

# 1. poglavje

## Inženirji nevidnega: izdelovanje molekul

Narednik je poklical natakarico, naročil ječmenovo vino zase in malo steklenico »tistega« za svojega prijatelja. Nato se je zaupno nagnil naprej.

- Si kdaj odkril ali slišal za molikule? je vprašal.
- Seveda sem.
- Ali bi te presenetilo ali sesulo, če bi izvedel, da je molikulska teorija na delu v župniji Dalkey?
- No ... da in ne.
- Povzroča strašno razdejanje, je nadaljeval, pol ljudi trpi za njo, huje je kot koze.
- Bi zadevo lahko vzel v roke dispanzerski zdravnik ali državni učitelj, ali morda meniš, da je zadeva za glavo družine?
- Bistvo vsega skupaj, je odgovoril skoraj divje, je grofijski svet.
- Res se zdi zapleteno.

Najkrajši uvod v molekule je že bil napisan, pa še veliko bolj duhovit je od mojega. Flann O'Brien je bil mož, ki je rad serviral svojo učenost ob vrčku guinnessa, kakor bi razpravljajal o pridelku krompirja ali o groznem stanju cest, ki vodijo iz Dublina. Še malo se lahko okoristimo z modrostjo, ki jo narednik Fottrell deli z Mickom v hotelu Metropole, na dublinski glavni ulici:

- Ali si kdaj študiral molikulsko teorijo, ko si bil fant,? je vprašal. Mick je rekel da ne, vsaj ne podrobno.
- To bo zelo močna poenostavitev in nasilna okrajšava, je rekel resno, toda povem ti, stvar je zelo velika. Vse je sestavljeno iz

samcatih malih molikul, in one letijo naokrog v koncentričnih krogih in lokih in segmentih, v nešteti različnih drugih poteh, preštevilnih, da bi se jih dalo vse skupno poimenovati. Nikoli niso pri miru in nikoli ne počivajo, temveč se vrtijo in letijo sem ter tja pa spet nazaj, nikoli pri miru. Ali mi sploh še slediš? Molikule?

– Mislim, da ti.

– Tako so živahne kot dvajset nagajivih škratov, ki poplesujejo na vrhu nagrobnika. Poglej ovco. Kaj je ovca drugega kot milijon teh malih drobcev ovčjosti, ki se v metežu vrtijo naokrog znotraj živali.

Kaj je ovca? To preprosto vprašanje je bilo (pod mnogimi preoblekami) več kot dovolj, da so se znanstveniki ukvarjali z njim stotine let in se še bodo mnogo prihodnjih let. Znanost o molekulah nam da odgovor, vgrajen v celo hierarhijo odgovorov. Ukvarja se z »milijoni malih drobcev ovčjosti«, ki se imenujejo molekule. Ovca je mešanica več različnih vrst molekul – na desetine tisočev različnih vrst. Mnoge se pojavljajo ne samo v ovcah, ampak tudi v ljudeh, v travi, na nebu in v oceanih.

Toda znanost, ki išče globlje ravni razumevanja, se ne zaustavi pri tem. Ali niso ovčje molekule zgrajene iz atomov in ali niso atomi zgrajeni iz subatomske delce, kot so elektroni in protoni, ter ali niso le-ti zgrajeni iz subatomske delce, kot so kvarki in gluoni, in kdo lahko reče, kaj *oni* še vsebujejo znotraj svojih absurdno malih meja?

– Molikule so zelo podroben teorem in da se jih doumeti z algebro, toda lotiti se jih moraš postopoma, z merili in s kosinusi in z drugimi poznanimi orodji, in na koncu dostikrat končaš, ne da bi res verjel v to, kar si dokazal. Če se ti to zgodi, moraš slediti nazaj čez vse, dokler ne prideš do mesta, kjer lahko verjameš lastnim dejstvom in številkam, kot sledijo iz Hallove

in Knightove Algebre, in potem od tod naprej do kraja, dokler celemu šmornu zares ne verjameš, brez polverjetnih delčkov ali dvomov v svoji glavi, ki te bolijo, kot če imaš manšetni gumb sredi žimnice.

