Tk

DŽORDŽ GAMOV

JEDAN, DVA, TRI... DO BESKONAČNOSTI

„TEHNIČKA KNJIGA"
BEOGRAD
1955

Naslov originala:
ONE TWO THREE... INFINITY
Facts and Speculations of Science

by
GEORGE GAMOW

Preveli
STEVAN DEDIJER I BORA DRENOVAC

Korice izradio
ANTE ŠANTIĆ

Štampa: Beogradski grafički zavod. Beograd, Bul. Voj. Mišića 17

PREDGOVOR JUGOSLOVENSKOM IZDANJU

S velikim zadovoljstvom očekujem srpskohrvatski prevod ove svoje knjige. Prepuštajući se unapred radoznalom iščekivanju da pročitam sopstveni tekst na jednom jeziku u kome bih, eventualno, mogao da se malo razaberem tek posredstvom analogije sa svojim maternjim — ruskim, radujem se prilici koja će mi se time ukazati da sravnim te dve grane velike slovenske grupe jezika.

Prikazujući širokoj čitalačkoj publici mnogobrojne i katkad dosta apstraktne današnje naučne teorije, autor je često bio prinuđen da traži od svojih čitalaca da mu poveruju na reč jer bi bilo doista teško popularno objasniti složene dokaze pojedinih naučnih stavova.

Ova okolnost me potseća na jednu staru vojničku priču koju sam čuo od nekih ovdašnjih prijatelja. U priči je reč o nekom kaplaru kome beše stavljeno u dužnost da obučava u geografiji i kosmografiji tek regrutovanu grupu seljaka koji pre no što su pošli u vojsku nisu nikad videli železnicu niti obuli cipele.

»Zemlja vam je okrugla kao lubenica, — kažu da je kaplar rekao, — i okreće se oko Sunca. Oni koji u to ne veruju dobiće tri dana apsa. Pored toga ima i drugih dokaza«.

Nadam se, dakle, da će moji čitaoci primitu ovu knjigu kako sleduje, ne tražeći dalje dokaze.

Jun 1955 — Džordž Gamov

Mome sinu Igoru
koji nadasve voli da bude kauboj

»Došao je čas«, reče Morž,
»da se govori o mnogočemu«...
Luis Karol: »Kroz ogledalo«

PREDGOVOR

...o atomima, zvezdama i maglinama, o entropiji i genima; i da li se može savijati prostor, i zašto se raketa smanjuje. I zaista, u ovoj ćemo knjizi govoriti o svim ovim stvarima, kao i o mnogim drugim isto tako interesantnim.

Knjiga je nastala u nameri da se sakupe najinteresantnije činjenice i teorije moderne nauke kako bi čitalac dobio opštu sliku vasione, s njenim mikroskopskim i makroskopskim pojavama, onako kako se ona razotkriva oku današnjeg naučnika. Idući za tom opštom namerom, nisam pokušavao da sve ispričam, jer sam znao da bi se svaki takav pokušaj svršio neminovno enciklopedijom od mnogobrojnih tomova. U isto vreme pitanja o kojima se govori u knjizi izabrana su tako da se dobije sažet pregled čitavog područja osnovnog naučnog znanja, ne ostavljajući nijedan kutak nedirnut.

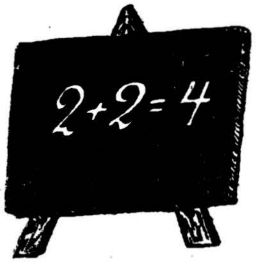
Pošto su pitanja izabrana prema značaju i interesantnosti, a ne po jednostavnosti, to je neophodno došlo do izvesne neujednačenosti u izlaganju. Neka poglavlja ove knjige su tako jednostavna da ih i dete može shvatiti, dok je za potpuno razumevanje drugih potrebna izvesna koncentracija i razmišljanje. Nadam se, međutim, da nestručni čitalac neće naići na isuviše velike teškoće pri čitanju ove knjige.

