i jezik. Zapleteni jezik i pismo, u povijesti su znanosti bili brana koja je sačuvala alkemiju hermetički zatvorenom. Alkemijski su spisi bili pisani posebnim tajnim pismom. Opisi laboratorijskih procedura kojima je alkemičar nastojao postići sveobuhvatno znanje pisani su tako, da budu razumljivi samo najpućenijima. Tajnost i složenost alkemijskog jezika nedvojbeno je vodila prema zatvaranju alkemičara u ekskluzivno društvo. Sjetimo se ezoteričnih Paracelsusovih tekstova (*De Vita Longa*).

Suvremeno kemijsko pismo, strukturne formule i prostorni modeli molekula također su teško razumljivi neupućenima. Zanimljivo je, međutim, da se moderna iracionalnost zrcali u estetskom oblikovanju grafičkih i prostornih modela prikazivanja struktura. Tko može sa sigurnošću ustvrditi da skice mnogih molekulskih struktura nisu i umjetničke kreacije ili barem njima inspirirane? Struktura molekule fullerena najbolji je primjer za to, ona je demonstracija jedinstvenosti kreacije umjetnika arhitekta Buckminstera Fullera i kemičara Harolda Krotoa.

Redukcionizam, emergencija i autonomnost kemije kao znanosti. Ima li kemijskih zakona?

Govori li se o egzaktnosti znanosti, znanstvenih disciplina, učenjaci i filozofi na sam vrh postavljaju fiziku, pa zatim slijede kemija, biologija, antropologija, društvene znanosti itd. Ovakvo sustavno slaganje znanstvenih područja izvedeno je prema složenosti ispitivane materije, ali je i posljedica jednog od filozofskih polazišta po kojemu je svijet svodiv na počela. Znanost koja se, polazeći od ovakvog mišljenja, bavi samim počelima, a to je fizika, stoji prema tome na samom vrhu hijerarhije. Ostale bi znanosti, prema tome načelu trebale biti nižeg ranga, jer su sve udaljenije od same biti cjelokupnog svemira. Moglo bi se pretpostaviti da su one tek igra s fizikalno već utvrđenim počelima. Ovakav hijerarhijski pogled na znanosti nužno vodi u *redukcionizam*:⁷ prava, temeljna znanost je fizika, a sve ostale znanosti su njezini "specijalni slučajevi". Kemija, ako bismo išli u krajnost s takvim mišljenjem, nije znanost jer nema fundamentalnih kemijskih zakona!?

Iako destruktivan, takav iskaz ipak djeluje vrlo poticajno jer nužno nameće dva pitanja. Prvo, je li istina da kemija nema svojih zakona, i drugo, mora li uopće neka disciplina težiti oblikovanju zakona prirode da bi ju se smatralo samosvojnomo znanostu? Već bez dubljeg ulaženja u taj problem postaje jasno da zakoni nisu samo tvrde matematičke formulacije. *Richard Feynman*⁸ priznaje da fizikalni zakoni imaju svoje osobitosti, prilagođeni su fizikalnoj aksiomatici, čime je *de facto* bio pripravan prihvatiti da u drugim znanostima mogu nastati zakoni drugačije vrste, koji to jesu prema

osobitostima dotične znanosti. Iz toga bi trebalo slijediti, da prirodni zakoni ne moraju nužno biti tvrde matematičke formulacije kao u fizici.

Prije nego što dobiju egzaktne formulacije, prirodni zakoni imaju oblik metafizičkih konceptata. Često se događa, da su koncepti oblikovani u jednoj znanosti izvor matematiziranih zakona u drugoj znanosti, pa je u takvim slučajevima teško odrediti kojoj od tih znanstvenih disciplina treba dati prvenstvo za pojedino otkriće. Bilo bi možda bolje da više raspravljamo o transdisciplinarnoj nego o interdisciplinarnoj znanosti!

