Povijesni razvoj pojmova oksidacije i redukcije

Krajinović, Franjo

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:322607

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Franjo Krajinović

Student 3. godine Preddiplomskog sveučilišnog studija KEMIJA

Kemijski odsjek
Prirodoslovno-matematički fakultet
Sveučilište u Zagrebu

Povijesni razvoj pojmova oksidacije i redukcije

Završni rad

Rad je izrađen u Zavodu za opću i anorgansku kemiju

Mentor rada: doc.dr.sc. Vladimir Stilinović

Zagreb, A.D. 2016.

Datum predaje prve verzije Završnog rada:	18. srpnja A.D. 2016.
Datum predaje korigirane verzije Završnog rada:	19. rujna A.D. 2016.
Datum ocjenjivanja Završnog rada i polaganja Završnog ispita:	19. Rujna A.D. 2016

Mentor rada: doc.dr.sc. Vladimir Stilinović	Potpis:

Sadržaj

§ Sažetak iv
§ 1. Uvod 1
1.1. Povijesno-filozofski uvod 1
1.2. Reprezentacija i razvoj kemije 1
§ 2. Prikaz odabrane teme 3
2.1. Antika i srednji vijek 3
2.2. Novi vijek 4
2.3. Kvantna kemija i 20. stoljeće 16
2.4. Završna riječ 19
§ 3. Literaturna vrela 21

§ Sažetak

Filozofske osnove razumijevanja i razvoja kemije sežu još u antičko vrijeme. Od ranih grčkih filozofa do aleksandrijske protokemije procesi su se pokušavali objasniti različitim počelima. Na kraju je na kemiju najviše utjecala Aristotelovska pretpostavka o četiri počela i četiri svojstva.[1]

Oksidacija i redukcija su se primjenjivali u kemiji i metalurgiji daleko prije nego što su stvorena prva filozofska tumačenja. Još od kada je čovjek otkrio samorodno zlato i bakar, prvi tehnološki procesi vezani uz kemiju postali su esencijalni za život ljudi. Ipak, tek s potrebom obrade bakrenih ruda i dobivanja bakra, prvi put u povijesti čovjek je svjesno upotrijebio sredstva oksidacije i redukcije da dobije neku supstanciju. Prva upotreba oksidacije bila je ona gorenja drveta. Međutim, iako je ona općenito značajna, nije dovela do nikakvog daljnjeg otkrića desecima tisuća godina.[1]

Obradom bakrovih ruda slučajno je otkrivena bronca. Prva bronca bila je građena od arsena i bakra, pri čemu je arsen imao udio do 5 posto. Zatim je trebalo zamijeniti arsen kositrom što je također bio značajan napredak u razumijevanju ponašanja metala. Arsen je bilo potrebno zamijeniti poradi otrovnosti koja se očitovala grbljenjem kovača i metalurga, smanjenje životnog vijeka i povećana spolna aktivnost. Redukcija željeza bila je sljedeći važan korak. S dobivanjem čistog zlata, olova i otkrivanjem reduktivene uloge ugljena, rana faza kemije uglavnom završava.[1,2]

Naredni važan stupanj bila je grčka filozofija te aleksandrijska protokemija. Osobito je aleksandrijska škola, vezana na muzej, iz razdoblja kasnih Ptolomejevića, razvila prvu aparaturu koju su kemičari usavršavali u narednim stoljećima. One su zajednički dale prva teorijska objašnjenja u povijesti kao i prvu pravu sintezu u povijesti kemije tijekom dobivanja cinabarita.[1]

U kasnijim stoljećima, mnoge reakcije su provedene, ali pravog razumijevanja oksidacije i redukcije nije bilo. Tijekom ranog srednjeg vijeka i kasne antike kemija je od tehničko-filozoske protokemije prerasla u alkemiju dobivajući svoj ezoterični element. Glavne zadaće alkemije bile su stvaranje tvari koja liječi sve bolesti i pretvorba metala iz manje plemenitih u

plemenite, iako su ta nastojanja bila osuđena na propast. Ipak, donijela su napredak u smjeru izolacije i pretvorbe tvari.[1]

S usponom skolastike, katolička kršćanska misao, prvi je puta ozbiljno promotrila prirodu, te oplemenila antičke mislioce u razumijevanju svijeta. To je u konačnici dovelo do otkrića raznih lijekova ili ljekovitih supstanci. Najvažniji tehnološki napredak tog vremena bila je izgradnja prvih visokih peći koje su značajno unaprijedile metalurgiju kao i redukciju metala, osobito željeza.[1]

Između flogistonske kemije i alkemije smjestila se pneumatska kemija. Ona se malo bavila pravom kemijom, ali je otkrila osnovne plinske zakone, efektivno srušila Aristotelovska počela i time položila temelje modernoj kemiji.[1]

S flogistonskom teorijom prvi put u povijesti stvorena je kemijska teorija. Ona je opisala zašto dolazi do oksidacije, a zašto do redukcije. Gorenjem-oksidacijom metal predaje flogiston u zrak i prelazi u vapno, dok miješanjem s ugljenom, koji je bogat flogistonom, ugljen predaje flogiston metalu, čime se metalno vapno (metalni oksid) vraća nazad u metal, a ugljen prelazi u deflogistonirani zrak.[1]

Tu prvu kemijsku teoriju srušio je na kraju Lavoisier. Preko zakona očuvanja mase (kojeg je formulirao na temelju vlastitih eksperimenata) pokazao je apsurdnost povećanja mase kao posljedicu nastanka metalnog vapna predajom flogistona. Definirao je oksidaciju kao proces spajanja s kisikom, kiseline i baze smatrao je oksidima, te prvi dokazao da je kisik gradivni element vode. Analizom vode također je definitivno srušio Aristotelova počela. [1]

U sljedećim stoljećima oksidacija i redukcija pomalo su se preoblikovale do današnje interpretacije gdje pod oksidacijom podrazumijevamo proces otpuštanja elektrona, a redukcijom primanje elektrona.[1]

§ 1. Uvod

1.1. Povijesno-filozofski uvod

IUPAC definira oksidaciju kao otpuštanje elektrona i povećanje oksidacijskog broja, a redukciju kao primanje elektrona te smanjenje oksidacijskog broja. [3,4]

Dva središnja pitanja svake znanosti su *kako* i *zašto*. Prirodne pojave poput gorenja, pretvorbe metala u okside i oksida u metale od najranijih dana fasciniraju ljudsku vrstu. U ovom radu pokušati ćemo pratiti taj put od najranijih vremena pa do kvantno-mehaničke paradigme znanosti. Na tom putu razvoja znanosti bilo je različitih objašnjenja prirodnih fenomena, ali tek nas je njihova ukupnost dovela do današnjih objašnjenja.

Povijest oksidacije i redukcije starija je od bilo koje druge grane znanosti uopće, a osobito kemije. Prvu namjernu kemijsku reakciju čovjek je napravio kada je svjesno zapalio drvo, pri čemu su se oksidirali ugljikohidrati (uglavnom celuloza) do ugljikovog(IV) oksida i vode.