Videćete da je zadnji deo knjige, u kome se raspravlja o »Makrokosmosu«, znatno kraći od dela o »Mikrokosmosu«. To je uglavnom zato što sam u knjigama »Rađanje i smrt Sunca« i »Biografija Zemlje« detaljno razmatrao tako brojne probleme u vezi sa makrokosmosom da bi svako dalje raspravljanje o detaljima u ovoj knjizi pretstavljalo dosadno ponavljanje. Zbog toga sam se u ovom delu ograničio na opšti pregled fizičkih činjenica i događaja u svetu planeta, zvezda, maglina i zakona koji njima upravljaju. Ulazio sam detaljnije samo u one probleme koji su na nov način osvetljeni napretkom naučnih znanja za poslednjih nekoliko godina. Držeći se tog stava, posvetio sam posebnu pažnju najnovijim gledištima prema kojima su ogromne zvezdane eksplozije, poznate pod imenom »supernovae«, prouzrokovane takozvanim »neutrinima«, najmanjim česticama za koje zna fizika, i novoj planetarnoj teoriji, koja obara dosada prihvaćena gledišta da su planete nastale kao rezultat sudara između Sunca i nekih drugih zvezda, i ponovo uspostavlja stara, poluzaboravljena gledišta Kanta i Laplasa.

Želim da izrazim zahvalnost mnogobrojnim umetnicima i ilustratorima čiji su radovi, topološki preobraženi (vidi Odeljak II, Poglavlje III), poslužili kao osnova za mnoge ilustracije upotrebljene u ovoj knjizi. Iznad svega zahvalan sam mojoj mladoj prijateljici Marini fon Nojman, koja tvrdi da zna sve mnogo bolje od svog čuvenog tate, izuzev, razume se, matematike, koju — ona veli — zna isto tako dobro kao on. Pošto je pročitala u rukopisu izvesna poglavlja ove knjige i ukazala mi na mnogobrojne stvari koje nije razumela, konačno sam shvatio da ova knjiga nije za decu, kako sam je ja prvobitno zamislio.

Džordž GAMOV

Univerzitet Džordža Vašingtona,
Vašington, S.A.D.
Decembra 1946.



DEO I

IGRANJE BROJEVIMA

Poglavlje I

VELIKI BROJEVI

1. Dokle možete da brojite?

Bila jednom dva mađarska plemića. Oni odluče da igraju igru u kojoj dobija onaj koji smisli veći broj.

»Hajde«, reći će jedan od njih, »prvo ti kaži svoj broj«.

Posle teškog umnog naprezanja od nekoliko minuta, drugi plemić konačno reče najveći broj koji je mogao da smisli.

»Tri!«, reče on.

Sada je došao red na onog prvog da misli. Posle četvrt sata on se konačno predao.

»Dobio si opkladu«, reče.

*

Ova dva mađarska plemića ne pretstavljaju naročito visoki stupanj inteligencije[1]) i ova priča je verovatno obična zlonamerna kleveta, ali do takvog razgovora moglo je stvarno doći, da su ova dva čoveka bili ne Mađari već Hotentoti. Uostalom, mogli bismo se tu pozvati na tvrđenje da mnoga plemena Hotentota nemaju u svom rečniku nazive za brojeve veće od tri. Upitaj jednog takvog urođenika koliko sinova ima ili koliko je neprijatelja ubio, i ako je broj veći od tri, on će odgovoriti »mnogo«. I tako bi u zemlji Hotentota

[1]) Ovu tvrdnju možemo potkrepiti drugom pričom iz iste zbirke u kojoj se priča kako je jedna grupa mađarskih plemića zalutala u šetnji po Alpima. Jedan od njih, kaže priča, izvuče mapu i pošto je dugo izučavao, konačno uzviknu: »Znam gde smo!« »Gde?«, upitaju ostali. »Vidite li onu veliku planinu tamo? E mi smo na njenom vrhu«.

u pogledu veštine brojanja ljute ratnike porazilo jedno dete iz obdaništa koje zna da broji do deset.

