

Azbuka prirode

KAKO SMO OTKRILI DA JE SVE NA ZEMLJI SAZDANO OD ATOMA

Ako bi u nekoj kataklizmi sva naučna saznanja bila uništena, tako da samo jedna rečenica bude prenetá sledećim generacijama stvorenja, koja bi tvrdnja sadržala najviše informacija u najmanje reći? Sve je sazdano od atoma.

Ričard Fejnmen

Videti svet u zrncu peska
I nebo u divljem cvatu,
Držati beskraj na dlanu ruke
I večnost u jednom satu.

Vilijem Blejk

U maglama drevnog doba mnogim je ljudima sigurno palo na pamet da se upitaju: šta će se dogoditi ako uzmem ovu grančicu, ovaj komad tkanine, ovu glinenu tablicu, pa je prepolovim, a onda prepolovim ponovo? Da li bih mogao to da radim u beskraj? Ili bih na kraju došao do tačke kada više ne bih mogao da je sečem na manje polovine? Prva osoba koja je zabeležila odgovor na to pitanje bio je grčki filozof Demokrit.

O Demokritu se malo zna. Njegove zamisli došle su nam isključivo u tuđim zapisima. Rođen je oko 470. pre nove ere, ali niko tačno ne zna gde. Mnogo je putovao po Sredozemlju i osnovao je školu u Abderi, u Trakiji. Sada se tamo nalazi grčki grad Avdira,

blizu granice s Bugarskom, ali u petom veku pre nove ere bila je to bogata i prometna luka na obalama Egeja.

Demokrit je bio opsednut jednim jedinim pitanjem: kakva je priroda materije? To pitanje je više od jednog veka pre njega prvi postavio Tales iz Mileta, osnivač grčke filozofije, ali neprecizna formulacija pitanja onemogućila je da se dođe do zadovoljavajućeg odgovora. Demokritov genije ogledao se u načinu na koji je on usavršio Talesovo pitanje. U neumornim, iscrpljujućim raspravama sa svojim učiteljem Leukipom, preobrazio je neodređeni upit u izvanredno precizno pitanje koje je moglo imati samo dva moguća odgovora: Može li se materija beskrajno deliti?

Demokritov odgovor bilo je nedvosmisleno *ne*. Bilo mu je apsolutno nezamislivo da se neki materijalni predmet može bezgranično seći u sve manje i manje delove. Pre ili kasnije, razmišljao je on, takvo sitnjenje mora dovesti do zrnca materije koje se više ne može smanjiti. Pošto je grčki izraz za nešto što se ne može seći bio *a-tomos*, Demokrit je krstio neuništiva zrnca od kojih je sve sazdano „atomima“. „Ustaljen je pojam slatkog, ustaljen je pojam gorčine, ustaljeni su pojmovi vrućeg i hladnog, kao i pojam boje“, napisao je. „Ali zapravo postoje samo atomi i praznina.“

Atomi i praznina.

Ta zamisao je smesta objasnila nekoliko odlika sveta koje bi bile neobjašnjive da je materija neprekidna, a ne sastavljena od čestica. Na primer, kuda ode so kada se promeša u posudi s toplom vodom? Ako je Demokrit u pravu, ona se jednostavno razloži u svoje sastavne atome koji se zatim uglave u prazan prostor između atoma vode. Zamisao o atomima objasnila je i to kako ribe mogu da plivaju morem. Da je voda materijal bez prostora u sebi, ne bi u njoj bilo mesta da se riba provuče. Međutim, ako je svet sazdan od atoma između kojih se nalazi prazan prostor, vrh riblje njuške može da se provuče između atoma vode i razmakne tečnost kao zavesu pred ribom koja pliva napred.

Nije bilo nikakve sumnje da atomi mogu da objasne neke zbujujuće pojave. Ali uistinu, oni su bili samo rezultat sanjarenja jednog čoveka. Ako atomi zaista postoje, previše su mali da bi ih

čula neposredno opazila. Kako se onda uopšte može utvrditi jesu li stvarni ili ne? Na svu sreću, postojao je način za to.

Trik je bio u tome da se pretpostavi da atomi postoje, pa da se zatim izvede logičan zaključak iz te pretpostavke primenljiv na svakodnevni svet. Ukoliko zaključak odgovara stvarnosti, onda zamisao o atomima ima osnova. Ukoliko nije tako, vreme je da se potraži neka bolja zamisao.

Zapravo, Demokrit je upravo takvu argumentaciju upotrebio kao potporu za svoju revolucionarnu zamisao. Pretpostavivši najpre da atomi postoje, izveo je zaključak da so treba da se rastvara u vodi i da riba bez poteškoća može da pliva morem, a oba zapažanja bila su u skladu sa stvarnošću.

Međutim, sposobnost različitih supstanci da prožimaju jedna drugu bila je tek „kvalitet“ materije. Ako je zamisao o atomima trebalo da se postavi na čvršće osnove, bilo je neophodno iz postojanja atoma izvesti neko merljivo svojstvo materije – „kvantitet“ koji se može izmeriti lenjirom, vagom ili nekim drugim mernim instrumentom. Međutim, izvođenje preciznog svojstva materije nemoguće je bez precizne slike atoma.