Kemičari su tijekom stoljeća različite grane kemije razvijali različitim intenzitetom. Ironično je što se nakon razdvajanja znanosti, zbog količine i kompleksnosti informacija tokom devetnaestog i dvadesetog stoljeća, u dvadeset i provom stoljeću gotovo sva znanost vratila interdisciplinarnosti ranijih razdoblja. Nasuprot tome, ovdje će se pokušati pokazati jedan od temeljnih teorijskih, ali i praktičnih problema fundamentalne kemije, koji je izrazito doprinio ljudskom razumijevanju okoliša. Čista znanost mora zadržati svoju važnost kako se ne bi izgubili principi rada i razumijevanja kojima se onda može prilaziti istraživanjima koja ju prelaze.

Kemijska teorija počiva na eksperimentu. Možda i najreprezentativniji eksperimenti su oni koji uključuju oksido-redukcijske reakcije. Nekemičarima, a i mnogim kemičarima, najatraktivnije reakcije su one koje eksplodiraju, zapaljive su, gore u neuobičajenim uvjetima i sl. Stoga je svrsishodno upoznati se sa povijesnim temeljima istih, jer „historia magistra vitae est.“. Štoviše, imamo opravdanu nadu da će nam povijesni temelji otkrića poslužiti kao putokaz u budućim problemima s kojima će se znanost susresti.[5]

1.2. Reprezentacija i razvoj kemije

Reprezentacija je važna u kemiji jer nam daje uvid u moguće korelacije među eksperimentima, te teorijama temeljnim na tim istim eksperimentima, i pri tome ukazuje na mogućnost postojanja „više“ teorije, koja objedinjuje postojeće teorije te objašnjenja eksperimenata. Dobar primjer toga jest stvaranje periodnog sustava elemenata. Razvijen je na temelju slaganja elemenata po sličnosti reakcija (u jednoj razvojnoj grani) te relativne molekulske mase kombinirane sa teorijom spajanja elemenata u stalnim masenim brojevima (u drugoj grani). Kasnije je pokazana i pravilnost u broju elektrona vanjske ljuske i broja ljuski.

Činjenica je da drugačija reprezentacija koja upućuje na sličnost između određenih grupa ili unutar grupa ne mijenja istinitost niti sadržaj bilo koje od njih, ali nam olakšava interpretaciju i daje bolji uvid na potencijalne veze među jedinkama koje razmatramo. Zato je reprezentacija u kemiji možda i najvažniji alat u stvaranju teorije i paradigme u konačnici.[1]

Reprezentacija je ta koja je na kraju najviše pridonijela konačnom povezivanju te razumijevanju naizgled različitih reakcija kao reakcija i oksidacije i redukcije, to jest reakcija iste prirode. Bez dobre reprezentacije bilo bi izrazito teško uočiti pravilnost u kiselinsko baznim reakcijama, elektrolizi te reakcijama redukcije i oksidacije metala, kao i organskim reakcijama, te ih sve zajedno prepoznati kao reakcije zajedničke osnove, koja se na kraju pokazala i na subatomskoj razini.[5]

§ 2. Prikaz odabrane teme

2.1. Antika i srednji vijek

2.1.1. Antika

Svjesna čovjekova primjena tehničkog znanja na polju kemije započinje sa metalurgijom. Metalurgija se značajno drugačije razvijala ovisno o geografskom položaju. Tako kulture Sjeverne Amerike nisu došle do željeznog doba prije dolaska Europljana, dok je Kina ušla relativno rano i razvila specifične načine obrade metala, osobito željeza, koji su se temeljili na lijevanju, a ne kovanju kao u Europi i Japanu.[1]

Važnu ulogu poljoprivrednih kultura u razvoju pojmova oksidacije i redukcije imala je fermentacija. Time je organska kemija, na neki način, prvi puta ušla svjesno u polje ljudske manipulacije oksidacijom i redukcijom. Fermentacijom glukoze i fruktoze nastaje alkohol etanol, pa daljnjim kiselinskim vrenjem ocat. To su prve primjene oksidacije u biokemiji koje je čovjek svjesno koristio. Prvi znakovi vide se u Egiptu i Mezopotamiji, da bi se kasnije pojavili i u Kini i Japanu pa i u Sjevernoj Americi. Ocat je pri tome uglavnom bio nusproizvod čuvanja vina, i gotovo nikad se nije namjerno dobivao.[1]

Aristotel (a.C.n. 384 – a.C.n.322) (je postavio filozofske temelje, uvodeći četiri svojstva i počela (voda (suha i hladna), vatra (suha i topla), zrak (topao i vlažan), voda (hladna i vlažna) na koju su se onda nastavljali u protokemiji i alkemiji.[1]

Muzej i škola koja se razvila oko njega u Aleksandriji od utemeljenja služila je kao arhiva znanja („velika knjižnica“) te „rasadnik filozofskih ideja“. Neki od filozofa bavili su se kemijskim procesima i pri tome stvorili prvu ciljanu kemijsku aparaturu. Njih zajednički nazivamo aleksandrijskim protokemičarima. Aleksandrijska protokemija važna je također i zbog imena „kemije“. Pretpostavlja se da ime potječe od Zosima (4. stoljeće) – „chemeia“. Postoji nekoliko aktualnih tumačenja unutar povijesti kemije, izvora i izvornog oblika te riječi. Od njega također potječe i skretanje kemije prema ezoteriji koje je onda u daljnjim stoljećima povezala alkemiju sa okultizmom i mnogim heretičnim strujanjima vremena.[1,5]

2.1.2. Europa

U ranom srednjem vijeku propadanje znanja zaustavili su benediktinci. Kasnije, u vrijeme karolinške renesanse te uspona teologije, na zapad dolaze djela velikih grčkih filozofa koja se onda obogaćuju u kršćanskoj Europi. Arapi su pri tome imali udjela u prijenosu ranijih grčkih djela na nove centre kulture na zapadu Europe. Djela sv. Alberta Velikog (A.D. 1200 – A.D. 1280) i sv. Tome Akvinskog (A.D. 1225. – A.D. 1274.) imala su poseban značaj na razvoj kako teorijskih tako i tehničkih znanosti. Iako su oni uglavnom bili deskriptivni, postavili su temelje potrebi razumijevanja procesa u prirodi. Sv. Albert Veliki je napisao nekoliko djela o prirodi te dao izravnu kritiku alkemije. S obzirom na to da alkemija nije uspjela promijeniti narav tvari, ali je promijenila boju ili sastav reagensa, ostavio je mogućnost uspjeha međusobne pretvorbe tvari otvorenom. Zbog njegovog velikog zalaganja za prirodne znanosti proglašen je i njihovim nebeskim zaštitnikom.[1,5]

U isto vrijeme Robert Bacon otkriva barut neovisno o Kinezima, iako njegovo otkriće nije tada naišlo na značajan odjek. Kinezi barut poznaju od četvrtog stoljeća, a punu primjenu ima od devetog stoljeća. Barut se brzo proširio po cijeloj Europi, a onda i svijetu. Gorenje baruta jest upravo pravi primjer oksidoredukcijske reakcije, redukcija nitrata do dušika, oksidacija ugljika i sumpora u okside.[1]