Danas smo se mi već saživeli s idejom da možemo da napišemo kolikogod želimo veliki broj — bilo da taj broj pretstavlja ratne izdatke u parama, ili razdaljinu do zvezda u santimetrima — i to prosto pišući dovoljno veliki broj nula desno od neke cifre. Možete pisati nule dok vam se ruka ne umori i neće proći dugo dobićete broj veći čak i od celokupnog broja atoma u vasioni,[3]) koji je, uzgred budi rečeno, 300,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,—000,000,000,000,000,000,000.

Ili skraćeno: 3×10^{74}

Ovde onaj mali broj, ^{74}, napisan iznad i desno od 10, obeležava da se mora napisati gornji broj nula, ili drugim rečima, treba sedamdeset i četiri puta pomnožiti deset sa deset, pa zatim dobiveni rezultat sa tri.

Ali u prastara vremena ova jednostavna računica nije bila poznata. Ustvari nju je izmislio pre manje od dve hiljade godina neki nepoznati matematičar iz Indije. Pre njegovog velikog otkrića — a to je zaista **bilo** veliko otkriće, iako ga kao takvo mi obično ne cenimo — brojevi su pisani upotrebom specijalnog simbola za svaku našu današnju decimalnu jedinicu, i ponavljajući taj simbol onoliko puta koliko je bilo jedinica. Naprimer broj 8732 stari Egipćani pisali su na sledeći način:

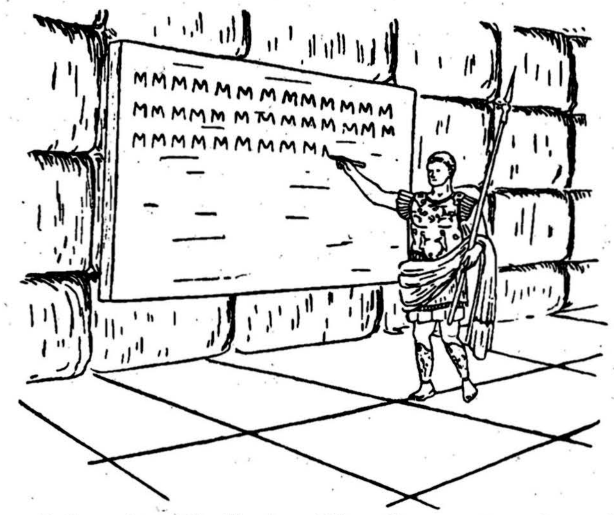
dok bi jedan činovnik u Cezarovoj kancelariji napisao taj isti broj na sledeći način:

MMMMMMMMDCCXXXII

Ovaj poslednji način obeležavanja brojeva treba da vam je poznat, jer se Latinski brojevi katkad još uvek upotrebljavaju da bi se obeležili tomovi ili poglavlja jedne knjige, ili da se obeleži datum nekog istoriskog događaja na kakvoj pompeznoj spomen ploči. Ali kako u staro doba knjigovodstvu nisu bili potrebni brojevi veći od nekoliko hiljada, to simboli za veće decimalne jedinice nisu ni postojali. I jedan stari Rimljanin, ma kako dobro inače poznavao tadašnju ra-

[3]) Sračunato prema dometu najvećeg teleskopa.

čunicu, bio bi potpuno zbunjen da mu je neko zatražio da napiše »milion«. Najviše što bi mogao u pogledu tog zahteva da učini, bilo bi da napiše hiljadu puta M, za šta bi mu trebalo nekoliko sati teškog rada. (Slika 1).



Sl. 1 — Jedan stari Rimljanin, sličan Cezaru Avgustu, pokušava da napiše latinskim ciframa »jedan milion«. Sav prostor na tabli nije dovoljan da ispiše ni »sto hiljada«.

Za ljude iz antike, veliki brojevi kao broj zvezda na nebu, riba u moru ili zrna peska na plaži bili su »neizračunljivi«, isto onako kao što je za jednog Hotentota »pet« neizračunljiv broj i prosto ga naziva »mnogo«.