Demokrit je zamislio kako slobodni atomi neprestano lete kroz prazan prostor. Stoga je bila potrebna precizna slika načina na koji atomi lete kroz prostor. Takva slika zahtevala je poznavanje zakona koji vladaju svakim kretanjem. Međutim, njihova formulacija daleko je prevazilazila Demokritove sposobnosti. Ona je morala da sačeka na razvoj nauke.

RAZVOJ NAUKE

Iako su bilo tako sjajni i briljantni, Grci nisu izmislili nauku. Mada su mislioci poput Demokrita beskrajno spekulisali o velikim sveobuhvatnim principima koji kontrolišu kosmos, bili su fatalno ometeni time što nisu bili skloni da stave svoja razmišljanja na probu čačkajući i bockajući po svetu oko sebe. Na drugom kraju spektra bile su zanatlije, koje su pekle i polirale grnčariju, kovale oružje od bronzne i gvožđa. Oni su čačkali i bockali po svetu, ali

je njih ometalo to što nisu bili skloni da razmišljaju o principima od kojih je zavisio njihov zanat.

Hiljadama godina te dve tradicije ostale su sasvim razdvojene – naučna tradicija, ovaploćena u onima koji su teoretisali o svetu, ali su izbegavali da uprljaju ruke, i zanatska tradicija, za koju su bili tipični oni koji su sticali saznanja o svetu iz neposrednog, opipljivog iskustva, ali o tome što rade nisu razvili nikakvu teoriju koja bi mogla da ukaže na to kako da se njihov posao usavrši.

Dve tradicije su bile kao dve reke koje su se ulivale u more. Od njihovog eventualnog spajanja moglo se očekivati stvaranje veće, moćnije reke. Ali ono što je zapravo stvoreno bila je nesavladiva, nezaustavljiva poplava.

Treća tradicija koja je nikla iz spajanja naučne i zanatske tradicije bila je, naravno, nauka.

Nauka je bila neizmerno moćan metod istraživanja sveta. Obuhvatala je pažljivo eksperimentisanje, sa samom prirodom kao konačnim sudijom o tome koje su teorije tačne, a koje ne. U šesnaestom i sedamnaestom veku, novi revolucionarni metod počela je da primenjuje mala grupa dalekovidnih ljudi, među kojima je samo nekolicina odmah spoznala moć oruđa koje im se našlo u rukama. Niko iz te grupice nije ovu alatku koristio efikasnije od Isaka Njutna.

ZAKONI KRETANJA

Baš kao što su svi putevi nekada vodili u Rim, sve staze nauke neumitno vode natrag do Njutna koji se osnovano može smatrati najmoćnijim intelektom koji je svet ikada imao. „Priroda je za njega bila otvorena knjiga, čija je slova mogao da čita bez ikakvog napora“, napisao je Albert Ajnštajn. Njutn je na vasionu gledao kao na džinovsku zagonetku koju je postavio Tvorac, zagonetku koja se mogla rešiti neumornom primenom čiste misli. U tom zadatku pomagala mu je gotovo nadljudska moć koncentracije, koja mu je omogućavala da nedeljama zadrži neki apstraktan problem u mislima sve dok mu on konačno ne otkrije sve svoje tajne. Poput

grčkih filozofa pre njega, Njutn je pokušao da raspozna univerzalne principe koji vladaju svetom. Međutim, za razliku od Demokrita i njegovih savremenika, on je eksperimentisao kako bi stavio na probu svoje teorije i istovremeno otkrivao nove pojave.

Njutново istraživanje načina na koji se tela kreću dovelo je do njegovih slavnihi „zakona kretanja“ koji objašnjavaju reakciju masivnih predmeta podvrgnutih dejstvu sile. Primenom zakona na svakodnevni svet, Njutn je mogao da objasni kako to tegovi padaju s visokih kula, kako ispaljeno đule leti kroz vazduh i zašto se kugle odbijaju jedna od druge kada se sučelice sudare.

Ali Njutn tu nije stao. Svoje zakone kretanja preneo je u sasvim drugačiju oblast: u oblast Sunčevog sistema, gde se velika tela poput Meseca i planeta kreću pod uticajem nevidljive ali sveprisutne sile gravitacije. Pri tom je Njutn bio u stanju da objasni zbog čega Mesec dvaput dnevno izaziva plimu i oseku u svetskim okeanima, te zašto se planete kreću elipsastim putanjama oko Sunca.

Zapravo, Njutnovi zakoni kretanja bili su toliko uspešni da su postali standardni deo osnovnog pribora nauke. Jedan od onih koji su ih briljantno i efikasno koristili bio je švajcarski matematičar iz osamnaestog veka po imenu Danijel Bernuli. Ako se Njutnova genijalnost ogledala u tome što je svoje zakone kretanja primenio u oblasti veoma velikog, Bernulijeva je bila u tome što ih je primenio na oblast veoma malog: na svet atoma.