2.2. Novi vijek

2.2.1. Znanstvena revolucija i uvod u flogistonsku teoriju

Znanstvena revolucija proteže se preko 17. do početka 18. stoljeća kao promjena paradigmi dotadašnje filozofije prirode u modernu znanost. Započela je s nagomilavanjem eksperimenata i konačnim odbacivanjem alkemije temeljene na Aristotelovim načelima za koju Boyle prvi koristi ime „kemija“. Boyle, Torricelli i Pascal su u tom razdoblju prvi intenzivno proučavali plinove (fizikalna i kemijska svojstva kako ih danas razumijemo), pri čemu je Boyle formulirao prvi plinski zakon koji je po njemu kasnije nazvan, dok je Torricelli prvi pokazao postojanje atmosferskog tlaka. Time su postavili temelje kasnijim istraživanjima.[1]

Robert Boyle (A.D. 1627. – A.D. 1691.) je prvi formulirao tezu o počelima kao onima koje treba eksperimentalno provjeriti, a onda ustanoviti ima li ih ili ne, te tek onda, ukoliko ih se

pronađe, dati opis. Također on je bio prvi atomist među uglednim kemičarima još od antičkih vremena.[1]

Boyle nikad nije otišao dalje u svojem razumijevanju oksidacije i redukcije od opažanja pojava koje je sljedeća generacija pripisivala deflogistoniranom i flogistoniranom zraku. Porast mase vapna pripisivao je česticama vatre.[1]

Robert Hooke (A.D. 1635. - 1703.) je, uz zakon kasnije nazvan po njemu, kemiji ostavio svoja zapažanja o zraku i gorenju, od kojih je najvažniji to što je uvidio da samo jedan dio zraka „gori" te da je sličan onom nastalom zagrijavanjem salitre (kisik). Ipak, nije pobliže istražio salitreni zrak (kasnije nazvan tako) pa je propustio povijesnu priliku otkrića kisika, kojeg je neovisno otkrilo barem trojica kemičara u približno isto vrijeme.[1]

John Mayow (A.D. 1641 – A.D. 1679), koji je bio suvremenik Boylea i Hookea i poprilično ignoriran od obojice, prvi je ustanovio da je spajanje zraka sa supstancom tokom gorenja ista kemijska reakcija. On je bio prvi kemičar koji je, u pokusu s oksidacijom antimona unutar zračnog balona i staklenim zvonom iznad vode, ustanovio smanjenje volumena plina i povećanje mase oksida u odnosu na metal iz pojave da se poveća razina vode pod balonom, pa se time smanji volumen zraka. Mayow je također zaključio (eksplicitno) da se zrak sastoji od dvije supstancije, jedna koja omogućuje oksidaciju i jedna koja ne omogućuje oksidaciju te da ona koja se spaja s metalom jest identična onoj nastaloj iz salitre, što je eksperimentalno pokazao. Oksidacijom metala u kiselinama također je priredio vodik, te dušikov monoksid otapanjem željeza u dušičnoj kiselini, čime je ustanovio da dušična kiselina sadrži salitreni dio koji ima moć oksidacije. Njegovo razumijevanje kemijskih procesa općenito je bilo najveće unutar vlastite i naredne generacije kemičara.[1,6]

U istom razdoblju u Europi nastaju prve znanstvene akademije koje su ostale i danas bitni centri znanstvenog istraživanja i obuke kadrova. Prva od njih bila je ona u Engleskoj (kasnije Ujedinjenom Kraljevstvu sa Škotskom, Velsom i Irskom), a od ostalih isticat će se Francuska (prije nasilnog rušenja monarhije – Kraljevska), Pruska i Ruska. One će biti izrazito bitne jer će se prvi put u povijesti javni novac na organiziran način početi izdvajati za organizirani znanstveni rad. Također, na njima su se sve kemijske teorije, počevši od flogistonske, pa sve do današnjih teorija širile u šire krugove, te obrazovanje nove generacije znanstvenika.[1]

2.2.2. Flogistonska teorija

Johann Joackim Becher (1635 – A.D. 1682) je na neki način završio „predteorijsko“ razdoblje kemije i postavio temelje narednog, flogistonskog, ustvrdivši da je zemlja zapravo zemljano počelo podijeljeno na tri vrste: kamena, masna i živina. Masna zemlja bila je pri tome počelo odgovorno za moć nekih tvari da gore.[1,7]

Flogistonska teorija kaže da je flogiston počelo zapaljivosti tvari. Tvari koje ga posjeduju imaju moć gorenja. Masa flogistona u izvorima teorije nije diskutirana ili izlagana, ali su eksperimenti brzo pokazali porast mase u procesima spajanja tvari sa flogistonom čime se flogistonska teorija suprotstavila Newtonu, koji je na temelju teorije gravitacije tvrdio da sve tvari imaju masu, pa posljedično spajanjem dvaju tvari masa mora rasti. U vrijeme razvoja flogistonske teorije Sthal (njen tvorac) nije bio upoznat s Newtonovim radom. Temeljila se na reakcijama oksidacije metala na zraku te redukciji vapna u metal. Tvari za koje se smatralo da sadrže flogiston imale su neko od sljedećih svojstava ili primjena: korištene za redukciju su ili gorile, ili su se mogle svesti na gorive, ili su se gorive tvari mogle svesti na reducirajuće. Flogiston je u toj teoriji bilo ono što su tvari međusobno razmjenjivale.[1,5,8]

Georg Ernest Sthal (A.D. 1659 – A.D. 1734.) je svoju teoriju temeljio na prethodnim znanjima i iskustvu u tehnološkoj kemiji. Uz navedeno, i Becherov rad inspirirao ga je da pokuša teorijski objasniti kemijske procese. Flogiston je u njoj bio materijalno počelo upaljivosti tvari, sadržano u tvarima koje ga mogu izmjenjivati. Iako je Sthal znao da se oksidacijom metala povećava masa krutine, nije tome pridavao ikakvu važnost. Velika pogreška Sthala bila je što je vapna, to jest okside metala, smatrao osnovnim tvarima jer je smatrao da dodatak flogistona njih pretvara u kovne metale. Zbog toga što metali imaju svojstva kovnosti i obrade za razliku od oksida, Sthal je smatrao da flogiston jest izvor tih svojstava te da se suha tvar, topiva u zraku i u okolišu, nalazi u nečistom obliku. Najčišće se pojavljuje u čađi nastaloj gornjem ulja. Osim toga, smatrao je da je flogistion neuništiv, pa kada ode u okoliš biljke od njega stvaraju gorive tvari kao što su smole, ulja, drvo i slično. Također, za Sthala je flogiston bio neodređen po pitanju između tvari i filozofskog pojma.[1,5,8]

Flogistonsku teoriju preuzela je većina tada aktivnog znanstvenog kadra kao i institucija. Neki su je preuzeli u potpunosti dok su je drugi pokušali modificirati ili preinačiti s obzirom na vlastite eksperimentalne, znanstvene ili svjetonazorske razloge. Friedrich Hoffmann (A.D.