Bio je potreban veliki mozak Arhimedov, mozak tog čuvenog naučnika iz trećeg veka pre naše ere, da bi pokazao da se mogu napisati zaista veliki brojevi. U svome traktatu »Psammites« ili »Brojač peska«, Arhimed veli:

»Ima ljudi koji misle da je broj zrna peska beskonačan; a kad govorim o pesku ja podrazumevam ne samo pesak oko Sirakuze ili na čitavoj Siciliji, već sva zrna peska u svim krajevima zemlje, bilo nastanjenim bilo nenastanjenim. A s druge strane ima i onih koji iako ne smatraju da je taj broj beskonačan, ipak misle da se ne može navesti broj koji je tako veliki da može da prevaziđe broj zrna peska na zemlji. I očigledno oni koji su toga gledišta kad bi zamislili masu peska koja je velika kao Zemlja, uključivši sva mora i sve doline napunjene do vrhova najviših planina, bili bi još više ubeđeni da nema broja koji bi mogao biti veći od broja potrebnog da bi se pretstavila tako nagomilana zrna peska. Ali ja ću pokušati da dokažem da među brojevima koje ja navodim ima onih koji prevazilaze ne samo broj zrna peska koji bi sačinjavao masu jednaku po veličini Zemlji ispunjenoj na gore opisani način, već, čak, i broj zrna peska u masi veličine vasione.«

Način koji Arhimed predlaže u svome čuvenom delu za pisanje vrlo velikih brojeva sličan je načinu kojim se veliki brojevi pišu u modernoj nauci. Kao početak on uzima najveći broj koji je postojao u aritmetici stare Grčke: jednu »mirijadu« ili deset hiljada. Zatim uvodi jedan novi broj: »mirijada mirijada« (sto miliona), koji naziva »oktada«, ili »jedinica druge klase«. »Oktada oktada« (ili deset miliona milijardi) se zove »jedinica treće klase«, »oktada, oktada, oktada« se zove »jedinica četvrte klase« itd.

Možda će problem pisanja velikih brojeva izgledati beznačajan da bi mu se posvetilo nekoliko stranica jedne knjige, ali u doba Arhimeda otkriće kako da se pišu veliki brojevi bilo je zaista veliko i pretstavljalo je važan napredak u matematičkoj nauci.

Da bi izračunao broj zrna peska potrebnih da se napuni čitava vasiona, Arhimed je morao da zna veličinu vasione. U njegovo doba smatralo se da se sva vasiona nalazi u jednoj sferi od kristala za koju su pričvršćene zvezde. Njegov čuveni savremenik Aristarh sa Samosa, po zanimanju astronom, procenio je razdaljinu od zemlje do ivice kristalne sfere na 10,000,000,000 stadija ili oko 1,500,000,000 kilometara.[3])

Poredeći veličinu pomenute sfere sa veličinom zrna peska, Arhimed je izvršio seriju računanja koja bi jednog gimnazijalca dovela do ludila, i konačno je došao do sledećeg zaključka:

»Očevidno je da broj zrna peska u prostoru koji obuhvata kristalna sfera, onako velika kako to procenjuje Aristarh, nije veći od hiljadu mirijada osme klase«.[4])

[3]) Grčki »stadijum« iznosi 188 metara.

[4]) Napisan našim obeležavanjima taj broj bi bio:

hiljadu mirijada (10,000,000)	X	druga klasa (100,000,000)	X	treća klasa (100,000 000)	X	četvrta klasa (100,000, 00)
peta klasa (100,000,000)	X	šesta klasa (100,000,000)	X	sedma klasa (100,000, 00)	X	osma klasa (100,000,000)

ili prosto 10^{63} — to jest 1 i 63 nule.