– Zelo drži, se je odločil reči Mick.

(Flann O'Brien, *Dalkeyski arhiv*)

Zares je zapleten posel odkriti, kaj molekule so, če želiš začeti na spodnjem (morda bi morali reči, globljem) klinu znanosti in se povzpeti navzgor. A to je nujno, če želimo zares razumeti, zakaj se molekule vedejo, tako kot se, in posledično, zakaj snov – bodisi ovca ali skala ali okenska šipa – kaže svojo značilno paletu lastnosti. Toda mnogim znanstvenikom, ki delajo z molekulami, se ni potrebno ubadati z algebro, kajti njene posledice se da običajno zreducirati na praktična pravila o tem, kako molekule reagirajo druga z drugo. Kemična industrija je bila cvetoče podjetje, še preden je kemija našla svojo matematiko. To je le način, na katerega povemo, da ni nujno, da vas bo zaradi molekul bolela glava.

## Zapustiti tabelo

Zanimivo je, da je Flann O'Brien, ko je v svojem najbolj znanem romanu *Tretji policaj* (objavljenem po njegovi smrti leta 1966) predelal pogovor med narednikom Fottrellom in Mickom iz *Dalkeyskega arhiva*, sistematično zamenjal »molekularno teorijo« z »atomska teorijo«. S tem je pokazal na točko nedorečenosti glede tega, iz česa so stvari zgrajene. Ali so to atomi ali molekule? Kemiki nam pošiljajo mešana sporočila. Njihov ikonični kriptogram je tabela periodnega sistema, seznama dvaindevetdesetih naravnih elementov (z nekaj dodanimi nestabilnimi umetnimi), urejenih v vzorec, ki jih kemikom pomaga doumeti. Najbolj znana knjiga »o« kemiji, ki jo je napisal italijanski kemik in pisatelj Primo Levi, je poimenovana po tem tabelaričnem prikazu gradnikov snovi in še krepki vtis,

da se kemija prične s to nepravilno mrežo simbolov. V šoli so me vzpodbujali, da sem se naučil spominske kode za elemente prvih dveh vrstic tabele, ki so najpomembnejši. Za dodiplomsko kemijo je bilo potrebno zrecitirati celo stvar iz spomina, vedeti, da iridij leži ob nogah kobalta, da je evropij v sendviču med samarijem in gadolinijem. Toda dvomim, da bom kadarkoli uzrl samarij (čeprav evropij rdečkasto sije na nas s televizijskih zaslonov).

### **Elementi: *Periodni sistem* Prima Levija**

V zraku, ki ga dihamo, so tako imenovani inertni plini. Njihova čudna učena imena izvirajo iz grščine in pomenijo toliko kot »nov«, »skrit«, »brezdelen«, »tuj«. Tako zelo so inertni in kemijsko nereaktivni, kot da bi jim njihovo stanje nadvse prijalo, in se ne spajajo z nobeno drugo prvino. Zato jih dolgo niso odkrili: komaj leta 1962 se je prizadevnemu kemiku posrečilo, da je s trdom in z iznajdljivostjo prisilil tujca (ksenon), da se je bežno spojil s pohlepnim, živahnim fluorom. Ta podvig se je zdel tako izreden, da so mu podelili Nobelovo nagrado ...

Natrij je degenerirana kovina: pravzaprav je kovina le v kemijskem pomenu besede, ne pa tudi v pogovornem jeziku. Ni ne trd ne prožen, temveč mehak kot vosek; nima leska oziroma ga ima le, če ga varujemo z obsedeno pazljivostjo, sicer se na zraku hipoma prevleče z grdo raskavo plastjo; še hitreje reagira z vodo, na kateri plava (kovina pa taka!), vratolomno poplesuje in razvija vodik ...