1660. – A.D. 1742.), profesor na sveučilištu u Jeni, prihvatio je flogistion, ali samo na pokusu redukcije vitriola (sumporne kiseline) u sumpor, dok je na primjeru metala kojima raste masa kalcinacijom smatrao da se radi o spajanju s kiselom soli, koju je u tu svrhu pretpostavio/izmislio, ali ne i objasnio, i da ugljen uklanja istu iz vapna u suprotnom procesu redukcije. Pretpostavku je temeljio na činjenici da neke soli poput nitrata žarenjem postaju vapna. Njegovi prigovori originalnoj teoriji nisu uvaženi u tadašnjoj znanstvenoj javnosti.[1,5]

Herman Boerhaave (A.D.1668 – A.D. 1738) bio je jedan od rijetkih koji se izravno suprotstavio flogistononskoj teoriji, ali sam nije došao do bitno boljih zaključaka, izuzev činjenice da je zrak bitan za kemijsku reakciju, što je odavna Mayow bio utvrdio. Johann Juncker (A.D.1679. – A.D. 1759) kao nasljednik flogistonske teorije prvi je porast mase vapna u odnosu na metal pripisao povećanju gustoće. Ostali njemački kemičari 18. stoljeća nastavili su predavati flogistnosku teoriju sa manjim varijacijama, posuđenim uglavnom od Boyla. [1,5]

Guillaume François Rouelle (A.D. 1703 – A.D. 1770) je flogistonsku teoriju „donio“ u Francusku. U odnosu na Sthala razlikovao se time što je flogiston smatrao načelom gorenja, čime je teorija postala bliža francuskom načinu izražavanja te je definitivno uveo flogiston kao kemijski, a ne filozofski pojam, koji treba eksperimentalno pokazati. Postao je popularan kao jedini predavač koji je istovremeno bio i demonstrator na kraljevom dvoru te akademiji.[1,5]

Mihajl Vasiljevič Lomonosov (A.D. 1711 – A.D. 1765), utemeljitelj ruske kemije, također je bio flogistoničar vjeran Sthalovim tumačenjima, s razlikom da flogiston nije smatrao vatrenom tvari nego tvarnim počelom. Kod oksidacije metala smatrao je da povećanje mase dolazi od nekih čestica u zraku, ali nije specificirao vrstu ili narav tih čestica. On je također povezao opći zakon očuvanja s masom, ali nije ga jasno formulirao.[1,5]

Engleski kemičari 18. stoljeća primarno su se bavili plinovima, tako da je Stephen Hales (A.D. 1677. – A.D. 1761) patentirao pneumatsku kadu i njome skupljao plinove, iako nije doveo u pitanje jedinstvenost počela atmosferskog zraka. Joseph Black (A.D. 1728 - A.D. 1799.) i Johann Friedrich Meyer (A.D. 1727 – A.D. 1817.) pisali su neovisno i suprotstavljeno o prirodi ugljikov(IV) oksida, za kojeg je prvi ustanovio da nastaje kako gorenjem organskih tvari tako i žarenjem karbonatnih stijena, te je uz još neke pokuse dao teoriju alkalija, kojom je zapravo prepoznao kao alkalije tvari koje mi i danas prepoznajemo kao takve. Meyer je

pokušao spasiti flogistonsku teoriju uvođenjem masne kiseline koju vatra predaje vapnu pa ono postane žitko. Raspravu je okončao Niccholas Joseph Jacquin (A.D.1727 – A.D. 1817.), koji je pokazao da otopina alkalije nazad na sebe veže „fiksirani zrak“, kako se tada nazivao ugljikov(IV) oksid, porijeklom iz žarenja mramora. Black je uz doprinos teoriji alkalija i fiksiranog zraka precizno vagao reaktante i produkte, iako nije formulirao zakon očuvanja mase, te je po tome bio svojevrstan preteča Lavoisiera. Johann Christian Wiegleb (A.D. 1732 – A.D. 1800) je, nasuprot tome, učio da jetkost vapna dolazi od vatrene tvari, koja se ispuštanjem vezanog zraka veža na vapno.[1,5]

Najveći predstavnik flogistonske teorije u Ujedinjenom Kraljevstvu bio je Henry Cavendish (A.D. 1731. – A.D. 1810). Prvi je razlikovao vodik od drugih upaljivih plinova, toplinu je smatrao kinetičkim fenomenom, a ustanovio je i da ugljikov(IV) oksid nastao truljenjem jest jednak onome nastalom žarenjem vapnenca. Pretpostavio je da je flogiston upaljivi zrak (vodik) vezan na metalu. U njegovoj teoriji, kiselina s metalom oslobađa flogiston i daje sol, dok sa vapnom daje samo sol, što se smatralo prihvatljivim objašnjenjem. Time je efektivno vodik preuzeo ulogu tvarnog flogistona. Problem je bio što je vodik imao masu, a flogiston je nije trebao imati. Nakon otkrića da gorenjem vodika nastaje voda, teoriju je nadopunio tezom da je upaljivi zrak flogistonirana voda.[1,5,6]

Joseph Priestely (A.D. 1733. – A.D. 1804.) je grijanjem živina oksida lećom dobio zrak kojeg je on smatrao deflogistoniranm jer je podržavao gorenje svijeće. Sličan pokus, samo s manganovim dioksidom napravio je i Scheele, koji je pretpostavio da takav postoji kao dio atmosferskog zraka, potrebnog za disanje i gornje. Lavoisier je, također, otkrio kisik, ali je za razliku od ove dvojice ustanovio da je on bolji od običnog zraka za gorenje i disanje.[1,5]

Bošković je na neki način završio teorijsko razmatranje tog razdoblja pretpostavivši teoriju kombiniranjem Newtonove i Leibnizove teorije atoma i sila. Njegova teorija obuhvaćala je privlačne i odbojne sila među česticama, svedenim na materijalne točke. Kao kemičar zastupao je flogistonsku teoriju, to jest, ekvivalentnu teoriju sumporne supstance, koja je u biti ekvivalentna flogistonu. S obzirom da nije navodio svoje izvore, ne zna se sa sigurnošću da li je do nje neovisno došao ili ne. On je izveo zaključak o postajanju jedinstvene sile koja ovisi o udaljenosti među česticama te je to bio prvi teorijski opis kemijske veze. Prvi je zastupao apsolutnu lakoću flogistona.[1]

Carl Wilhem Sheele (A.D. 1742. – A.D. 1786.) je, kao i Cavendish, bio na granici flogistonske teorije. Dao je jednu od prvih defincija kemije naglašavajući pri tome ulogu iste u rastavljanju tvari i otkivanju svojstava tvari. Znao je da se zrak sastoji od dva fluida, od kojih onaj koji čini oko četvrtine volumena ima svojstvo privlačenja flogistona (kisik). Uz Tornbern Bergmanovu (A.D. 1735 - A.D. 1784.) pomoć nastavljena su istraživanja na plinovima. Doprinos njihove suradnje razvoju kemijske teorije bila je kategorizacija tvari i reakcija na flogistonirajuće i deflogistonirajuće tvari te kategorije reakcija kojima je cilj nekoj tvari predat flogiston odnosno nekoj tvari oduzeti flogiston (s obzirom na željeni produkt). Gorenje je objasnio kao proces u kojem flogiston i „vatreni zrak“ daju toplinu. Problem njegovog istraživanja bila je činjenica da je dušik lakši od kisika koji prima tvarni flogiston. Otkrio je klor, opisujući ga kao deflogistoniranu solnu kiselinu. Činjenicu da je kisik („vatreni zrak“) važan za gorenje, Sheele je tumačio time da je kisik dobar primatelj flogistona. Kasnije je zastupao teoriju u kojoj je vodik građen od flogistona, te da je voda sol koju flogiston gradi s kisikom.[1,5]

