

ALCHÝMIA A MÁGIA VS. VEDA

RNDr. Martin Urík, PhD.

Ústav laboratórneho výskumu geomateriálov, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

TEXT K PREDNÁŠKE

2017

Prednáška a text sú súčasťou riešenia projektu:
KEGA č. 003UK-4/2017: Terénne vyučovanie geovied s využitím vybraných náučných
chodníkov

Možno by sme očakávali, že spoločnou črtou všetkých starých civilizácií bolo koleso. Nie je tomu tak. Boli to kovy, ktoré definovali civilizáciu a jej kultúru. Problém však je, že väčšina kovov sa v prírode vyskytuje vo forme zlúčenín väčšinou ako oxidy, sulfidy alebo halogenidy, ktoré sú viazané v rudách, v rôznych komplexných zmesiach kremičitanov a solí. Avšak zlato a striebro sú málo reaktívne a vďaka tomu sa vyskytujú v prírode aj ako rýdze kovy. Vo forme rýdzeho kovu môžeme nájsť aj meď.

Najmä vďaka svojmu rozšírenému výskytu v prostredí je meď aj prvým „dekoračným“ kovom, ktorý bol nájdeným vo vykopávkach v Iráku, ktoré sa datujú do 9000 p.n.l. Využívala sa však aj pri výrobe materiálu na bežné použitie ako ihlice, malé sekerky alebo zvony. Zlato je na rozdiel od medi veľmi mäkké a v podstate nepoužiteľné na nič iné, než na dekoračné účely. Kontroverznosť významu zlata podčiarkuje množstvo utrpenia, ktoré s jeho ťažbou súvisí. Už v starom Egypte využívali na jeho získavanie celé rodiny politických väzňov a vojenských zajatcov, pričom bolo (vzhľadom na výbojnú politiku Egypta) výhodnejšie otrokov nechať zomrieť od hladu a vysilenia a nahradiť inými, než ich živiť. Striebro (viac než 20%) sa často vyskytuje v zmesi so zlatom, v zliatine zvanej elektrum, z ktorej sa izolovalo zahrievaním v prítomnosti jednoduchej soli - chloridu sodného, za vzniku chloridu strieborného na rozžeravenom kove. Striebro bolo najskôr vnímané ako nežiaduca prímes.

Sumerania (3000 p.n.l.) zistili, že získaná meď počas žhavenia v prítomnosti istých typov zemín je viac kujná. Z chemického hľadiska objavili „redukcii“, čo v praktickom zmysle znamená, že rozpálením na žeravom uhlí dochádza k redukcii kovu za vzniku jeho elementárnej (nulavalentnej) formy. Redukciu možno pochopiť aj v zmysle, že získaný kov váži menej ako pôvodná ruda, keďže už v ňom nie je viazaná síra, kyslík, resp. halogenidy.

Sumerania tiež pripravili zmes medi s cínom, čím vznikla nová zliatina – bronz, ktorá bola tvrdšia a mohli sa z nej vyrábať „hodnotnejšie“ nástroje. Tento objav bol natoľko významný, že celé historické obdobie sa označuje ako „doba bronzová“. Nie všetky kultúry však využívali bronz. Civilizácie v Japonsku, Austrálii, Severnej Afrike a Indii priamo začali pripravovať železo a fázu výroby bronzu viac-menej obišli. V Egypte sa objavilo využívanie bronzu takmer okamžite, už v roku 3000 p.n.l. a hlavný zdroj cínu bola Perzia. Transport tohto kovu tak umožnil vznik mnohých obchodných ciest v stredozemí a bol súčasťou záujmovej politiky mnohých vtedajších kmeňov (napr. Asýrčanov).

A to sme už len krôčik od železa. Rudy obsahujúce oxidy železa boli pôvodne „náhodnou“, no účinnou prímiesou pri výrobe medi z jej sulfidových rúd. Pôvodne slúžili ako materiál, ktorý umožňoval odstraňovať nečistoty pri výrobe medi. Ako vedľajší produkt v tomto procese vznikalo čisté železo. V Egypte bolo známe približne v období bronzu a označovalo sa ako „nebeský kov“, keďže vzorky železa mali meteorický pôvod. V približne rovnakom období začali spracovávať železnú rudu v Sýrii a Mezopotánii a o tisícročie neskôr aj v južnej Afrike. Pri výrobe železa bol ale jeden vážny problém. Teplota tavenia železa je približne 1500°C, kým vtedajšie uhoľné pece dokázali zvýšiť teplotu na maximálne 1200°C. Preto prvé formy získaného železa obsahovali vysoký obsah trosky a vyžadovali si opakované tepelné spracovanie. Každopádne získané železo nebolo tak tvrdé ako bronz, a ani po vynájdení lepších techník na zvýšenie teploty v peci sa situácia nezlepšila.

Zaujímavé je, že za zvýšenie kvality železa sú zodpovedný hinduistický lekári, ktorý zistili, že obsah uhlíka (z uhlia alebo z rudy bohatých na uhlík) zvyšuje tvrdosť železa. Tento objav využili pri výrobe chirurgických nástrojov. Na výrobu zbraní ich začali využívať niektoré Indo-Európske kmene, najmä Chetiti, ktorí vďaka tomu predstavovali pre Egypt v období 1200 p.n.l. významnú hrozbu.