ATOMI U POKRETU

Bernuli je najpoznatiji po svom otkriću da „pritisak“ tečnosti ili gasa opada kada se tečnost ili gas primora da brzo teče. „Bernulijev efekt“ svakodnevno koriste letelice čija su krila takvog oblika da vazduh brže teče preko njihovih gornjih nego preko donjih površina. Upravo je veći pritisak koji tera krilo uvis ono što omogućava „podizanje“ neophodno za let predmeta težih od vazduha.

Ali Bernuli nije tek bio pionir u oblasti „protoka fluida“, već je učinio i mnogo više. Izveo je i revolucionarno istraživanje atoma i njihovog uticaja na merljiva svojstva materije. Bernuli nije imao

pojma o tome kako atomi izgledaju, pa čak ni koliko su veliki. Međutim, imao je jednu veliku prednost nad Demokritom. Znao je da slobodni atomi nisu tek malena zrna koja lete po prostoru; oni su malena zrna koja lete po prostoru i poštuju Njutnove zakone kretanja. Da bi na najbolji način iskoristio ovu spoznaju, Bernuli je morao da pronađe situaciju u prirodi gde bi precizno saznanje o načinu na koji atomi lete moglo da dovede do predskazanja nekog merljivog svojstva materije. Prepoznao je takvu situaciju u slučaju gasa, koji je zamislio kao mnoštvo malenih zrna u neprekidnom mahnitom kretanju, nalik na roj ljutih pčela.

Razmišljajući tako, Bernuli je shvatio da atomi takvog gasa moraju neumorno da udaraju o zidove svake posude u kojoj se gas nalazi. Učinak svakog pojedinačnog udara bi, naravno, bio zanemarljivo mali. Međutim, učinak milijardi i milijardi atoma koji neprekidno lupaju mogao bi da pogura i čitav zid. Dakle, gas sazdan od atoma ispoljio bi neumornu silu koju bi naša gruba čula osetila kao obično guranje ili „pritisak“.

U tome se sastojala Bernulijeva velika spoznaja: u povezanosti ponašanja malih atoma gasa s njegovim sveukupnim pritiskom.

Pritisak gasa kao što je para mogao se lako izmeriti. Bilo je neophodno samo uvesti paru u šuplji cilindar s „klipom“. U suštini, to je bio pokretni zid koji je mogao da se pomera duž cilindra, u zavisnosti od pritiska pare. Pritisak gasa dao je direktnu vezu između sveta ljudskog iskustva – gde se kretanje klipova zaista moglo videti – i nevidljivog sveta atoma. Ali da bi učinio tu vezu očiglednom, Bernuli je morao da upotrebi svoju sliku dumbaviranih atoma kako bi izveo zaključak o tome kako pritisak gasa treba da se ponaša u različitim okolnostima – na primer, ako se gas sabije ili zagreje.

Bernuli je najpre došao do nekoliko pojednostavljujućih pretpostavki. Na primer, pretpostavio je da su atomi veoma mali u poređenju s ponorom koji ih razdvaja. Ispostavilo se da je to bila veoma dobra pretpostavka. U proseku, atomi u vazduhu oko nas razdvojeni su jedan od drugog udaljenošću nekoliko stotina puta većom od njihovog prečnika. Kad bi se atomi gasa naduli do veličine teniske loptice, na primer, u zapremini neke velike dvorane

letelo bi ih jedva stotinu. Pretpostavka da su atomi gasa međusobno veoma udaljeni omogućila je Bernuliju da prenebregne sve sile koje među njima postoje; svaka takva sila – bilo da je u pitanju sila privlačenja ili odbijanja – teško da je mogla delovati na veliku daljinu.* Pošto na kretanje atoma ne utiče nijedan njihov sadrug, Njutnov zakon veli da on treba da leti stalnom brzinom i pravom linijom. Naravno, izuzetak je kada gas naleti na klip ili zidove posude. Bernuli je pretpostavio da pri jednom takvom sudaru atom gasa jednostavno odskoči od površine ne gubeći nimalo na brzini, te da pri tom deluje minimalnom silom na zid.

Bernuli se tad zapitao: šta bi se desilo s pritiskom gasa u cilindru ako bi se gas zagrejao, a njegova zapremina ostala nepromenjena?

Odgovarajući na to pitanje, ispoljio je izuzetnu pronicljivost koju ostali naučnici generalno neće prihvatiti duže od jednog veka. Ona se iskazala u ideji da je temperatura gasa bila samo mera brzine kojom njegovi atomi u proseku lete unaokolo. Kada se gas zagreje, njegovi atomi jednostavno ubrzaju.