2.2.3. Lavoisierovi temelji kemije

Otkrića sinteze i analize vode bila su presudna za pad flogistonske teorije. Sheele i Cavendish bili su među posljednjim uglednim kemičarima koji su se njome ozbiljno služili, s time da je Cavedish, u kasnijim godinama, razdvojio svoje eksperimente od teorijske vezanosti držeći se samo iz sebi znanog razloga flogistona u teorijskim raspravama.[1]

Antoine Laurent Lavoisier (Slika 1.) (A.D.1743. – A.D. 1794.) je nedvosmisleno pokazao da se dio zraka veže na metal, odnosno nemetal gorenjem. Prvi pokus izveo je sa fosforom, zaključivši da je njegovo vapno primilo dio zraka (fosforov(V) oksid), a osjetio se i pozvanim ispitati sve procese vezane uz gorenje i disanje. Zaključio je da je plin nastao grijanjem dijamanta pod velikom lećom (uzrokuje zapaljenje) „fiksirani zrak“, ali nije došao do zaključka o jednakom sastavu grafita i dijamanta.[1,5]



Slika 1. Lavoisier sa suprugom.[9]

Prvi je, u procesu redukcije metala ugljenom, dokazao da nastali plin jest jednak fiksiranom zraku. Priestleyevo otkriće kisika vjerojatno ga je inspiriralo na provjeru pokusa te je godinu dana kasnije, A.D. 1775., ustanovio da je upravo to plin koji uzrokuje oksidaciju metala.[1]

Na temelju radova i pokusa nekolicine kemičara, kao i vlastitih pokusima sa zrakom, dušikom i dušikastom kiselinom i metalima, utvrdio je da su sve kiseline sastavljene dijelom od kisika (i nemetala), koji je odgovoran za njihovu kiselost. Na temelju gorenja fosfora pod staklenim zvonom odredio je udio kisika i dušika u zraku (koje je nešto kasnije takvima imenovao prema svojstvima koje je za njih odredio u francuskom izvorniku: *oxigene* i *azote* a prema prijedlogu latinske nomenklature oxigenium i nitrogenium). Logiku nazivanja elemenata prema nekom izraženom svojstvu upotrijebio je i na ostalim elementima koje je poznavao.[1]

Nasuprot Priestleyevom flogistonskom tumačenju disanja, kod kojeg hrana preko krvi predaje flogiston tijelu zaključio je da se radi o dijelu zraka koje tijelo prima (na temelju pokusa mijenjanja boje krvi kada se kroz nju propušta zrak različitog sastava).[1,5]

Izveo je teoriju po kojoj sposobnost tvari da gore proizlazi iz čistog zraka (kisika), a ne metala ili gorive tvari, te da porast mase slijedi iz njegovog vezanja na metal, a svjetlost i toplina se oslobađaju uslijed tog procesa. Pri tome je smatrao da je riječ o tvarnoj supstanciji koju je nazvao kalorikum. Konstruirao je i prve kalorimetre pokušavajući je izolirati. Tom teorijom zamijenio je flogistonsku. Prvi je ustanovio da sve tvari mogu biti u tri agregacijska stanja te da promjena istih ovisi o količini topline kojoj ih izloži.[1,5]

Uz Laplaceovu pomoć mjerio je promjene topline te zaključio da u svim reakcijama vrijedi zakon očuvanja mase i topline. Time je na još jedan način pokazao neistinitost flogistonske teorije s obzirom da masa oksida iste brojnosti jest veća od mase metala što nije moguće čak ni ako se pretpostavi da je flogiston beskonačno lagan.[1]

Pokus gorenja vodika potaknuo ga je da napravi pokus analize vode, koji se sastojao od željeza kao redukcijskog sredstva, te vode ili vodene pare uz povišenu temperaturu u uvjetima u kojima je mogao sakupljati nastali plin. Tako je uspio sakupiti vodik iznad taloga mješovitog željezovog oksida Fe_3O_4. Time je, napokon, dokazano da voda nije element nego spoj.[1]

Njegovi kritičari pokušali su flogiston preinačiti u svjetleću tvar, to jest, poistovjetiti kalorikum s flogistonom. Lavoisier nikad nije dokazao tvarnu narav topline. Pokazao je eksperimentalno da kada bi flogiston bio dio svjetlosne tvari onda bi ona bez ugljena mogla reducirati vapno u metale, što se ne događa, (osim u reakcijama disproporcioniranja, ali njih nije teorijski tumačio).[1]

Najveći nedostatci Lavoisierove teorije bili su u tezi da gorenjem izlazi iz tvari svjetlosna i toplinska tvar, čiju su hipotetsku egzistenciju pokušali iskoristiti za spas flogistonske teorije, teorijama pomirenja, ali bez velikog uspjeha. Drugi put „spasa“ vidjeli su u kloru, kojeg su tadašnji kemičari poznavali kao deflogistoniranu klorovodičnu kiselinu. Kao takav imao je kisela svojstva, ali nije sadržavao kisik.[1,5]

Njegovo djelo „Osnova kemije“ izdano A.D. 1789. postalo je važno ne samo zbog popularizacije moderne nomenklature, nego i konačnog pada flogistonske teorije u sljedeća dva desetljeća (posljednje osamnaestog i prvo devetnaestog stoljeća) čime je kemija konačno dobila vlastite teorijske temelje dostatne da je se smatra samostalnom znanosti. Unatoč značajnom znanstvenom napretku i radu, u ime razuma, jednakosti i slobode, kao plemića i zakupnika poreza, Prva Francuska Republika osudila ga je na smrt giljotinom, pogubljen je 8. svibnja A.D. 1794.[1]

Claude Lousi Berthollet (A.D. 1748 – A.D. 1822.) se u mnogim segmentima slagao sa Lavoisierovom novom teorijom, ali ne i s njenim ključnim dijelom da je kisik nužan za nastajanje kiselina, to jest, Sheeleova deflogistonirana solna kiselina (elementarni klor, iako to ovaj nije znao) otapala je metale (Fe i Zn) bez izlaženja vodika, a njena otopina stojeći na suncu razdvajala se na kisik i otopinu klorovodiče kiseline.[1,5]

2.2.4. Rješavanje problema klora i dorada Lavoisierove definicije kiseline

Halogeni su bili problematični za kemičare 19. stoljeća. Problematična su njihova izrazita aktivnost i elektronegativnost koja je onemogućavala da ih se lagano istisne iz njihovih soli (halogenida). Tek je elektroliza omogućila jednostavno dobivanje, pa time i proučavanje halogena te halogenida koji se ne pojavljuju u prirodi, a mogu se prirediti iz elementarnog halogena.[1]

Jospeh Gay-Lussac (A.D. 1778. – A.D. 1850.) bio je jedan od osnivača analitičke kemije, gdje je unaprijedio aparaturu i metode, te je pokušao riješiti problem klora. Otkrio je svih pet oksida klora i odredio im sastav, a pred sam kraj života napokon je dobio i klor.[1]