Stručne o prvých „čistých“ chemických zlúčeninách

Začneme tými najjednoduchším. Chlorid sodný, bežne dostupná soľ, získaná z prírodných zdrojov alebo z morskej vody; uhličitan sodný, získaný tiež z prírodných úložísk, alebo spálením rastlín bohatých na sodík; chlorid amónny, získaný zohrievaním výkalov tiav alebo z praženia veľkého množstva uhlia. Ďalej minerály ako síran hlinito draselný (kamenec); síran vápenatý (sadrovec); dusičnan sodný (liadok), ktorý sa používal aj pri liečbe sexuálnej impotencie, astme a promiskuite, napriek tomu, že bol úplne neefektívny, no najmä vďaka tomu, že bol prídavkom do strelného prachu. Samozrejme, žiadna z týchto zlúčenín, ktoré v praxi využívali najmä lekárnici, neboli prvotriednej čistoty a viac-menej boli zmesou rôznych chemických látok. Aj voda v tom období, používaná pri chemickej extrakcii nebola číra, skôr tmavo-hnedý roztok. Chemici ďalej pracovali s rôznymi práškami rastlinného alebo živočíšneho pôvodu.

Ako extrakčné činidlá sa používali okrem vody aj pivo a víno, ktoré obsahovali etanol, ktorý vzniká počas fermentácie. Ide o biochemický, prirodzene sa vyskytujúci dej spracovania

jednoduchých sacharidov kvasinkami, ktorého produkt (etanol) je známi minimálne 10 000 rokov. Fermentáciu preto môžeme radiť k najdlhšie známym chemickým procesom.

Farbivá a sklo

Farbivá boli väčšinou organické látky, extrahované z rastlín, kým anorganické zlúčeniny sa využívali na fixáciu farbiva na oblečení (na proteínovej zložke). Najobľúbenejšie farbivo bolo indigo, získané fermentáciou indigovníka farbiarskeho. Pôvodný rastlinný extrakt je bezfarebný, po naviazaní na látku a expozícii vzduchu získa tmavo modrú farbu. Ďalšie rastlinné farbivá sa získavali zo šafránu (žlté farbivo) a morénového koreňa (červená). V Mezopotámii využívali napr. aj živočíšne farbivá, izolované z druhu chrobáka *Dactylopius confusus* s charakteristickou červeno-fialovou farbou.

Výroba skla začala v Mezopotámii okolo roku 2000 p.n.l., ktoré pripravovali z piesku v zmesi s uhličitanom sodným (pre zníženie teploty tavenia oxidov kremíka). Tie však boli rozpustné vo vode a využívané preto najmä ako dekoračný materiál. Remeselníci však približne 1300 p.n.l. znížili rozpustnosť skla prídavkom oxidu vápenatého (vápno), získaného žhavením uhličitanu vápenatého zo schránok alebo prírodných úložisk vápencov alebo kriedy. Získané sklo bolo často kolorované prímiesami kobaltu alebo medi na modro, či cínu a olova na bielo a žltlo.

Grécka filozofia a počiatok vedy

Kým remeselníci pripravovali stále nové látky a postupy, zoznamy poznatkov sa síce predlžovali, ale mali skôr encyklopedický rozmer. Podstata faktov zostávala nezodpovedaná. Preto prichádzajú filozofi, ktorí vytvorili množstvo hypotéz o charaktere hmoty a jej vlastnostiach, ktoré najmä vďaka gréckym filozofom formovali chémiu nasledujúcich 2000 rokov.

Filozofia však potrebovala základy aj iného charakteru a nemohla vzniknúť skôr než písmo a dostupný materiál na zápis ideí – papyrus. Jeho objav v Egypte je porovnateľný s významom objavu počítača v modernej civilizácii. Vďaka tomu mohla vzniknúť nová spoločenská skupina, ktorá hľadala zmysluplné vysvetlenia viditeľného sveta – filozofovia. Je

nevyhnutné poznamenať, že až v 19. storočí vedci utvorili novú spoločenskú skupinu, čím sa oddelili od filozofov.

Grécky filozofi využívali na interpretáciu podobne ako moderní vedci, logické závery a zavrhlí mystiku, ktorá bola založená na viere alebo intuícii. Samozrejme, že to nebolo nič unikátne. Babylončania vyvinuli sofistickovanú matematiku už v roku 1600 p.n.l. Indický filozof Kapila odmietal zdôvodňovať filozofické otázky s využitím mystiky. Výnimočnosť gréckej filozofie je (okrem politického dôsledku na Európsku kultúru) najmä to, že mali významný dopad na chémiu.