U znanstvenoj povijesti tako nailazimo na niz fizikalnih zakona konceptualno otkrivenih zapravo u kemijskim istraživanjima. Spomenimo zakon sačuvanja mase, prvobitno i eksperimentalnim iskustvom postavljenom po kemičaru A. L. Lavoisieru. Također, znanstvena javnost nije sasvim svjesna uloge koju je kemija odigrala u otkrivanju elektrona. Ideja o elektronima kao eluzivnoj "supstanciji" koja se tijekom kemijske reakcije premješta među reaktantima pojavila se pod nazivom flogiston, u radovima G. E. *Stahla*⁹ početkom 1700-ih godina. Stahl je proučavao kemijske promjene prilikom gorenja, tj. reakcije koje danas poznamo kao redoks-procese. Cijeli se niz kemijskih reakcija tumačio kao premještaj flogistona iz jedne tvari u drugu. Danas nam je posvema jasno da riječ *flogiston* možemo jednostavno zamijeniti riječju *elektroni*, te tako dobiti suvremeno tumačenje oksido-redukcijskih procesa. *Stahlov* je koncept pao u zaborav na više od jednog stoljeća, kada je napokon John Thomson ponovno otkrio elektron, ali ovaj put u drugom znanstvenom polju.

Periodni sustav elemenata najviši je domat kemijske znanosti, a proizišao je neposredno iz kemijskih eksperimenata kao jedna od posljedica uvođenja pojma valentnosti. To je otkriće bilo od fundamentalnog značenja za kasnije fizikalno spoznavanje strukture atoma.

Prave kemijske zakonitosti ipak počinju tek na razini molekula. Molekule je najbolje prikazati kao strukture nastale povezivanjem atoma. Molekule, prikazane kao skup na određeni način povezanih materijalnih točaka-atoma, uvode znanost o povezanosti, topologiju, u središte proučavanja složene materije. Ideja o *načinu povezanosti*, odnosno *konstituciji* kao temelju iz kojeg proizlaze svojstva materije, nastaje kao jedan od isključivo kemijskih postulata. Konstitucija je u okvirima fizikalne znanosti nepredvidiva iako a *posteriori* može biti protumačiva.

Druga fundamentalna ideja koja je moguća tek na kemijskoj razini je pojam oblika. Molekule imaju prostorni raspored atoma koji daje oblik. Ti praoblaci svekolike makroskopske prirode, oblici molekula, nastaju i mijenjaju se prema kemijskim zakonima! Njihova simetrija, koja je na kvantnomehaničkoj razini postulirana tek apstraktnim matematičkim jednadžbama, na molekulskoj razini postaje predočiva. Suvremene mikroskopske tehnike (kao STM, AFM i slične) omogućile su nam da te praoblake, koje smo na temelju logičkog razmišljanja izvedenog iz kemijskih eksperimenata naslućivali i teoretski pretpostavili, sada možemo i "vidjeti". Trijumf je kemijske znanosti upravo u tome, da su se ti oblici molekula u znanstvenoj prošlosti ispravno predvidjeli isključivo uporabom jednostavnih, tada dostupnih eksperimentalnih metoda i oblikovanjem konceptata kao što su, primjerice, strukturni tipovi.

Istraživanja oblika molekula ne usredotočuju se samo na pojedinačne čestice već se, osobito u posljednje vrijeme, proširuju i na oblike molekulskih nakupina. Razvija se nova poddisciplina, *supramolekulska kemija*. Proučavaju se zakoni i pravila po kojima se molekule samoorganiziraju u često visokosimetrične supramolekulske oblike. Prilazi se jednoj razini strukture materije koja je na pola puta između nevidljivog mikrosvijeta i vidljivog makrosvijeta, otvaraju se vrata *mezokozmosa*.

Najegzaktiji opis mikrosvijeta nesumnjivo je kvantna mehanika, danas temeljna fizikalna teorija. Želimo, međutim, pokazati da su i neke najprofinije misaone konstrukcije kvantne mehanike, kao što je to metoda valentnih struktura (VB), u svojim rudimentima nastale u kemijskim krugovima. Bila je to ideja o rezonantnim

strukturama, koju su oblikovali Robinson i Arndt iako nisu bili upućeni u Heisenbergovo i Schrödingerovo utemeljenje kvantne mehanike, nastala tek koju godinu kasnije. Iznenađeni opažanjem da se benzen kemijski ponaša različito od ostalih alkena, Robinson i Arndt su predložili osobit opis njegove molekulske strukture, kao superpoziciju niza konstitucija nazvanih rezonantnim strukturama. Time je rođen koncept o fizikalnom sustavu kao superpoziciji niza različitih stanja, koji je jedno od polazišta kvantne mehanike.