Gram sladkorja sem stehal v platinastem topilniku (za naju je bil dragocen kot punčica v očesu), da ga upepelim ob plamenu. V onesnaženem ozračju laboratorija je zavel domač in otroški vonj žganega sladkorja, takoj nato pa je plamen obledel in zaznal sem popolnoma drugačen vonj. Bil je kovinski, česnat, anorganski, pravzaprav kontraorganski: gorje, če kemik ne bi imel voha. Od te točke dalje je bilo delo preprosto: filtrirati

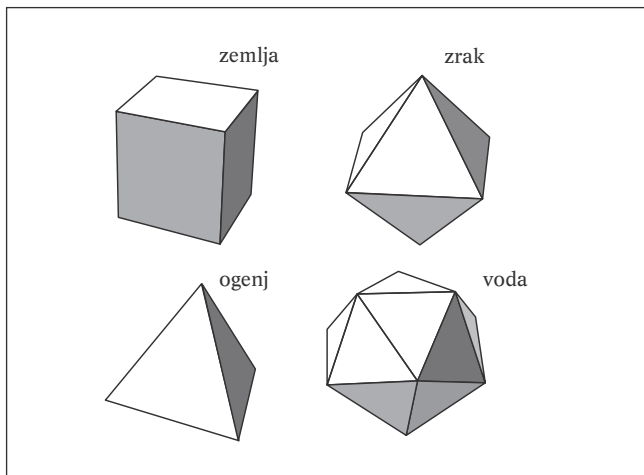
tekočino, jo kisati, s kippovim aparatom razviti vodikov sulfid. Tukaj je zdaj rumena sulfidna oborina, arzenov trioksid, skratka arzenik, močni pripomoček Mitridata in madame Bovaryjeve.

Primo Levi, *Periodni sistem* (1975)

Toda kemija govori o lastnostih elementov le po naključju in znanost o molekulah si zlahka privoščiči, da ignorira mnoge od njih, če že ne vseh. Tabela periodnega sistema pripada kraljestvu, kjer kemija postane fizika, kjer moramo na plan privleči algebro in kosinuse, da bi razložili, zakaj atomi elementov gradijo posebne zveze, imenovane molekule. Tabela je eno najlepših in globokih odkritij 19. stoletja, toda do odkritja kvantne mehanike, ki so jo iznašli fiziki v 20. stoletju, se je dalo nanjo gledati le kot na zagonetno šifro, nekakšen »plonk listek«, ki je služil v opomin, da elementi prihajajo v družinah, katerih člani kažejo podobna nagnjenja.

Morda sem se prehitro znebil periodnega sistema. Najmanj, kar je, tega ne bi smel storiti, ne da bi priznal svojih skritih namenov.

Običajna zgodovina kemije jih predstavlja kot prizadevanje za razumevanje snovi: spraševati, iz česa so stvari. To povezuje kemijo s starogrško filozofijo, s poskusi Levkipa in njegovega učenca Demokrita, da bi formulirala atomsko teorijo snovi v 5. in 4. stoletju pred našim štetjem. Daje nam zgodbo, ki teče od Empedoklovih štirih elementov: zemlje, zraka, ognja in vode, mimo Platonove poroke teorije elementov z atomizmom (slika 1), previdno smukne okoli verovanj srednjeveških alkimistov v transmutacijo elementov in se veselo vžge ob flogistonski teoriji 18. stoletja. Opazujemo Roberta Boyla pri redefiniciji ideje elementa leta 1661 (ki pa zares ni čisto prava redefinicija), vidimo, kako se antična shema štirih elementov



1. **Platonovi atomi.** Grški filozof je verjel, da imajo najmanjši delci štirih elementov, za katere so tedaj mislili, da sestavljajo vse, pravilne geometrične oblike.