Jednou z prvých otázok, ktorá formovala grécku filozofiu, bola existencia prahmoty, z ktorej vzniklo všetko ostatné. Túto snahu iniciovala iónska filozofia, konkrétne filozof Thales. Ten uvažoval, že základný materiál bola voda, keďže voda sa môže premeniť na vzduch (vyparovanie), alebo sa môže stať tuhú látkou (ľad). Jeho žiak Anaximandros teoretizoval, že solárny systém vznikol z hmoty *apeiron*, ktorá sa oddelila z nekonečna v rotačnom pohybe, čo umožnilo ukladanie ťažkých materiálov v strede Zeme, kým nebeské materiály sa kondenzovali vo vrchných častiach. Táto predstava je celkom súhlasná s modernými kozmologickými teóriami. Anaximenés na základe pozorovania, že vydýchnutý vzduch je buď horúci alebo studený a môže sa kondenzovať uvažuje, že voľný, zriedený vzduch je oheň a kondenzovaný všetko ostatné (voda, zem a kamene). Anaxagoras (400 p.n.l.) odložil tradíciu hľadania prahmoty s tvrdením, že existujú akési extrémne malé zložky všetkého v tomto svete vo forme zárodokov. Ich vzájomné miešanie alebo delenie umožňuje vznik rôznych typov materiálov. Na rozdiel od teórie o atómoch však uvažoval o nekonečnej deliteľnosti týchto zárodokov. Jeho význam ale spočíva aj v rozšírení tejto myšlienky do Atén.

Z Atén bol jedným z prvých filozofov prahmoty Empedokles, ktorý je zakladateľom štvor-prvkovej teórie hmoty, ktorá dominovala v Európskej aj Arabskej chémii až do 18. storočia. Podľa neho sú všetky látky zložené zo štyroch elementov v rôznom zastúpení – vody, zeme, vzduchu a ohňa, ktoré vznikajú na základe dvoch síl – lásky a nenávisti.

Kontrastom k týmto myšlienkam bola škola Zenoa, ktorý vnímal hmotu ako kontinuum, ktorú nemožno rozbiť na zložky rôznych prvkov. Argument je logický, keď rozdelíte akýkoľvek materiál na dvoje, stále je to ten istý materiál.

Atomistická teória je síce prisudzovaná Démokriotvi, ktorý ju rozšíril vo viacerých mestských štátoch, ale jej zakladateľom je pravdepodobne jeho učiteľ Leukippos. Podstata teórie je, že každá látka je zložená z nekonečného množstva tuhých atómov, ktoré sú

v neustálom pohybe. Predpokladal, že atómy určujú vlastnosti materiálu ktorý tvoria na základe ich tvaru. Atómy vnímané v dnešnej dobe modernými chemikmi sú však vzdialené predstave Démokrita.

Sokrates tiež prispel k vedeckej chémii. Avšak negatívne. Keďže odmietal experiment ako metódu, ktorou sa dá poznať skutočnosť (odmietal analógiu a induktívne myslenie), predpokladal, že podstatu prírody možno nájsť vďaka mentálnym úvahám. Tento nie celkom vedecký prístup sa prejavuje v mnohých vedeckých článkoch aj v súčasnosti. Jeho žiak Platón však vnímal prírodnú filozofiu odlišne. V svojich úvahách nadviazal na Empedoklovu filozofiu štyroch elementov. K tejto myšlienke však doplnil, že materiál sa môže za určitých podmienok zmeniť procesom transmutácie. Týmito myšlienkami bol uchvátený Aristoteles, ktorý prichádza na Aténsku akadémiu ako 17 ročný.

Aristoteles síce prijal myšlienku transmutácie, avšak otvorene odmietal teórie atomizmu. Doplnil však teóriu Empedokla o „kvality“ štyroch prvkov, čo sú zmyslové vlastnosti, charakteristické pre jednotlivé typy prvkov – horko a sucho asocioval s ohňom; horko a vlhko so vzduchom; chlad a sucho so zemou; a chlad; a chlad a vlhko s vodou. Tvrdenie podložil pozorovaním. Keď napríklad pálite drevo, vzniká dym (vzduch), decht (voda), popol (zem) a oheň; z toho je zrejmé, že drevo je zložené zo štyroch prvkov (alebo elementov). Keď pazúrikom iskríte, vzniká oheň, z čoho vyplýva, že oheň je elementom v horninách. Niektoré minerály, ktoré rozpustíte vo vode, vodu zahrejú, iné ochladia; preto sú tieto kvality neodmysliteľnými súčasťami týchto látok.

Táto myšlienka má však viac-menej intuitívny charakter a čiastočne súvisí s teologickými tendenciami Aristotela, a tiež harmonizovala s hebrejskou, kresťanskou a islamskou teológiou.

V roku 1980 vedci z Kalifornskej Univerzity v Berkeley využili časticový akcelerátor na premenu nepredstaviteľne malého množstva bizmutu na zlato. Náklady na tento experiment presiahli 10 tisíc dolárov na získanie zlata v hodnote bilióntiny centa. Takže transmutácia je možná (na konci 20. storočia), avšak určite nie je rentabilná. V 19. storočí bolo už len pár odvážlivcov považovaných zväčša za bláznov, ktorí sa pokúšali nájsť kameň mudrcov. Avšak v 17. storočí, ktoré znamenalo „chemickú revolúciou“ bola alchymia stále braná vážne a podporovaná vedeckou ale aj vplyvnou politickou komunitou bažiacou po zisku.