Bernuli je zamislio da zagreje paru u cilindru s postavljenim klipom. Pošto bi se atomi sada kretali brže, češće bi se i silovitije sudarali s klipom. Posledica toga bila bi porast pritiska gasa. To bi bilo očigledno svakome ko bi pokušao da zadrži klip u mestu, jer bi morao više da se pomuči kako bi sprečio njegovo kretanje duž cilindra. I još jednom, stvarni gas se upravo tako ponašao. To je zapazio francuski naučnik Žak Aleksandar Sezar Šarl 1787. godine pa je pravilo dobilo ime Šarlov zakon.

Bernuli je slavodobitno predskazao dva merljiva svojstva gasa – način na koji njegov pritisak raste kada mu se zapremina smanjuje, te način na koji mu pritisak raste kada mu raste temperatura.

* Gas kakav je Bernuli zamislio često se naziva „idealnim“ ili „savršenim“ gasom. To je zato da bi se razlikovao od „stvarnog“ gasa čije se ponašanje u određenim okolnostima može razlikovati od idealnog – na primer, kada se gas podvrgne veoma visokom pritisku. Čestice gasa mogu se tada stisnuti toliko blizu jedna uz drugu da na njih ozbiljno deluju njihove međusobne sile. Svaki pokušaj da se gas razume stoga mora uzeti i to u obzir.

A to je učinio jednostavno pretpostavivši da se gas sastoji od bezbroj atoma koji lete tamo-amo i dumbaraju po zidovima suda u kojem se nalaze, kao grad po limenom krovu. Po rečima Pijeta Hajna:

Priroda je, izgleda, popularno ime
Za milijarde, milijarde i milijarde
Čestica u svojoj beskrajnoj igri
Bilijara, bilijara, bilijara.

Krajem devetnaestog veka, Bernulijev metod dedukcije svojstva gasa iz kolektivnog ponašanja svih njegovih atoma doveden je do logičnog zaključka i to su učinili kako Džejms Klerk Meksvel u Britaniji, tako i Ludvig Bolcman u Nemačkoj. Ali iako je Meksvelov i Bolcmanov rad doneo do tada najubedljivije dokaze da se svet sastoji od malenih zrna materije, postojanje atoma bilo je daleko od opšteprihvaćenog i ostalo je predmet krajnje ogorčene rasprave koja je dobroano zašla i u dvadeseti vek.

Oni koji su osporavali postojanje atoma imali su snažna ubeđenja o tome šta čini nauku, a šta ne. Vladalo je uverenje, koje je prevashodno zastupao austrijski fizičar Ernst Mah, da nauka nema šta da traži s onim pojavama u svetu koje se ne mogu neposredno opažati čulima.* Pošto niko zaista nije *video* atom – niti će ga verovatno ikada i videti – Mah je smatrao da je čitav atomski koncept nenaučan i da ga treba surovo iščupati iz korena i odstraniti iz nauke. Kada je vojska naučnih fanatika, nadahnuta Mahovim gledištem, započela divljački krstaški pohod protiv pobornika atoma, za Bolcmana je to prevršilo svaku meru. Sklon napadima depresije i previše neotporan da bi se ubrajao u debelokošce, podlegao je pritisku i izvršio samoubistvo na letovanju, 1906. godine.

Ironija je bila u tome što se konačni dokaz postojanja atoma pojavio godinu dana pre nego što je Bolcman sebi oduzeo život. Do njega je došao nepoznati službenik iz jedne švajcarske kancelarije za patente. Ime mu je bilo Albert Ajnštajn.

* Danas ga se sećaju svi piloti letelica koje lete brže od zvuka, čija je brzina poznata još kao Mah 1.

LUDI PLES ZRNACA POLENA

Godina 1905. bila je čudesna godina za dvadesetpetogodišnjeg Ajnštajna. U rasponu od dvanaest meseci objavio je četiri frapantna rada. Jedan je doneo revolucionarnu novu teoriju „specijalne relativnosti“ koja je redefinisala prostor i vreme; drugi je pokazao kako se iz ponašanja tečnosti može izvesti veličina molekula; treći se odnosio na prirodu svetlosti koja je sazdana od čestica. Četvrti rad ostao je malo u senci prethodna tri, ali je svejedno bio izuzetno značajan. Jer on je dokazao, jednom za svagda, da atomi zaista postoje. Podrobnije rečeno, objasnio je zbudujuća zapažanja koja je pre gotovo jednog veka izneo škotski botaničar po imenu Robert Braun.

Braun, koji je plovio do Australije s Flindersovom ekspedicijom 1801. godine, klasifikovao je 4000 vrsta antipodnih biljaka, otkrivši pri tom „jedro“ živih ćelija. Ali njegovo najveće otkriće nastupilo je 1827. Dok je kroz mikroskop posmatrao kako zrnca polena plove po vodi, zapanjio se kad je video da zrnca poskakuju okolo kao da ih neko neprestano šutira. To ponašanje postalo je poznato kao „Braunovo kretanje“. Nije mogao da smisli nikakvo uverljivo objašnjenje, baš kao ni bilo ko drugi.