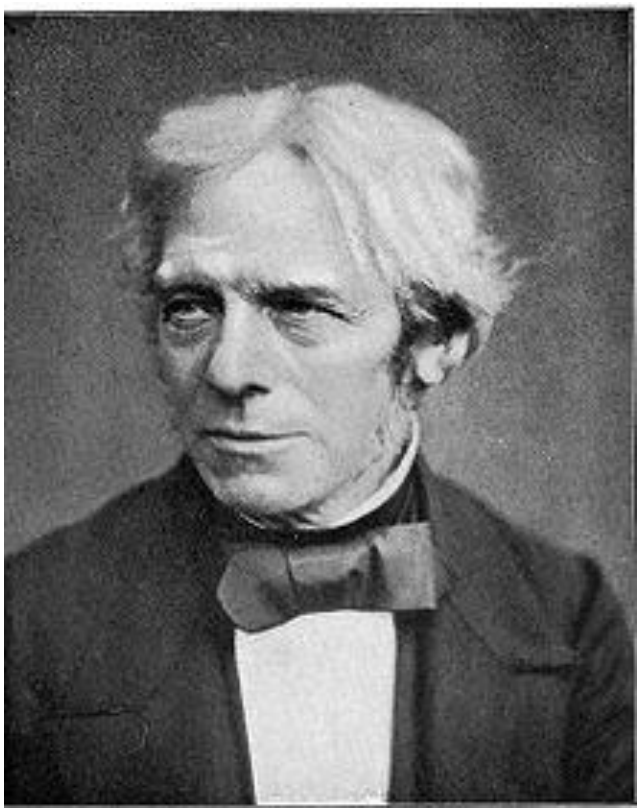
Humphry Davy (A.D. 1778. – A.D. 1829.) A.D. 1810. objasnio je narav klora - jedan od najvećih prigovora Lavoisierovoj teoriji, utvrdivši da oksimurijatčna kiselina (klor ili deflogistonirana solna kiselina) jest zapravo elementarne naravi, čime je kisik izgubio „poseban“ status promatranja. Prvo je pokazao kako solna (murijatična) kiselina daje s metalima vodik, a s oksidima vodu. Također je pokazao da ne sadrži kisik, s obzirom a se ne može reducirati ugljikom, a s fosforom nastaje bezbojna tekućina (PCl_3). S kositrom je dobio tetraklorid, takozvanu Libaviusovu tekućinu. Uz to, pokazao je da podvrgavanjem klorida elektrolizi ne nastaje kisik. Iz toga je zaključio da oksimurijatična kiselina zapravo jest element – klor.[1]

Otkrio je fluor kao analog klora, ali nije ga uspio izolirati, također mu pripisujući kisela svojstva. Pokazao je da su dijamant i grafit istog sastava, spaljivanjem u čistom kisiku uz pomoć velike leće – to jest, da su građeni od ugljika koji se na visokoj temperaturi zapali u čistom kisiku. Zanimljivo je da su mnogi kemičari, i dugo nakon što je postignut konsenzus da vatra predaje samo toplinu reakcijskoj posudi, preferirali zagrijavanje pomoću leća. [1]

2.2.5. Razvoj elektrokemije

Davy je dao veliki doprinos razumijevanju naravi elektriciteta. Izjavio je da veza između električnih i kemijskih svojstava postoji, ali nije mogao objasniti do koje razine. Smatrao je da se tijekom elektrolize voda ne pretvara niti u kiselinu niti u lužinu nego da se ona pretvara (razlaže) samo u vodik i kisik. Elektrolizom je pripravio natrij i kalij iz njihovih hidroksida, a u suradnji s Berzeliusom dobio je još neke elemente koristeći amalgame zemnoalkalijskih metala.

Michael Faraday (A.D. 1791. – A.D. 1867.) (Slika 2.) je u povijest znanosti ušao kao otac zakona elektrolize, te zakona indukcije. Prvi je pružio empirijski dokaz elektromagnetske prirode svijetlosti zakretanjem iste uzduž polja elektromagneta. Također je istraživao organske spojeve. Njegov doprinos razumijevanju oksidacije i redukcije proizlazi iz njegovog rada na elektrolizi te utjecaju katalizatora na oksidaciju. Pokazao je da je elektricitet taj koji uzrokuje oksidaciju odnosno redukciju na elektrodama, vjerujući pri tome da je električna sila isto što i kemijska. Nakon Boškovića to je prvo objašnjenje kemijske veze uopće, i do danas ostalo je poprilično točno za spojeve ionske naravi. Kasnije je pogrešna primjena istog uzrokovala Berzeliusov fanatični dualizam u građi tvari. Berzelius, nastavljajući pri tome Davyev rad, prvi je otkrio da platina može služiti kao pomoć u reakcijama, bez da se sama pri tome promijeni. [1]



Slika 2. Michael Faraday[10]

Uveo je pojmove anode i katode kako bi označio smjer struje (koji je zapravo suprotan od neto pomaka elektrona, sukladno Brownovom gibanju) i pojam elektrolita kao tekućine koja vodi struju. Faraday je imenovao: kationе kao pozitivne, a anione kao negativne ione, općenito ione kao nabijene čestice. Ustanovio je da količina naboja koja protekne kroz uređaj za elektrolizu odgovara preko konstante množini izlučenih čestica tokom elektrolize. Ta konstanta iznosi 96485.3329 ampera po molu. S njime električni afiniteti ozbiljno ulaze kao element kemijskog razmatranja. Iako je ispravno pretpostavio ione, njegova disocijacija iona bila je djelomično netočna s obzirom da nije dobro pretpostavio građu složenijih iona, osobito u spojevima sa kisikom (na primjer željezo(II) sulfat u disocijaciji prema Faradayu ima kisik vezan i na željezov atom i na sumporov atom).[1]

Jöns Jacob Berzelius (A.D. 1779. A.D. 1848.) je bio Faradayev i Gay-Lussacov suvremenik. Surađivao je s obojicom te razmjenjivao iskustva i pokuse koji su doveli do toga da su sva trojica imali određene zasluge za otkrića onog drugog. Bavio se primarno spojevima s kisikom. Vjerojatno je najzaslužniji švedski znanstvenik svog vremena za razumijevanje naravi tvari te otkrivanje novih elemenata. [1]

Tvrdio je da su svi spojevi građeni od električni pozitivno i negativno nabijenog dijela. Sveo je toplinu i svijetlo na neutralizaciju naboja. Pretpostavio je da su atomi svojevrsni dipoli u kojima jedan pol prevladava. Berzelijusova teorija je po naravi slična Faradayevoj teoriji ali on uzima puno radikalniji stav te se gotovo odmah nalazi u kontradikiciji s tvarima kao što su amalgami, ali i djelomično i kompleksnim solima. Kod amalgama živa i metal su istog metalnog porijekla, dok kompleksne soli između ostalog imaju i pozitivne nabijene ili neutralno vrste kao ligande oko pozitivno nabijenog metalnog centra (kao što je na primjer amonijak oko srebrovog centra). Omjerima naboja i njihove ukupne količine pokušao je objasniti empirijske pojave te uveo mjeru jakosti prema kisiku.[1]

Zanimljivo je da nije razlikovao razliku potencijala od količine naboja. Pedeset tri njemu poznata elementa svrstao je po elektronegativnosti od kisika kao najnegativnijeg do kalija kao najpozitivnijeg. [1,5]

Dualizam u građi tvari nikad nije do kraja primijenio u organskoj kemiji, što je impliciralo da je pretpostavio mogućnost drugačijeg povezivanja tvari. Teorijom radikala pokušao je teoriju primijeniti i na organske spojeve, što pokazuje želju da nametne svoju dualističku teoriju cijeloj kemiji. [1]

Zanimljiva je činjenica da su kemičari svih razdoblja povijesti masovno ignorirali eksperimente koji proturječe njihovim teorijama ili teorijama koje su zastupali, te čak i zastupali pomalo smiješne ideje spašavanja vlastitih teorija.