Počiatok alchymie možno datovať do obdobia 4 000 p.n.l. v Číne a vychádzala z náboženstva a filozofie Taoizmu. V taoizme a rovnako v alchymii je vesmír založený na opozitách – yang, mužský princíp, svetlo a horko; a yin, ženský princíp, chlad a temnota. Tieto opozitá tvoria päť elementov uvádzaných v pároch: kov a drevo, oheň a voda a centrálny element, zem. Tento princíp je ľahko aplikovateľný na transformácie a transmutácie materiálov. Zmena zastúpenie niektorého z uvedených elementov vyústi v zmene vlastností látky. Zatiaľ čo však západná filozofia deklinovala transmutácie v súvislosti s výrobou zlata, východná alchymia implikovala túto filozofiu na získanie elixíru života. Čínska alchymia bola v svojich cieľov medicínou. Získavanie zlata bol až sekundárny problém, odložený na okamih dosiahnutia večnosti.

Východná alchymia zároveň poctivo rozoznávala „transformácie vzhľadu“ od „transmutácie podstaty“. Vytvorenie dojmu zlata, či už pokrytím kovového materiálu, alebo vytvorením zlatej fólie vyžadovalo značné technické zručnosti. Tvorba imitácií klenotníkmi bola praktizovaná a veľmi cenená, ale ako všetko, ľahko zneužitá šikovným alchymistom. Dôležité je však, že tieto lži podnietujú vznik nových sofistických nástrojov, rozvoj pecí s kontrolou intenzity a hladiny tepla, prípravu nových zliatin a rôznych extrakčných činidiel. Do akej miery ale bola európska „chemická“ kultúra (najmä tá antická) ovplyvnená čínskou alchymiou, je diskutabilné. Obchodné cesty a vojenské výboje nevyhnutne pôsobili ako obojstranný zdroj myšlienok a techník medzi západom a východom.

V Helenistickom období alchymisti vychádzali z myšlienok štyroch základných elementov, ktoré nápadne pripomínajú Čínsku filozofiu. Verili, že laboratórne dokážu napodobniť a najmä urýchliť vznik a rast kovov. Cieľom bolo zároveň zbaviť tieto kovy „Aristotelovských“ kvalít, tak aby sme ich redukovali na prahmotu, následne využiť kvality

charakteristické pre zlato na „nediferencovanú“ hmotu. Ako rástla dôležitosť alchýmie, objavujú sa prvé zmienky o kameni mudrcov, ktorý má schopnosť vkladať požadované kvality do nediferencovanej hmoty. Jeho výroba mala byť sprevádzaná farebnými zmenami, ktoré naznačovali úspech alebo neúspech reakcie. Požadovaná sekvencia začínala pri striebornej, cez čiernu, ktorá pre alchýmiu znamenala absenciu farieb. Následne biela, žltá a fialová. Vďaka tejto predstave sa v jednotlivých krokoch intenzívne rozvíjali a dopĺňali poznatky o zliatinách a výrobe rýdzich kovov a ukazuje na priamu paralelu medzi metalurgiou a alchýmiou.

Pre Alexandrijskú alchýmiu boli zároveň nevyhnutné detailné poznatky o astronómii, ktoré dávali do súvislosti udalosti na Zemi s tým, čo sa deje na oblohe. Preto aj kovom prisúdili vtedy známe planéty (a mesiac). Zlato reprezentovalo Slnko, striebro Mesiac, železo Mars, ortuť Merkúr, meď Venuša, cín Jupiter a olovo prisúdili Saturnu.

Najvýznamnejším alchymistom Alexandrie bol pravdepodobne Zosimos (asi 300 n.l.), ktorý tvrdil, že získal kameň mudrcov. S určitosťou však môžeme povedať, že bol veľmi schopným alchymistom, s hlbokými poznatkami o filtrácii, destilácii, sublimácii a peciach. Jeho práce, ktoré zlučujú transcendentálne s praktickým, sú pravdepodobne najstaršie známe práce s témou alchýmie.

Po obsadení Alexandrie Arabmi v siedmom storočí sa novým centrom vzdelania stal Damask a Bagdad, kde veda prešla kultúrnym obrozením na islamskú vieru. V ôsmom storočí boli pod priamym dohľadom kalifa Hárún al-Rašída (známy zo zbierok Tisíc a jednej noci) helenistické traktáty preložené do arabčiny. V tomto období došlo zároveň k ďalším pokrokom na úrovni laboratórnej praxi v chémii, najmä čo sa týka destilácie, prípravy liečiv a solí. Začali sa používať rôzne silné reagenty, ktoré sa využívali na potvrdenie prítomnosti rôznych substancií. S tým súvisí aj vznik prvých „chemických“ teórií. Napríklad *kyseliny* korodovali kovy, čo pre alchymistov znamenalo, že sa kovy v tomto procese rozkladajú na svoje jednotlivé zložky, ktoré sú „čisté“ a preto účinnejšie pri príprave kameňa mudrcov. Čistota bola filozofickou interpretáciou a nesúvisela so skutočnou čistotou (alebo kvalitou) izolovanej chemikálie, ktorú bolo vždy nevyhnutné upraviť inými kvalitami do požadovanej „filozofickej“ formy. Preto vždy rozlišovali ortuť, ktorá sa každodenne destilovala v laboratóriách a Ortuť, opisovanú v traktátoch alexandrijských alchymistov.