sesuje pred odkritjem novih »neizvedenih substanc«, vidimo, kako Antoine Lavoisier zavrne flogiston in ga nadomesti s kisikom, preden zgubi glavo pod rezilom giljotine leta 1794. John Dalton nam leta 1800 da moderno atomsko teorijo, seznam elementov se skozi stoletje izjemno razširi in nato jih Dimitrij Mendelejev uredi v dvostolpičasto zgradbo periodnega sistema. Praznine se polagoma napolnijo vse do urana (sicer poznanega od leta 1789), Wolfgang Pauli in drugi kvantni fiziki pa razložijo obliko tabele v dvajsetih letih 20. stoletja.

In tako je naloga pri koncu. Po znanstvenem piscu Johnu Horganu v *Koncu znanosti* je to pomenilo, da je tudi kemija pri koncu, ko je enkrat dobila odobritveni kvantni žig. Iz tega izhaja sklep, ki ga srečamo v več drugih sodobnih knjigah

o znanosti v prihodnje: da disciplino, pozornost vzbujajočo zaradi svoje odsotnosti, požira na obeh koncih. Na najbolj osnovnem nivoju je postala fizika (vključujoč ogromno, a prezrto vejo, imenovano fizika kondenzirane snovi, ki tuhta, kako se vede otipljiva snov). Na najbolj kompleksnem nivoju je v posesti biologov, ki so razširili svoj svet, da bi vključili molekulsko mehaniko celice.

Toda te akademske vojne za ozemlje skrivajo mnogo bolj zanimivo resnico. Pomenljivo dejstvo je, da so mnoge zgodovine znanosti napisali fiziki, ki imajo težnjo po predstavljanju znanosti kot zaporedje vprašanj in odgovorov. Zanimivo bi bilo videti zgodbo, kot bi jo povedal inženir, ki bi verjetno nagonsko vprašal: Kaj lahko izdelamo? Nekaj časa so nekateri naši protokemiki želeli secirati snov, bodisi fizično bodisi metafizično, drugi so jo vneto predelovali. Zato je znanost o molekulah hkrati kreativno in analitično prizadevanje. Večkrat v zgodovini se je ukvarjala z izdelovanjem keramičnih posod, barv in pigmentov, plastike in drugih sintetičnih snovi, zdravil, zaščitnih premazov, elektronskih komponent, strojčkov velikosti bakterij. »Čudno bi bilo,« pravi nobelovec za kemijo Roald Hoffmann, »če bi kemiki morali sprejeti metaforo *odkritja*.« Nadaljuje:

Kemija je znanost o molekulah in njihovih preobrazbah. Nekateri teh molekul so zares *tu* in samo čakajo, da jih odkrijemo ... Toda mnogo več molekul v kemiji naredimo mi v laboratoriju ... V srcu kemije je molekula, ki je ustvarjena, bodisi v naravnem procesu ali od človeka.

Univerze, ki skrivajo svoje kemijske oddelke pod praporom »molekulske znanosti«, imajo morda prav; kajti to nekoliko sprošča pritisk periodnega sistema in pušča kemikom prostost, da se vzpenjo v svet sinteze, v neplatonsko kraljestvo, kjer so molekule ukrojene in prisiljene *delati* stvari, kot na primer

zdraviti virusne okužbe ali shranjevati informacije ali držati most skupaj.