Ajnštajnova genijalnost bila je u tome što je on shvatio da svako zrnce polena uistinu šutiraju – atomi ili, preciznije, molekuli vode.* Prečnika od jedva hiljaditog dela milimetra, zrnca polena dovoljno je malo da ga pomeraju sami osnovni sastavni delovi materije. Bilo je to kao da džinovsku naduvanu gumenu loptu, veću od čoveka, po polju pomera veliki broj ljudi. Ako bi svaka osoba gurala na svoju stranu, ne mareći ni najmanje za svoje družbenike, u svakom trenutku bi verovatno bilo malčice više ljudi s jedne nego s druge strane. Ta neravnoteža bila bi dovoljno velika da izazove nasumično kretanje lopte poljem. Slično tome, nasumično kretanje zrnca polena moglo se objasniti ukoliko ga je u svakom datom trenutku bombardovala nešto veća količina molekula vode s jedne strane nego s druge.

* Svaki molekul vode sastoji se od dva atoma vodonika prikačena za jedan atom kiseonika.

Ajnštajn je smislio matematičku teoriju kojom će opisati Braunovo kretanje. Njena predviđanja trijumfalno je tri godine kasnije potvrdio francuski naučnik Žan-Batist Perin koji je, zato što mu je tako bilo zgodnije, zamenio zrna česticama gamboža, žute gumene smole iz jednog kambodžanskog drveta.

Ajnštajnova teorija predskazala je koliko daleko i koliko brzo prosečno zrnce polena treba da putuje u reakciji na neumorne udarce koje prima od molekula vode sa svih strana. Sve je zavisilo od veličine molekula vode; što su oni veći, to je veća neravnoteža sila koje deluju na zrnca polena, te je upadljivije i tako dobijeno Braunovo kretanje.

Uporedivši svoja opažanja kretanja čestica gamboža kroz mikroskop s predskazanjima Ajnštajnovе teorije, Perin je mogao da izvede zaključak o veličini molekula vode, pa tako i atoma od kojih su oni sazđani. Zaključio je da prečnik atoma iznosi samo oko desetmilijarditog dela metra – da su oni toliko mali da bi ih bilo potrebno 10 miliona, poređanih jedan do drugog, kako bi dosegli prečnik tačke odštampane na ovoj stranici. Ajnštajn i Perin su otkrili najneposredniji dokaz za postojanje atoma. Niko ko je zavirio u mikroskop i ugledao ludi ples neumorno mitraljiranih zrnaca polena sada nije mogao da dovede u sumnju tvrdnju da je svet zaista sazđan od malenih čestica sličnih mecima.

Ali Braunovo kretanje otkrilo je samo kombinovani učinak velikog broja čestica na telima daleko krupnijim od atoma. Osnovni sastavni deo vasecle materije tvrdoglavo je ostao skriven od pogleda.

Atomi su bili prečnika od tek desetmillionitog dela milimetra. Mogućnost da se oni neposredno vide mogla je da zabavlja pisce naučne fantastike, ali ne i ugledne naučnike. Međutim, naučna fantastika ima neobičnu naviku da se obistini. Godine 1980. dva fizičara u Švajcarskoj izumela su i napravila jedan od najosobitijih instrumenata u istoriji nauke. Upotrebivši ga, Gerd Bining i Hajnrih Rorer postali su prvi ljudi u istoriji koji su zaista „videli“ atom.

VIDETI ATOME

Instrument koji je ispunio Demokritov dvehiljadegodišnji san nazvan je „skenerski tunelski mikroskop“, ili skraćeno STM. Nastao je u jesen 1978. kada je Bining, tridesetjednogodišnji nemački doktorant, završavao svoju tezu na Univerzitetu Volfgang Gete u Frankfurtu.

Bining se zanimao za površine „poluprovodničkih“ materijala kao što je silicijum, koji su tvorili osnovu za kompjuterske čipove. Bilo je to interesovanje koje je slučajno delio s Hajnrihom Rorerom, sredovečnim švajcarskim fizičarem koji je došao u posetu Biningovom univerzitetu iz IBM-ove istraživačke laboratorije u Cirihi. Kada su dva čoveka jednog dana naletela jedan na drugog, porazgovarali su o izgledima da čovek ikada bude u stanju da sagleda fine detalje površina poput silicijumske. Takvo dostignuće, ako bi bilo moguće, koristilo bi proizvođačima računara, koji su se neprestano trudili da što više smanje tranzistore i druge elektronske komponente i spakuju ih što je moguće bliže na površini čipova. U tom zadatku teško su bili osujećeni nepoznavanjem izgleda površina u veoma malim razmerama. Bili su poput bogova koji su nadvisili minijaturni pejzaž svog sveta, ali beznadežno vezanih očiju.