Grécke a Arabské texty boli neskôr preložené do latinčiny. Preklad bol často spojený s istou dávkou revízie a modifikácie. Jedným z významných mien kresťanských

filozofov/alchymistov bol františkánsky mních Geber, ktorý zdôraznil spirituálny aspekt alchymizmu, keďže hľadanie kameňa mudrcov využil ako metaforu vykúpenia. Deštrukcie kvality kovu na nediferencovanú hmotu zodpovedá smrti a produkcia zlata z tejto hmoty alchymistom je teda, v tomto zmysle, vzkriesenie. Geber vychádzal z arabských okultistických alebo skrytých kvalít (striebro je síce chladné a suché externe, ale vo vnútri je horúce a mokré) a pohrával sa s korpuskularizmom, ktorý má podobnú podstatu ako atomizmus, s tým rozdielom, že korpuskule sú deliteľné. Jeho Ortuť mohla preto prenikať do kovu a modifikovať jeho štruktúru.

Na obranu alchymistov musím uviesť, že alchymia bola v súvislosti s transmutáciou vnútorne rozpoltená. V 10. storočí existovali debaty, či by sme nemali kovy vnímať ako jednotlivé „druhy“, podobne ako v prípade živočíchov a rastlín, a tým nepodliehajúce transmutáciám. Táto debata ostala aj po rozšírení alchymie do kresťanskej Európy.

Paracelsus a jeho vplyv

Alchymia prešla medzi 14. a 16. storočím významnými zmenami vo vedomostiach o mineráloch a látok izolovaných z rastlín, ale stále upriamovala pozornosť na výrobu zlata. V 16. storočí však na scénu prichádza Theoprastus Bombastus von Hohenheim, známy skôr ako Paracelsus, ktorý vnímal alchymiu a medicínu ako veľmi príbuzné oblasti. V podstate bol jeho záujem o výrobu zlata transmutáciou, alebo inými pochybnými procesmi minimálny. Pre neho mala alchymia význam len v súvislosti s medicínou. Choroby vnímal ako špecifické a jasne odlíšiteľné, z toho dôvodu liečiteľné len špecifickými medikamentmi. Zdá sa to málo uveriteľné, ale v období, keď sa lieky a zásahy predpisovali na základe zafarbenia moču, bola táto myšlienka revolučná. Keďže vtedajšia prax vychádzala z Galéna a chorobu riešila ako nerovnováhu tela, zásahy na úpravu humorálnej rovnováhy boli väčšinou systematické a všeobecné (aplikácia preháňadiel, odpúšťanie krvi a iných oslabujúcich ošetrení), nikdy nie lokálne a špecifické. Vďaka svojmu prístupu bola alchymia pre Paracelsa spôsob ako pripraviť správne a účinné látky pre choroby, ktoré sa prejavujú špecifickými príznakmi (iatrochémia).

Bol však stále aj alchymistom, teoretikom. Paracelsus vnímal všetky prirodzené deje v prírode ako alchymiu, hnitie, trávenie, fermentáciu, rast rastlín. Príroda bola alchymia riadená Bohom, ktorý bol rovnako alchymistom. Je zrejmé, že náboženstvo a jeho symbolika naďalej zohrávalo dôležitú úlohu. Podobne k Ortuťi a Síre pridal Soli (*tria prima*), z čoho

symbolicky vyplývala Svätá Trojica, ktoré vysvetľovali všetky transmutačné procesy v prírode. Tieto predstavy skombinoval jeho nasledovník, flámsky lekár van Helmont, s korpuskularizmom Gebera a vytvoril teóriu, v ktorej zohráva významnú úlohu voda. Voda je podľa van Helmonta prahmota, ktorá v sebe „ukrýva“ neoddeliteľné formy Ortuťi a Síry. Ich zastúpenie je však premenlivé, čím môžu zmeniť formu, v akej voda vystupuje. Ako dôkaz použil jednoduchý experiment s výhonkom vrby, ktorý pravidelne zalieval a vážil. Nárast hmotnosti si vysvetľoval premenou vystupovania vody, ktorá sa transformovala do rastúcej biomasy.

Vráťme sa však k Paracelsovi a jeho *iatrochémií*. Paracelsus vnímal alchýmiu ako súbor metód oddeľujúcich nečistoty premenou nečistého na čisté, nebezpečného na prospešné a zbytočných alebo nezdravých chemikálií na liečivá. Bol pionierom pri aplikácii zlúčenín ortuťi pri liečbe syfilisu. Počas liečby využíval najmä soli z minerálov, ktoré sú ľahko klasifikovateľné, kým Galénovská medicína sa spoliehala najmä na organické extrakty, ktoré boli ťažko identifikovateľné a boli vždy zmesou komplexných látok.