Kot industrijski kemik se je Primo Levi gibal v tem svetu. Malo se je opravičeval zaradi svoje molekulske znanosti: imenoval jo je »nizka kemija, skoraj kuharska«. Toda moč »nizke« kemije je strašljiva. Obrne milijarde dolarjev letno, bolne lahko ozdravi in zdrave naredi bolne. Hamburg in Dresden je opustošila nizka kemija; kemijskega in biokemijskega orožja se na zahodu bojimo bolj kot jedrske vojne. Mnogi ljudje verjamejo, da je bila jedrska bomba proizvod fizike, toda če zapišete  $E=mc^2$ , še ne dobite Hirošime. Šele ločevanje izotopsko različnih molekul uranovih spojin je to storilo. V romanu *Mavrica težnosti* Thomas Pynchon niti malo ne dvomi o tem, kje leži prava moč znanosti: njegov fiktivni malopridnež konca druge svetovne vojne ni Bomba, ampak nova plastika, »aromatski heterociklični polimer«, imenovan imipolex G, razvit v tajnosti med evropskimi gigantskimi kemijskimi družbami IG Farben, Ciba, Geigy, Shell Oil in ICI. Sporočilo je, da snov govori glasneje\* kot teorije.

Ali to pomeni, da je molekulska znanost slaba? Seveda ne – pomeni, da je obrt, polna možnosti. Čudovite, navdihujoče, domiselne možnosti. Strašne, moraste možnosti. Vsakodnevne, a uporabne stvari, bizarne stvari, težko doumljive stvari. Molekulska znanost lahko nekega dne pomaga ljudem pri rasti novih jeter. Rafael, Rubens in Renoir so slikali z molekulami. Molekule so orkestrirale izvor življenja.

\* Po koncu vojne je skupina zaveznikov, ki jih je zbral Eisenhower, trdila, da »brez ogromnih proizvodnih zmogljivosti IG [Farben], njihovega daljnosežnega raziskovalnega dela, raznolikih tehničnih izkušenj in vsesplošne koncentracije ekonomske moči Nemčija ne bi zmogla začeti agresivne vojne v septembru 1939«. Ena od hčerinskih družb IG Farben, Degesch, je izdelala strupeni plin Ciklon B, ki so ga uporabili v koncentracijskih taboriščih.



### Sinteza: *Mavrica težnosti* Thomasa Pynchona

Virom imipolexa G lahko sledimo nazaj do zgodnjih raziskav, ki so jih opravljali pri du Pontu. Plastika ima dolgo tradicijo in glavni tok, kamor po naključju sodita prav podjetje du Pont in njegov sloviti uslužbenec Carothers, znan kot Veliki sintetik. Njegovo klasično preučevanje velikih molekul je potekalo skozi vsa dvajseta leta in nas pripeljalo neposredno k najlonu. Ta ni le v veliko veselje fetišistu in pripraven oboroženemu uporniku, temveč je bil v tistem času in doobdobju znotraj Sistema tudi naznanilo glavnega kanona Plastike: da kemiki niso več na milost in nemilost prepuščeni Naravi. Zdaj so se lahko odločili, katere lastnosti bi hoteli od molekule, potem pa so se lotili dela in jo zgradili ... Želeni monomer visoke molekulske teže so lahko spojili v niz, tega zavili v heterociklični obroč, sklenili in povezali v verigo z bolj »naravnimi« benzenskimi ali aromatskimi obroči. Take verige so bile znane pod imenom »aromatski heterociklični polimeri«. Eno takih hipotetičnih verig, ki si jih je tik pred vojno zamislil Jamf, so pozneje modificirali v imipolex G.

Thomas Pynchon, *Mavrica težnosti* (1973)

## Kaj so molekule?

Torej molekule tvorijo vse, kar je? Ne povsem. Vsa snov (razen nekaterih čudnih astrofizikalnih okolij) je sestavljena iz atomov; toda atomi se ne organizirajo vedno v molekule. (Ne morem reči, ali je Flann O'Brien naredil preklon iz »molikul« na atome, ker je razumel ali ker ni razumel razlike.) Večina atomov je sama po sebi zelo reaktivna – imajo predispozicijo za združevanje z drugimi atomi. Molekule so zadrage, trdno zvarjene skupaj v konstrukcije, vsebuječe do več milijonov atomov.

Toda tu je še ena, bolj subtilna razlika. Narednik Fottrell Flanna O'Briena govori o »molikulah« skale in železa. Strogo vzeto kaj