Ali čak i bog čije su oči vezane ima na raspolaganju sredstvo da ustanovi kako zemljište izgleda. Može koristiti čulo dodira kako bi opipao visije i nizije, brda i doline, te na taj način stvoriti mentalnu sliku pejzaža. Prelazeći džinovskim prstom po tlu, možda bi čak bio u stanju da oseti i tako male predmete kao što su stabla ili zgrade. Pipkanje prstom kao metod istraživanja submikroskopskog pejzaža materijala kao što je silicijum možda deluje malčice fantastično. Ali, u suštini, ta je zamisao pala Biningu na pamet dok je razgovarao s Rorerom. Međutim, umesto prsta od krvi i mesa, zamislio je prst od metala – veoma finu iglu, poput one na staromodnom gramofonu.

Naravno, nije postojao način da igla zaista oseti površinu kao ljudski prst. Međutim, ako se kroz iglu sprovede elektricitet i ako

se ona postavi veoma blizu površine metala ili poluprovodnika, slaba ali merljiva električna struja preskočiće jaz između vrha igle i površine. To je bilo poznato kao „tunelska struja“ i posedovalo je ono ključno svojstvo čiju je mogućnost upotrebe Bining prepoznao: struja je bila izuzetno osetljiva na širinu jaza. Ako bi se igla makar još malčice približila površini, snaga struja bi veoma brzo narasla; ako bi se iole odmakla, struja bi strmoglavo opala. Stoga je snaga tunelske struje otkrivala udaljenost između vrha igle i površine: tako je igli davala veštačko čulo dodira.

Rorer je bio toliko impresioniran Biningovom idejom da ga je pozvao u Cirihi da je pretoče u stvarnost. Bio je to početak veoma produktivnog partnerstva koje će na kraju Bininga i Rorera odvesti u Stokholm da 1986. godine prime Nobelovu nagradu za fiziku.

Prvi problem bio je kako pronaći iglu dovoljno finu da oseti submikroskopske detalje površine. Igla je neosetljiva za nešto manje od nje same, baš kao što ni prst ne oseća fine brazde na staromodnoj ploči od vinila. Zdrav razum stoga ukazuje na to da vrh igle koja bi mogla osetiti titraje pojedinih atoma mora i sâm da bude prečnika od samo nekoliko atoma. Nažalost, to je bilo stotinama puta finije od najfinije postojeće igle. Međutim, 1979. godine Bining je došao do izuzetnog otkrića. Ustanovio je da tunelska struja skače na metalnu površinu sa samo malog broja atoma na samom vrhu igle. To je značilo da je igla zapravo desetinama puta oštrijega nego što izgleda. U stvari, kada su Bining i Rorer pravili igle od metala tungstena, ustanovili su da se vrhovi neizostavno sastoje od isturene grupice od samo nekoliko atoma. S takvim iglama bilo je moguće osetiti stvari manje od onoga čemu je čovek ikada mogao da se nada.

Ali da bi se Biningova zamisao pretočila u stvarnost nije bila potrebna samo ultrafina igla. Bile su potrebne i komplikovane skele od opruga i amortizera koje će iglu držati tik iznad površine materijala i izolovati je od slučajnih vibracija. U razmeri atoma, čak bi i koraci nekoga u istoj zgradi ili prolazak kola u obližnjoj ulici izgledali kao veliki zemljotres. Za kontrolu visine igle Bining i Rorer su iskoristili samu tunelsku struju. Uredili su da se, ukoliko struja opadne, igla automatski spusti, odnosno da se podigne

ukoliko struja naraste. Na taj način su Bining i Rorer mogli da održavaju iglu na stalnoj visini dok ona prelazi tamo-amo preko površine materijala.

Bilo je to kao sevanje munje iz božjeg prsta prema tlu. Ako on previše podigne prst, munja će zamreti, jer neće više biti privučena površinom; ako ga previše približi, munja će bolno ojačati. Zadržavanjem pucketanja munje na podnošljivom nivou, mogao je da prati prstom visije i nizije terena.

Bog je mogao da stvori sebi sliku minijaturnog pejzaža u mašti. Međutim, Bining i Rorer nisu imali takvu mogućnost na raspolaganju. Umesto toga, dva fizičara su morala da se oslone na računar koji će vizuelizovati podizanje i spuštanje njihove igle. Kada su to učinili, od onoga što su ugledali na ekranu računara u Ciri-hu zastao im je dah.

Bila je to jedna od najosobitijih slika u istoriji nauke. Bila je to slika ravna prizoru Zemlje koja se diže iznad sive pustoši Meseca, ili slici širokih spiralnih stepenica DNK, jer bila je to prva viđena slika nevidljivog predela koji postoji u osnovi svakodnevnog sveta. Tu su najzad bili atomi u svojoj svojoj mikroskopskoj slavi.* Izgledali su kao malene fudbalske lopte. Izgledali su kao pomorandže poređane u kutije. Ali više od svega izgledali su kao malena tvrda zrnca materije koja je jedan čovek tako jasno video u mislima pre dve i po hiljade godina.