Jedným z významných iatrochemikov bol Johann Joachim Becher (1635-1682), ktorý rovnako ako Paracelsus veril, že alchýmia je kľúčom k medicíne. A tiež veril v tria priam, ktoré však pozmenil zo Síri, Ortuťi a Solí na vzduch, vodu a zem. Hlavné elementy však boli voda a zem, ktoré po zmiešaní so vzduchom (nie chemická entita, skôr reagent) v určitom pomere tvoria organické látky alebo minerály. Becher však pridal jedno špecifikum. Rozhodol sa, že na vznik minerálov sú nevyhnutné tri rôzne typy zeme, jedna z nich súvisí s „horľavosťou“, ktorú často identifikoval aj ako „horľavú Síru“ pod názvom *phlogiston*. Práve toto slovo, identifikujúce horľavosť, prežilo Paracelusovu *tria priam* a Becherove tri typy zeminy a súvisí s phlogistonovou teóriou.

Phlogistonová teória a rôzne druhy vzduchu

Chemik a lekár, s ktorým je najčastejšie spájaná táto teória je Georg Ernst Stahl (1660-1734). Na rozdiel od Paracelsa neprisudzoval alchýmii význam na opis procesov v živých organizmoch, ktoré majú dušu. Exaktná chémia môže identifikovať iba deje vo fázach chemických entít, ktorých vlastnosti nie sú sumou ich jednotlivých zložiek (*mixture*), a ktoré nikdy neboli, alebo už nie sú živé. Týmto sa odklonil od *iatrochémie* a prihlásil sa k *vitalizmu*.

Podobne ako Becher aj Stahl vnímal dva základné elementy ako vodu a zem, a tiež tri typy zemín: (1) „ortuťová“ zem, ktorá súvisela s elasticitou a svetlosťou látky, (2) sklo formujúca zem, ktorá umožňovala látkam sa taviť, a (3) „sírová“ zem (phlogiston), ktorá umožňuje látkam horieť. Túto trojicu označoval aj ako chemické princípy. Znamená to, že ak nejaká látka obsahuje phlogiston, môže horieť, ak nie, tak nehori.

Výnimočnosťou Stahla však je, že sa prostredníctvom tejto teórie pokúsil vysvetliť niektoré chemické deje. Napríklad korózia kovov je pomalé horenie, podobne ako keď horí drevo, pričom sa uvoľňuje phlogiston. Keďže koróziou dochádza k deštrukcii rýdzeho kovu, jeho príprava v peciach z rúd by mala byť dejom opačným. V tomto prípade rozžeravené uhlie odovzdáva phlogiston vznikajúcemu kovu. Problém je, že predpokladal, že vzniknutý produkt po uvoľnení phlogistonu je jednoduchší. Čo však vieme, že nie je pravda. Koróziou vznikajú komplexnejšie zlúčeniny. Avšak krása tejto teórie je v tom, že dokáže odpovedať na niektoré otázky. Napríklad, prečo sviečka horiaca v uzavretom priestore po čase zhasne? Pretože vzduch dokáže prijať obmedzené množstvo phlogistonu a po nasýtení už nedokáže prijať viac a horenie sa zastaví. Prečo vzduch okolo nás nie je už dávno nasýtený? Pretože rastliny phlogiston absorbujú zo vzduchu. To je dôvod, prečo drevo a materiál, ktorý z nich vyrobíme tak ľahko horí.

Phlogiston bol však aj naďalej len princípom, čiže neizolovateľnou zložkou a zachovával tak stále mieru mystiky v alchýmii. Anglický a francúzsky chemici preto zdôrazňovali, že nemajú čas na veci, ktoré nie sú merateľné, ktoré nemožno vidieť, počuť, cítiť alebo ochutnať. Tento empirický prístup bol dôsledkom systematických výskumov Roberta Boyla a Isaaca Newtona, ikon anglickej vedy.

Phlogistonová teória sa začala v Nemecku a skončila vo Francúzsku, vďaka jednej z najvýznamnejších osobností chémie Antoine-Laurent Lavoisierovi (1743-1794). Lavoisierov výskum bol orientovaný na rôzne smery, avšak primárne na výskum vzduchu. Vysvetlil význam kyslíka (ktorý izoloval v čistej forme) počas horenia a respirácii a vďaka systematickému kvantitatívnemu výskumu potvrdil, že phlogistonová teória nie je správna. Vychádzal z experimentov Louis-Bernard Guyton de Morveaua, ktorý si všimol, že počas žihania kovov kov zvýšil svoju hmotnosť, ktorá bola konštantná v závislosti od druhu použitého kovu. Lavoisier predpokladal, že pravdepodobne došlo k fixácii vzduchu a zopakoval experiment žiháním fosforu a síry za vzniku kyselín. Zaznamenal rovnaké závery. Ďalšími experimentmi zistil, že vzduch viazaný v žíhaných kovochoch je dýchatelný a

„dephlogistovaný“, čiže podporuje horenie. Keďže usúdil, že je nevyhnutný pri tvorbe kyselín (z uhlíka, síri, dusíka a fosforu) identifikoval tento plyn (ktorý izoloval v čistej forme žíhaním oxidu ortuťnatého) nazval ho *oxygen*, z gréckeho „kyselinu tvoriaci“. Počas reakcie zinku v kyslých roztokoch dochádzalo k uvoľňovaniu iného typu vzduchu, tzv. „horľavého“. Ich vzájomnou reakciou vznikla len voda, preto tento vzduch nazval *hydrogen*, teda „vodu generujúci“.