2.2.6. Utjecaj strukturne kemije

U razdoblju devetnaestog stoljeća kemijska javnost najviše se bavila omjerima u kojima se tvari spajaju, dok se rasprava o teoriji kemije našla van glavnog interesa većine kemičara. Počevši od Johna Daltona (A.D. 1766. – A.D. 1844.), sve do ranog 20. stoljeća kemičari nisu jasno definirali niti atome niti način njihovog spajanja, ipak, empirijski se pokazala stalnost masenih i volumnih omjera tvari u spojevima. S paralelnim razvojem elektrokemije kao i strukturne kemije, taj omjer polako je dobivao i „dimenzije“ valencije. Teorija kemijske veze kao veza nastala sparivanjem zajedničkog para elektrona (ili više parova elektrona) razvila se iz teorije valencije i otkrića elektrona. Valencija je svojstvo istovrsnog atoma da se u nekom omjeru spaja sa svim drugim atomima koji također imaju svoju valenciju.

Valencija je svoj razvoj započela unutar teorije radikala. Teorija radikala ponašala se prema spoju kao prema elementu u pokušaju da sistematizira kemijske reakcije. Ona se kasnije razvijala prema teoriji tipova i strukturnim modelima. Svi oni bili bi nevažni za oksidaciju i redukciju da nisu prvo implicitno onda i eksplicitno rezultirali uvođenjem valencija. [1]

Valencije na mnogo načina možemo razumjeti kao nastavak Daltonove teorije, ali i kao nastavak strukturne teorije. Teško da se temelji teorije valencija mogu pripisati jednom kemičaru, ali, među najzaslužnijima za njeno stvaranje, dobro je spomenuti Archibalda Scotta Coupera (A.D. 1831. – A.D. 1892.) i Friedricha Augusta Kekulea (A.D. 1829. – A.D. 1896.). Obojica su dali značajan doprinos na razvoju organske kemije, osobito ideje o ugljiku koji se spaja s četiri atoma vodika ili klora. Ipak, Edward Frankland (A.D.1825 – A.D. 1899.) prvi je A.D. 1852. artikulirao valenciju (tada „ekvivalenciju“) kao elementa s drugim elementom ili radikalom.[1]

Kasnijim povezivanjem valencija s oksidacijskim brojevima strukturna kemija je mogla objasniti i predvidjeti strukturu spojeva i na temelju oksidacijskih svojstava. U kombinaciji sa Lewisovim doprinosom povezivanja oksido-redukcijskih reakcija sa kiselinsko-baznim, te kemijskom vezom kao vezom koju gradi elektronski par, uvedena je nova nomenklatura (prvi put javno objavljen prijedlog A.D. 1919.), koju je razvio Alferd Stock (A.D. 1876. – A.D. 1946.). Njome je povezan broj elektrona koji se predaje, odnosno prima, sa valencijom. Kasnije će na temelju rada Linusa Paulinga (A.D. 1901. – A.D. 1994.) biti uveden oksidacijski broj, baziran na razlici elektronegativnosti. [1]

2.3. Kvantna kemija i 20. stoljeće

Praktički sva teorijska kemija, do otkrića subatomskih čestica, bila je bazirana na raspravi o reprezentaciji, te strukturi u molekuli i formulskih jedinki u prostoru. Krajem sedamdesetih godina 19. stoljeća pojavila se spekulacije o mogućnosti postojanja (subatomske) čestice koju je tek A.D. 1896. Joseph John Thomson (A.D. 1856. – A.D. 1940.) dokazao. Ta nabijena čestica naziva se elektron. Robert Andrews Millikan (A.D. 1868. – A.D. 1953.) je tek A.D.

1913. odredio elektronu naboj i masu. Također presudan je i Planckov zakon zračenja crnog tijela kojim je energija „postala“ diskontinuirana. [1]

Na temelju istraživanja od modela *kolača s grožđicama* pa do kvantno mehaničkog modela atoma prošlo je tri desetljeća, a za otkrića na tom polju uglavnom su Sommerfeldovi studenti dobili Nobelove nagrade.[1]

Ipak ključan je bio elektron. Tek sa dokazanim elektronom kemičari su dobili završnu kariku koja je omogućila povezivanje do tada različitih pojmova i tipova reakcija.

2.3.1. Teorija kiselina i baza

Povezivanje kiselinsko-baznih reakcija sa oksidacijom i redukcijom zahtijevao je nekoliko stupnjeva, od kojih je posljednji zahtijevao poznavanje subatomske građe atoma i naravi kemijske veze.

Kiseline su poznate još iz antike, te su one bile primijećene i kategorizirane, kao skupina spojeva različita od svih drugih s obzirom na svojstvo kiselosti. Također, isto vrijedi i za alkalije (s obzirom na svojstvo bazičnosti).[1]

Nakon Lavoisiera, sljedeću teoriju postavio je Svante August Arrhenius (A.D. 1859. – A.D. 1927.), pretpostavljajući da su kiseline tvari koje otpuštaju kation vodika, a baze one koje otpuštaju hidroksidnu skupinu otapanjem u vodi. Ta teorija bila je vrlo ograničena, ali je postavila *zdrave* temelje daljnjeg razvoja. Kasnije je teorija poopćena na parove konjugiranih baza i kiselina. Teoriju su postavili Johannes Nicholas Bronsted (A.D. 1879. – A.D. 1947.). i Tomas Martin Lowry (A.D. 1874. – A.D. 1936.). Oni su pretpostavili da voda može reagirati sa disociranom soli, točnije sa njezinim *ionskim ostacima*, i pri tome (ovisno radi li se o kiselini ili bazi) dolazi do međusobe protonacije odnosno deprotonacije, pri čemu se voda ponaša kao slaba kiselina, odnosno baza, u odnosu na disocirani ion koji se ponaša kao konjugrirana jaka, ili slaba baza ili kiselina. Soli jakih kiselina ponašaju se kao slabe konjugirane baze, soli slabih kiselina ponašaju se kao jake konjugirane baze, a soli jakih baza kao slabe konjugirane kiseline, dok se soli slabih baza ponašaju kao jake konjugirane kiseline. Ukupna pH vrijednost otopina dakle ovisi o izvornoj jakosti kiselina i baza čijom neutralizacijom jest nastala sol. Tom teorijom obuhvaćene su sve vodene otopine u kojima dolazi do disocijacije.[1]