Skenerski tunelski mikroskop otkrio je Demokritove majušne čestice materije, čija je zrnasta struktura objasnila kuda to so ode kad se rastvori u vodi i kako to riba pliva morem. Otkrio je Bernulijeve tvrde loptice, čije je neumorno udaranje po klipu objasnilo ponašanje gasa. Otkrio je Ajnštajnovu sićušne čestice slične mecima, čije je mitraljiranje polenskih zrnaca objasnilo mahnniti

* Treba napomenuti da postoji izvesna dvosmislenost u slikama snimljenim pomoću STM-a zato što tunelska struja ne zavisi samo od brda i dolina površine, već i od električnog naboja. U početku, to je neke kritičare navelo da dovedu u pitanje ono što STM zapravo vidi. Na svu sreću, STM je bio samo prvi u čitavom arsenalu „supermikroskopa“. Kada se koriste zajedno, ne ostavljaju naučnicima nimalo mesta za sumnju u to da li zaista vide atome.

ples Braunovog kretanja. Ali, uprkos svom spektakularnom uspehu, skenirajući tunelski mikroskop otkrio je samo jednu stranu atoma. Kao što je sâm Demokrit shvatio, atomi su bili mnogo više od pukih zrnaca u pokretu.

AZBUKA PRIRODE

Demokrit je zamišljao da postoji više različitih vrsta atoma, koji se razlikuju po veličini, obliku, a možda i težini. Uređenjem tih raznovrsnih tipova po različitim obrascima, može se stvoriti ruža, zlatna poluga ili ljudsko biće. Ukratko, atomi su azbuka prirode. Ako je Demokrit bio u pravu, zbunjujuća složenost sveta bila je samo komplikovana iluzija. Ona je samo bila posledica bezbroj načina na koje šačica osnovnih sastavnih delova može da se spoji.

Bio je to jedan od najzaprepašćujućih skokova mašte u istoriji. Samo zahvaljujući snazi te misli, Demokrit je podigao ivicu vela koji je odvajao svet od naših čula. Ustanovio je da je, ispod toga, stvarnost krajnje jednostavna.

Ključni korak u dokazivanju tako revolucionarne zamisli bilo je, naravno, identifikovanje različitih vrsta atoma. Međutim, činjenica da su atomi premali da bi se neposredno opazili čulima činila je taj zadatak jednako zastrašujućim koliko je to bilo i dokazivanje da su atomi majušna zrna materije u neprekidnom kretanju. U takvim okolnostima mogle su se jedino pronaći supstance sazidane isključivo od atoma jedne vrste.

Identifikovanje takvih „elementarnih“ supstanci najverovatnije ne bi bilo lako. Najzad, čitava osnova za Demokritovu atomsku tezu bila je tvrdnja da složenost sveta odražava beskrajne kombinacije njegovih osnovnih sastavnih delova. Stoga je bilo najverovatnije da je većina elementarnih supstanci povezana s drugim elementarnim supstancama, te da ih je zapravo veoma malo u čistom stanju.

Grci su smatrali da su osnovni sastojci sveta voda, vazduh, zemlja i vatra. Međutim, u stvarnosti, ništa od toga, izuzev vode, nije bilo ni blizu nečeg elementarnog. Ostaće na drugima, jednako pogrešnih ubeđenja, da nehотиčno prepoznaju stvarne primarne

sastojke materije. To su bili alhemičari koji su se u srednjem veku upinjali da „preobrazu“ osnovne supstance kao što je olovo u dragocene supstance poput zlata. Pri tom su alhemičari nagomilali pravo bogatstvo podataka o tome kako se supstance međusobno kombinuju. Međutim, potpuno su omanuli u postizanju željenog cilja. Bilo je nemoguće pretvoriti olovo u zlato. Ali i to je samo po sebi bilo važno otkriće, samo da su alhemičari mogli da ga kao takvo prepoznaju. Bio je to snažan nagoveštaj da su neke supstance uistinu stalne i neuništive. Bio je potreban samo neko ko će izvesti pravilan zaključak. Čovek koji je to učinio bio je Antoan Lavoazje, francuski plemić čiji je život okončan pod giljotinom u proleće 1794. godine.

Pet godina pre nego što će umreti, Lavoazje je sačinio prvi spisak supstanci za koje je verovao da se ne mogu nikakvim sredstvima razložiti na jednostavnije supstance. Lavoazjeov spisak sastojao se od 23 „elementa“. Za neke se kasnije ispostavilo da uopšte nisu elementi, ali mnogi su zaista bili elementarni. Među njima su bili sumpor i živa, gvožđe i cink, srebro i zlato. Lavoazjeova shema bila je prekretnica u istoriji nauke. Ona je označila smrt alhemije i rađanje hemije. Oni koji su primenjivali novu nauku uzeli su za polazište postojanje prirodnih elemenata i pokušali da ih iskombinuju po novim ustrojstvima. Tako su stvarali supstance zvane „jedinjenja“ koje ranije nisu postojale. Za hemičare je suština svega bila u kombinacijama. A pošto su se prirodni elementi mogli bes-krajno kombinovati po dva, tri, četiri i tako dalje, hemija je bila nauka bes-krajnih mogućnosti.