Iz izloženih je primjera vidljivo da se kemija neprestance koleba između predočivih klasičnih i nepredočivih kvantnih svjetova. Kemija je očigledno kvaziklasična ili, ako to neki žele, kvazikvantna disciplina.

Da zaključimo, nedvojbeno je da kemija oblikuje vlastite zakone koji po svojim osobitostima mogu biti slični fizikalnim zakonima, ali mogu biti i sasvim različiti od njih.

Budući da se kemijski fenomeni mogu izvoditi iz mikroskopske podloge koju racionalizira kvantna mehanika, kemija, s takvog redukcionističkog stanovišta, ne bi mogla biti ništa više nego specijalan slučaj fizike. Nedvojbeno, svako makroskopsko ponašanje je posljedica mikroskopske strukture, pa se bez sumnje može smatrati da su sve znanosti ontološki svodive na fiziku. Ovom redukcionističkom pogledu izmiče, međutim, jedna druga činjenica: molekula koja nastaje iz atoma pokazuje sasvim nova svojstva, koja nisu svojstva tih atoma, pa su radi toga nepredvidiva. Ta nova svojstva, zovemo ih emergentnima, nemoguće je tumačiti zakonima koji bi se mogli izvesti iz kvantnomehaničkih postulata, odnosno koji bi se mogli reducirati na zakone fizike. Zakonitosti tih emergentnih, kemijskih svojstava neovisni su o zakonima druge znanosti i ne mogu se na njih reducirati nikakvim matematičkim ili logičkim operacijama. Takva epistemološka redukcija kemije na fiziku nije moguća. Može li se, primjerice, iz temeljnih fizikalnih aksioma predvidjeti bilo koji reakcijski mehanizam neke kemijske reakcije? Slično bi se mogao analizirati i odnos kemije i biologije: biološki fenomeni su posljedica kemijskih pojava (ontološka redukcija), ali biološki zakoni nisu svodivi na kemijske zakone (epistemološka redukcija). Znanstvena disciplina je samosvojna ako oblikuje koncepte i zakone koji se epistemološki ne mogu reducirati na zakone druge znanosti. Kemija i biologija su zato samosvojne znanosti.

Kemijski pristup spoznaji svijeta, učvršćen u protokemijskoj i alkemijskoj tradiciji, razmatra u prvome redu pretvorbe materije, kako to lijepo proizlazi iz definicije kemije koju je dao August Kekulé:¹⁰ *Kemija je učenje o tvarnim pretvorbama materije. Njezin bitan predmet proučavanja nije toliko opstojeća supstancija koliko njezina prošlost i budućnost. Odnos supstancije prema onom što je ranije bila i prema onom što bi mogla biti, temeljni je predmet interesa kemije.* Zanimljivo da u srednjem vijeku čak nisu bili sigurni pripada li alkemija prirodnim znanostima. Tako Albertus Magnus piše: *Što se tiče pretvorbi tih tijela i pretvaranja jednog u drugo, o tome ne može suditi prirodna znanost, već umijeće koje se zove alkemija.*

Kemija kao interpretacija svijeta

Svaka znanost i svaka dobra teorija moraju posjedovati sposobnost razjašnjavanja. S druge strane, matematizirane teorije teže da daju što točnija predviđanja. Vidjet ćemo, međutim, da su točnost i razjašnjivost u međusobno obrnutom odnosu.