Klasifikácia solí

Prvé vážnejšie pokusy o klasifikáciu solí sa datujú do obdobia na prelome 17. a 18. storočia. Wilhelm Homberg vyvinul klasifikáciu, ktorá bola založená na (1) vlastnostiach solí, ktoré môže chemik identifikovať prostredníctvom zmyslov; (2) laboratórnych postupov, ktoré viedli k príprave soli, a (3) látok, z ktorých boli soli zložené. Táto klasifikácia síce poskytla množstvo empirických zistení a pomohla identifikovať rozdiely napr. medzi soľami draselnými a sodnými, avšak nezahrňovala v sebe žiadne pravidlo alebo jazyk klasifikácie a od chaosu, ktorý tak vznikal zachránila chémiu zastaraná teória chemickej afinity, založenej na Newtonovských silách – rôzne telesá majú rôzne vzťahy, ktoré umožňujú ich vzájomnú kombináciu. Tieto vzťahy však majú rôzny rozsah a riadia sa vlastnými pravidlami, ktoré sú odlišné od Newtonovských gravitačných zákonov. Ak teda vložíme látku A do roztoku BC a afinita zložky B k A je vyššia ako C ku zložke A, vzniknutý produkt na konci reakcie bude AB.

Vznik tabuliek chemickej afinity bol dôsledkom snahy zostručenia všetkých možných reakcií medzi zložkami chemických zlúčenín. Cieľom bolo dokonca na základe týchto schém umožniť predpokladať výsledok reakcie. Prvú takúto tabuľku publikoval Hombergov žiak Etienne-Francois Geoffroy v roku 1718.

Chemická afinita dnes ale znamená niečo odlišné a súčasná predstava sa približuje princípom elektrochémiie. A preto skutočná klasifikácia mohla prísť až po objave jednosmerného prúdu a jeho aplikácii na roztoky solí alebo ich taveniny, v ktorých sa prvky alebo skupiny atómov prvkov správajú ako nabité častice a prejavujú sa elektropozitívne alebo elektronegatívne. Významnou osobnosťou v tejto oblasti výskumu bol Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), ktorý využil Lavoisierove myšlienky o zložení látok a Daltonov princíp, podľa ktorého majú všetky atómy toho istého prvku rovnakú hmotnosť a doplnil ich o

princípy elektrochémie. Jedinečné elektrické vlastnosti každého prvku vysvetľuje ich jedinečné chemické správanie, čo Berzelius využil na klasifikáciu solí a minerálov.

Všetky atómy majú jedinečný elektrický charakter, rovnako ako aj „radikály“ (pojem nie je zhodný so súčasným vnímaním radikálu), ktoré identifikovali stabilnú skupinu atómov prvkov. „Radikál“ kyselín bol vždy elektronegatívny a pohyboval sa smerom k pozitívne nabitej elektróde počas elektrolýzy, kým elektropozitívne kovy migrovali k negatívne nabitej elektróde. Podľa Berzelia má každá chemická zlúčenina svoju elektronegatívnu a elektropozitívnu časť, ktoré spolu držia pohromade na základe elektrochemickej afinity. To je základom elektrochemického dualizmu v chémii. Podľa tejto teórie má napríklad soľ dusičnan zinočnatý negatívny dusičnanový „radikál“ a pozitívny zinok. Táto kombinácia bola možná vďaka ich odlišnému stupňu elektronegativity. Preto je výsledok chemickej reakcie závislý ako ďaleko sú reaktanty od seba vzdialené na stupnici elektrochemických afinit; podobné atómy sa odpudzujú, kým odlišné priťahujú.

Problémy so vznikom organickej chémie

Aj v osemnástom storočí bol výskum v oblasti chémie zameraný predovšetkým na minerálne kyseliny, ich soli a kovy. Bola to chémia „mŕtvej“ prírody, ktorá sa označovala ako anorganická chémia. Chémia plynov, systematizovaná výskumom Lavoisiera, sa postupne zaraďovala tiež do tohto oddelenia chémie. Postupne sa identifikovali atómy, skupiny atómov prvkov – molekuly a existovala klasifikácia na základe elektrochemických vlastností prvkov. Všetko však aplikované v anorganickej chémii.

Ešte na začiatku 19. storočia časť vedcov, vrátane Lavoisiera a Berzelia považovali výskum živočíšnych a rastlinných látok za vedecky zmysluplný, kým ďalšia skupina, vrátane Stahla, zaraďovali procesy v živých organizmoch mimo hranice chemického bádania.

Okrem iného je niekoľko dôvodov, prečo výskum v oblasti organickej chémie napredoval veľmi pomaly. Anorganické zlúčeniny môžu byť izolované v relatívne čistých formách a čisté formy sú nevyhnutné pre identifikáciu ich chemického zloženia. Ako môžeme nedeštruktívne izolovať čisté látky zo vzoriek rastlín alebo živočíchov? Destiláciou týchto materiálov zvyčajne uniká plyn a kvapalina a v destilačnej banke získavame čierne rezíduum. Destiláciou rôznych rastlín získavame zložky, ktoré sa chemici pokúšali rozoznať kvantitatívne

a aj kvalitatívne. Ostatné postupy na izoláciu organických látok boli extrakcie a frakcionačná kryštalizácia.