Konačnu opću teoriju postavio je Lewis pokazavši da je kiselina ona koja prima elektronski par, a baza ona koja ga donira. Time je kiselinsko-bazna teorija prestala biti

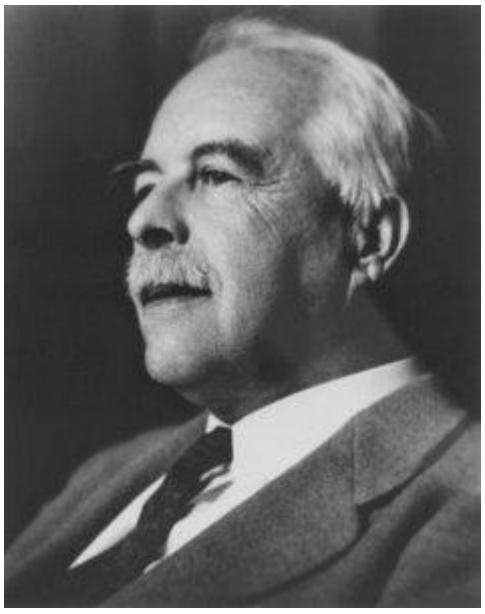
ovisna o tvarima koje se otapaju i disociraju u vodi. S obzirom da doniranje i primanje elektrona možemo pratiti u svim reakcijama u kojima dolazi, do promjene nabojnog broja, svojstva kiselosti i bazičnosti su time postala univerzalna. Promjena oksidacijskog broja nije ništa drugo nego oksido-redukcijska reakcija, kiselinsko-bazne reakcije imaju istu narav kao i okisdo-redukcijske reakcije. Time su dvije teorije spojene u jednu.[1,11]

2.3.2. Lewisova teorija veze

Bohrov model atoma vodika bio je prvi pravi model zasnovan na pretpostavci da dva elektrona u zajedničkoj orbiti grade kemijsku vezu. [1,9]

Gilbert Newton Lewis (A.D. 1875. – A.D. 1946.) (Slika 3.) je još A.D. 1902. zamislio model po kojemu bi elektroni bili smješteni na rubovima kvadrata čime bi se raspolagalo sa osam valentnih elektrona koji odgovaraju plemenitim plinovima (vodik i helij dva). Kossel je kasnije tu ideju razvio stavljajući elektrone na koncentrične kružnice.[1]

Lewis je pretpostavio da zajednički par elektrona grade kemijsku vezu. Atomi se mogu povezivati i višestrukim vezama. Ovisno o elektronegativnosti, oksidacijskom broju i slično, ovisi i stupanj i način povezivanja atoma u vezi. Iz toga je formulirao konačnu teoriju valentne veze. Nedostatk teorije bili su spojevi koje je gradilo više od četiri para elektrona. Kasnije je Lewisova teorija nadograđena, prvo dodatkom orbitala, a zatim hibridizacijom orbitala i teorija ligandnog polja uvodeći „unutarnje“ elektrone kao reaktivne. [1,9]



Slika 3. Gilbert Newton Lewis[12]

Ono po čemu je Lewis najznačajniji jest njegova sposobnost da poveže valencije, ione, solvataciju sa naravi elektrona. On je prvi kemičar koji je zaista vjerovao da u svim procesima u kojima se elektroni prenose sa jednog na drugi atom događa istovjetan tip reakcija. Te reakcije su oksido-redukcijske reakcije.

2.3.3. Konačna teorija oksidacije i redukcije

Lewisovim povezivanjem oksidacije i redukcije sa kiselinama i bazama, koje je izravno primjenjivo i na elektrolizu i galvanski članak, stvoreni su svi preduvjeti za valjanu definiciju. Ta definicija popraćana je i nomenklaturom, koja je konačno zamijenila valenciju oksidacijskim brojem. Prelazeći od definicije preko elektronegativnosti, koja je bila na snazi od sredine 20. stoljeća, IUPAC je konačno A.D. 1990. dao naputak o određivanju oksidacijskog broja prema centralnom atomu, čime je dana nova poveznica sa strukturnom kemijom.[13]

Kao što je rečeno u uvodu IPAC definira oksidaciju kao otpuštanje elektrona i povećanje oksidacijskog broja, a redukciju kao primanje elektrona te smanjenje oksidacijskog broja.[3,4]

2.4. Završna riječ

Kemija je daleko napredovala, kako kroz pred-znanstveno razdoblje tako i kroz tri stotine godina znanosti. Prvi veliki koraci za elementarno razumijevanje svijeta postavljeni su u Antici kao produžeci filozofije na „fiziku“. Prva znanstvena teorija u kemiji, flogistonska teorija, bila je zasnovana na oksidaciji i redukciji. To je samo jedan pokazatelj važnosti koju taj tip reakcija ima u kemiji. Kasnija otkrića produbila su razumijevanje tih procesa čime su *ipso facto* produbli ljudsko razumijevanje načina na koje se tvari i procesi u prirodi i iznad molekularne razine odvijaju. Očito je da bez razumijevanja oksidacije i redukcije ne možemo razumjeti ponašanje elemenata, nastanak spojeva.

U ukupnoj slici povijesti kemije vjerojatno najzaslužniji ljudi bili su Mayow, Sthal, Lavoisier, Faraday i Lewis za naše današnje razumijevanje oksido-redukcijskih procesa. Unatoč mnogim zaslugama drugih kemičara oni su u mnogim poljima bili daleko ispred i njihova životna djela položila su temelje sljedećih desetljeća razvoja kemije, makar je Mayow morao posmrtno čekati više od ostalih da njegov rad bude prepoznat kao takav.

§ 3. Literaturna vrela

1. D. Grdenić, Povijest kemije, Školska knjiga, Zagreb A.D. 2001.
2. N.Raos, Metali života – metali smrti, Školska knjiga, Zagreb A.D. 2008.
3. http://goldbook.iupac.org/O04362.html (preuzeto 14. rujna A.D.216.)
4. http://goldbook.iupac.org/R05222.html (preuzeto 14. rujna A.D.216.)
5. Predavanja H. Vančik , Povijest kemije, PMF, Zagreb, 7. listopada – 13. siječnaj A.D.2014.
6. https://www.britannica.com/biography/John-Mayow (preuzeto 8. srpnja A.D. 2016.)
7. https://www.britannica.com/science/phlogiston (preuzeto 16. lipnja A.D. 2016.)
8. https://www.britannica.com/biography/Georg-Ernst-Stahl (preuzeto 18. lipnja A.D. 2016.)
9. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/David_-_Portrait_of_Monsieur_Lavoisier_and_His_Wife.jpg (preuzeto 13. rujna A.D. 2016.)
10. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/Michael_Faraday_Millikan-Gale-1906.jpg/220px-Michael_Faraday_Millikan-Gale-1906.jpg (preuzeto 13. rujna A.D. 2016.)
11. https://www.britannica.com/biography/Gilbert-N-Lewis (preuzeto 27. srpnja A.D. 2016.)
12. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/21/Gilbert_N_Lewis.jpg (preuzeto 13. rujna A.D. 2016.)
13. http://goldbook.iupac.org/PDF/goldbook.pdf (preuzeto 18. rujna A.D. 2016.)