Po svemu sudeći, svaki Lavoazjeov element bio je velika masa jedne vrste atoma. Međutim, francuski hemičar nije izričito povezo koncept elemenata s konceptom atoma. To je preostalo engleskom upravniku škole i naučniku-amateru po imenu Džon Dalton. Godine 1803. Dalton je primetio da kada se elementi kombinuju u jedinjenje, uvek to čine u stalnim razmerama. Na primer, kada se kiseonik i vodonik sjedine da bi stvorili vodu, bilo je potrebno tačno osam grama kiseonika na svaki gram vodonika.* Daltonova

* To su savremene vrednosti. Uprkos tome što je bio briljantan teoretičar, Dalton je traljavo izvodio eksperimente i merenja su mu bila loša čak i po standardima njegovog doba.

genijalnost sastojala se u tome što je u tom jednostavnom opažanju uvideo sasvim jasan otisak prsta nevidljivih atoma u međusobnoj kombinaciji.

Dalton je razmišljao kako je to zapažanje upravo ono što bi se i očekivalo ukoliko se kiseonik sastojao od velikog broja atoma kiseonika, sasvim istovetnih, a vodonik od velikog broja atoma vodonika, takođe sasvim istovetnih, te ako se stvaranje vode od kiseonika i vodonika događalo zahvaljujući tome što se dve vrste atoma sudaraju i vezuju kako bi stvorile veliki broj čestica vode. Danas te čestice zovemo „molekulima“. Pošto voda poseduje osoben identitet baš kao i kiseonik ili vodonik, iz toga sledi da su i molekuli vode sasvim istovetni. Drugim rečima, svaki od njih sadrži stalan broj atoma kiseonika i stalan broj atoma vodonika. E sad, ako svi atomi kiseonika imaju određenu težinu jedinstvenu za kiseonik, a atomi vodonika imaju određenu težinu jedinstvenu za vodonik, onda se stalan broj atoma kiseonika prevodi u stalnu težinu atoma kiseonika, dok se stalan broj atoma vodonika prevodi u stalnu težinu atoma vodonika. Stoga svaki molekul vode mora da sadrži istu težinu atoma kiseonika u odnosu na težinu atoma vodonika.

Dakle, tu je bio razlog za primenu „zakona stalnih razmera“ na vodu. To je samo bio odraz činjenice da svaki molekul vode sadrži stalan broj atoma kiseonika i stalan broj atoma vodonika.

Ako su, recimo, atomi kiseonika u jednom molekulu vode osam puta teži od njegovih atoma vodonika, onda će atomi kiseonika u milion molekula vode i dalje biti osam puta teži od atoma vodonika u milion molekula vode. Nije važno koliko se vode uzima u razmatranje – isti faktor uvek važi. Stoga je zapažanje da voda sadrži osam grama kiseonika na svaki gram vodonika ukazalo na to da su atomi kiseonika u jednom molekulu vode osam puta teži od atoma vodonika.

Dalton je nagađao da svaki molekul vode sadrži samo jedan atom kiseonika vezan za jedan atom vodonika. To mu je omogućilo da zaključi kako atom kiseonika mora biti 8 puta teži od atoma vodonika. Pogrešio je. Danas svi znaju da je formula vode H_2O i da svaki molekul vode zapravo sadrži dva atoma vodonika

i jedan atom kiseonika. Umesto da je 8 puta teži od atoma vodonika, atom kiseonika je zapravo teži 16 puta. Međutim, ova mala greška nimalo nije uticala na Daltonovo razmišljanje.

Zakon stalnih razmera važi zato što se jedinjenje sastoji od velikog broja identičnih molekula, a svaki od njih sastoji se od stalnog broja atoma svakog sastavnog elementa. Baš kao što je Bernuli video jasan trag atoma u kretanju i ponašanju gasa, Dalton je video trag atoma u načinu na koji su se elementi međusobno kombinovali.

Sada su dva sasvim različita toka razmišljanja dovela do nezavisnih dokaza o postojanju atoma. Sve je izgledalo ružičasto. Međutim, bila je tu još sitnica koja se odnosila na broj različitih elemenata i samim tim, na broj različitih vrsta atoma.

Demokrit nikada nije naveo koliko bi vrsta atoma trebalo da bude. Međutim, čitava njegova teza glasila je da je složenost sveta posledica kombinacija ograničenog broja njegovih osnovnih sastavnih delova. Lavoazjev spisak elemenata ukazao je na to da postoji dvadesetak različitih vrsta atoma. Međutim, broj elemenata je rastao i spisku su dodata još 32 u periodu od četrdeset godina po smrti francuskog hemičara.

Činilo se da je broj od pedeset osnovnih sastavnih delova prilično preteran. Šta će u prirodi tako mnogo njih? Godine 1815. jedan čovek je došao do senzacionalnog odgovora. Ime mu je bilo Vilijem Praut i on je prvi ukazao na to da atomi nisu najmanji na svetu.