Napriek rozvoju inštrumentálnych metód a postupov, získané destiláty boli vždy zmesou rôznych látok neznámej čistoty. Zároveň bola metóda deštrukčná a chemici si preto kládli otázku do akej miery získané extrakty zodpovedajú ich forme v pôvodnej vzorke. Výsledkom bolo, že ešte v roku 1830 sa na zozname „základných“ organických látok vyskytovali želatína, albumín, fibrín, masť a mukóza. V medicínsky orientovanej literatúre nájdeme navyše krv a chýmus, čo sú komplexy obrovského množstva rôznych molekúl.

Ďalším problémom je, že všetky organické molekuly sú zlúčeniny uhlíka, vodíka, kyslíka a dusíka, tvorené uhlíkovými reťazcami (čo bola stále len hypotéza na začiatku 19. storočia). Každá z analyzovaných organických látok obsahovala vodík, najľahší atóm a organické molekuly boli zároveň obrovské. Preto aj najmenšia chyba v inštrumentálnych meraniach látok neumožnila stanoviť a charakterizovať molekulu správne.

Pre úplnosť uvediem, že už Lavoisier identifikoval niektoré menšie organické molekuly, ktoré nazval organickými kyselinami. Medzi ne patrili kyselina benzoová, octová, mliečna a šťaveľová, respektíve ich soli. V svojich prácach sa venoval predovšetkým rastlinným materiálom a ich horeniu, ale tiež fermentácii.

Pojem fermentácia pokrýval počas niekoľkých tisícročí rôzne chemické reakcie. V slovníku Paracelsa ide o akýkoľvek proces, ktorý súvisí s chemickou zmenou, rastom a vývinom, ktorého iniciátor je Boh, alchymista. Vznik štiav v rastlinách a klíčenie alebo rast semien vnímal tiež ako fermentáciu. Lavoisierovo vnímanie tohto pojmu je však odlišné, a viac pripomína súčasnú definíciu. Uvedomil si, že počas rozkladu rastlinných sacharidov dochádza k vzniku „fixovaného“ vzduchu (oxidu uhličitého) a vody. To ho viedlo k podrobnejšiemu výskumu fermentácie vodných roztokov sacharidov v prítomnosti kvasiniek, čo je výskum procesov zhodných s našim súčasným vnímaním tohto deja.

Rovnako aj Berzelius sa venoval výskumu organického materiálu, na ktorý aplikoval elektrochemický dualizmus. Výsledky boli pozitívne a Berzelius bol spokojný s tým, že na výskum organických látok možno využiť aj elektrochémiu a ničím významným sa organická od anorganickej chémie neodlišuje.

Avšak už v roku 1836 mladý francúzsky vedec Auguste Laurent kritizoval tento záver v svojej dizertačnej práci. Kyselina octová obsahuje „radikál“ CH_3 , ktorý je kombinovaný s karboxylovým „radikálom“ COOH . Chloráciou tejto molekuly získame štruktúru CClH_2COOH

až CCl_3COOH . Išlo o jednoduchú substitúciu slabo elektropozitívneho vodíka za silne elektronegatívny chlór. Ako je možné, že elektronegatívny prvok nahradí v molekule elektropozitívnym prvok a napriek tomu sú chemické vlastnosti produktu a reaktantu podobné? Laurent preto predpokladá, že dôležitejšie ako zloženie je v organickej chémii geometrické usporiadanie individuálnych atómov. Tento záver bol však vedeckými špičkami ignorovaný.

Laurent neskôr začal úzko spolupracovať s Charles Gerhardtom na klasifikácii organických molekúl. Prvým spoločným produktom ich výskumu bolo vytvorenie homologického radu molekúl organických látok. Príklad vytvorili na jednoduchých uhľovodíkoch, ktorý sa vyučuje dodnes - usporiadame na základe rastúcej molekulovej hmotnosti, ktorá súhlasí s rastúcou hustotou od plynného metánu cez kvapalné až tuhé formy, so spoločným sumárnym vzorcom $\text{C}_n\text{H}_{2n+n}$. Druhou myšlienkou klasifikácie organických molekúl bolo ich rozdelenie na „typy“, podľa substitúcie za „radikály“ jednoduchých anorganických látok (H_2 , H_2O , HCl a NH_3). Vďaka tejto teórii sa organická chémia akoby spätne prihlásila k anorganickej chémii. Pretože „chémia“ je naozaj len jedna.

Literatúra

Cobb, C., Fetterolf, M., Goldwhite, H. (2014): The Chemistry of Alchemy - From Dragon's Blood to Donkey Dung, How Chemistry Was Forged. Prometheus Books: New York.

Cobb, C., Goldwhite, H. (1995): Creations Of Fire - Chemistry's Lively History From Alchemy To The Atomic Age. Plenum: London.

Greenberg, A. (2007): From Alchemy to Chemistry. John Wiley & sons: New Jersey.

Levere, T.H, (2001): Transforming Matter: A History of Chemistry from Alchemy to the Buckyball. The Johns Hopkins University Press: Baltimore.

Read, J. (1995): From Alchemy to chemistry. Dover Publications: New York.