Zahvaljujući snažnom razvoju elektroničkih računala, danas je moguće strukturu molekula i njihova spektralna i termodinamska svojstva izračunati do točnosti koja odgovara eksperimentalnim mjerenjima. Takve računске kvantnomehaničke, dakle u temelju fizikalne, metode daju tim bolje rezultate čim se u račun uvodi složeniji matematički aparat. Računala postaju tek crne škatulje (*black box*) iz kojih svatko može izvući molekulske parametre, ali da ne razumije ništa o molekulskim svojstvima. Ti postupci su za-

pravo tek optimizacija molekulskih struktura koje su već *a priori* bile zamišljene na temelju gotovo isključivo kemijskih načela. Prema tome, polazna ideja o konstituciji i temeljnoj stereokemiji isključivo pripada razmatranjima unutar kemijske znanosti. Struktura molekule kao kemijski koncept ima smisla tek u okviru Born-Oppenheimerove aproksimacije. Međutim, za tumačenje stereokemije i kemijskog ponašanja potrebna je nova aproksimacija: podjela na σ - i π - elektrone. U kemiji se elektroni smatraju djelomice lokaliziranima. S tog stanovišta kemija zapravo ne barata elektronima, već kvazielektronima.⁷ Već smo spomenuli da je kemija kvaziklasična znanost. Uvođenje kvazielektrona pridaje znanosti sposobnost razjašnjavanja molekulskih svojstava. Međutim treba ponoviti da za točno računanje molekulskih parametara nije moguće rabiti kvazielektronsku aproksimaciju, već visoku matematičko-fizikalnu razinu. Ako se, dakle, dobiva na točnosti, gubi se na razjašnjivosti. *Quod erat demonstrandum!*

Pogovor

Osim što su izišle iz različitih tradicija, kemija i fizika se na svojoj filozofskoj razini razlikuju još u jednom temeljnom pristupu. Fizika kao znanost teži prema beskonačnom, prema krajnjem stanju svijeta, bilo da se radi o mikrokozmosu ili makrokozmosu. Povijestnoznanstveno gledano, fizičari su razbijali svijet na sve manje i manje dijelove. Od otkrića sve *elementarnijih* i sve nestabilnijih čestica stiglo se do univerzuma u kojem opstoje još samo virtualna međudjelovanja. Bi li se moglo zaključiti da se fizikalizacijom svijeta postiže njegovo iščezavanje i pretvorba u apstrakciju?

Za razliku od takve analitičke intencije, kemija je po svojoj metodologiji konstruktivistička budući da ona gradi (sintetizira) svoje vlastite predmete proučavanja. Sintetiziraju se neobične molekule kako bi ih se *a posteriori* razmatralo. Treba istaknuti da se takve molekule ne sintetiziraju samo u laboratoriju već ih se može simulirati i na računalima. Mogu se generirati i skupovi molekulskih struktura, za koje se očekuje da bi mogle imati svojstva zanimljiva za primjenu. Računala su postala nadopune laboratorijskom posudu. Alkemijska metoda pretvorbe koja se događa *u središtu* uređaja, *in medio centri*, sada je prebačena u memoriju računala.

Koncepti kao što su konstitucija, sterički oblici, valencija ili periodni sustav elemenata, naslućeni već u alkemijskoj eksperimentalnoj tradiciji i iskustvu, oblikovali su temeljni konceptualni sustav samosvojne znanosti – kemije.

Literaturni izvori

1. K. R. Popper, *Logik der Forschung*, Springer, Wien, 1934.; Mohr, Tübingen, 1971.
2. J. A. Berson, *Chemical Discovery and the Lohicians Program*, Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
3. L. Geymonat, *Galileo Galilei*, Naprijed, Zagreb, 1964.
4. M. Eliade, *Kovači i alkemičari*, GZH, Zagreb, 1982. (Forgerons et alchimistes, Flammarion, Paris, 1977.)
5. V. L. Rabinovich, *Alhimija kak fenomen srednjvekovoj kulturi*, Nauka, Moskva, 1979.
6. T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago, 1996.
7. (a) H. Primas, *Chemistry, quantum mechanics and reductionism*, Springer, Berlin, 1983. (b) H. Primas, *Kann Chemie auf Physik reduziert werden?*, *Chem. uns. Zeit* **19** (1985) 109.
8. R. Feynman, *Osobitosti fizikalnih zakona*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
9. G. E. Stahl, *Opusculum Chymico-Physico-Medicum*, Halle et Magdeburgiae, 1715., 1740.
10. A. Kekulé, *Lehrbuch der organischen Chemie*, Enke, Erlangen, 1859.