Primetićete da je po Arhimedovoj proceni poluprečnik vasione znatno manji od veličine koju mu pripisuju moderni naučnici. Razdaljina od milijardu i po kilometara doseže samo nešto dalje od planete Saturna u našem sunčanom sistemu. Kao što ćemo videti docnije, vasiona je sada istražena pomoću teleskopa na razdaljini od kilometara 8,000,000,000,000,000,000,000. Na taj način broj zrna peska potrebnih da se napuni sva vidljiva vasiona iznosio bi više od

10^{100} (to jest 1 i sto nula)

Ovo je, razume se, mnogo veći broj od celokupnog broja atoma u vasioni, 3.10^{74}, koji smo naveli u početku ovog poglavlja. Ali ne smemo zaboraviti da vasiona nije sva ispunjena atomima. Ustvari u vasioni ima prosečno jedan atom na jedan kubni metar prostora.

Sl. 2 — Veliki vezir i vešti matematičar, Sisa Ben Dahir, traži nagragu od kralja Indije Širhama

Da bi se došlo do velikih brojeva, nije nimalo potrebno da se poduzimaju tako krupni pothvati kao što je punjenje čitave vasione peskom. Ustvari veliki brojevi iskrsavaju iz problema koji su na prvi pogled vrlo jednostavni, gde čovek ne bi očekivao da će susresti broj veći od nekoliko hiljada.

Kralj Indije Širham bio je jedna od žrtava ogromnih brojeva. On je, veli stara legenda, hteo da nagradi svog velikog vezira Sisa Ben Dahira što je izmislio i poklonio mu igru šaha. Želja mudrog vezira izgledala je vrlo skromna.

»Veličanstvo« rekao je on klečeći pred kraljem, »daruj mi zrno pšenice da ga metnem na prvi kvadrat ove šahovske table, dva da stavim na drugi kvadrat, četiri na treći, osam na četvrti. I tako redom, kralju moj, udvostručujući za svaki dalji kvadrat, daj mi dovoljno žita za sva šezdeset i četiri kvadrata šahovske table«.

»Ne tražiš mnogo, moja verna slugo«, uzviknuo je kralj, pritajeno uživajući u misli da ga sopstveni velikodušni predlog nagrade izumitelju divne igre šaha neće skupo stati. »Tvoja će želja biti svakako ispunjena«. I on naredi da se donese vreća pšenice.

Ali kada je počelo brojanje, i stavljeno jedno zrno na prvi kvadrat, dva na drugi, četiri na treći itd., vreća je bila prazna pre nego što se došlo do dvadesetog kvadrata. Doneto je još vreća pšenice pred kralja, ali broj zrna potreban za svaki dalji kvadrat rastao je tako brzo da je uskoro postalo jasno da kralj neće moći da izvrši svoje obećanje Sisa Benu, pa makar upotrebio čitavu žetvu Indije. Da bi izvršio obećanje, bilo je potrebno 18,446,744,073,709,551,615 zrna žita.[5])

Ovaj broj nije tako veliki kao celokupni broj atoma u vasioni, ali je ipak prilično veliki. Pretpostavljajući da u jednom bušelu žita ima oko 5,000,000 zrna bilo bi potrebno oko 4000 milijardi bušela da bi se udovoljilo želji Sisa Bena. Pošto svetska proizvodnja žita iznosi prosečno oko 2,000,000,000 bušela godišnje, količina žita koju je tražio veliki vezir iznosi koliko i **svetska proizvodnja žita u toku neke dve milijarde godina.**

[5]) Broj zrna žita koje je tražio mudri vezir može se pretstaviti na sledeći način:

$$1 + 2 + 2^2 + 2^3 \;.\;.\;.\;.\; 2^{63}$$

Jedan niz brojeva od kojih se svaki sukcesivno povećava istim faktorom (u ovom slučaju faktorom 2) naziva se u aritmetici geometriska progresija. Može se dokazati da je suma članova takve progresije jednaka konstantnom faktoru (u ovom slučaju faktoru 2) podignutom na stepen koji pretstavlja broj članova progresije (u našem slučaju 64) manje prvi član (to znači 1), i podeljeno sa konstatnim faktorom manje jedan. Ovo pravilo se može ukratko ispisati u našem slučaju ovako:

$$\frac{2^{63} \times 2-1}{2-1} = 2^{64} - 1$$

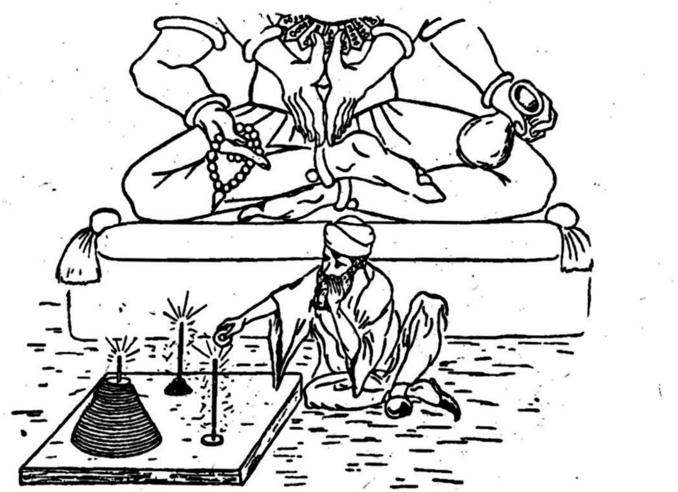
Što napisano jednim brojem iznosi:

18,446,744,073,709,551,615

Na taj način Kralj Širham je odjednom postao dužnik svome velikom veziru i morao je ili da dozvoli da bude izložen stalnim zahtevima vezira ili da mu otseče glavu. Naša je pretpostavka da je izabrao ovaj drugi put.

Još jedna priča u kojoj veliki broj igra glavnu ulogu takođe potiče iz Indije, i odnosi se na problem »Smak sveta«. Istoričar matematičke legende V.V.R. Bol (W.W.R. Ball), ovako prenosi tu priču:

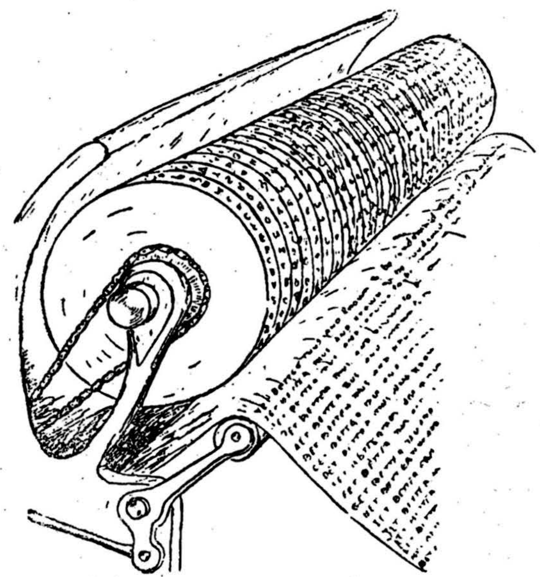
U velikom hramu u Benaresu, ispod kubeta koje obeležava centar sveta, nalazi se jedna mesingana ploča u kojoj su pričvršćene tri dijamantske igle, svaka visoka oko pola metra i debela kao telo jedne pčele. Na jednu od ovih igala



Sl. 3 — Jedan sveštenik radi na problemu »Smak sveta« pred jednim kipom Brame. Naslikani broj zlatnih kolutova je manji od 64 jer je bilo teško nacrtati ih tako mnogo

Bog je stavio pri stvaranju sveta 64 koluta od čistoga zlata. Najveći kolut leži na mesinganoj ploči, a ostali, sve manji i manji, jedan na drugome. To je Bramina kula. Dežurni sveštenik premešta danonoćno i bez zastoja kolutove sa jedne dijamantske igle na drugu, po utvrđenim i nepromenljivim pravilima Brame. Ta pravila propisuju da sveštenik mora premeštati kolutove jedan po jedan, stavljajući ih na igle tako da nikada ne bude manji kolut ispod većeg. Kada sva šezdeset i četiri koluta budu tako premeštena sa igle na koju ih je Bog stavio pri stvaranju sveta na jednu od drugih igala, tada će se kula, hram i svi Bramini raspasti u prah i pepeo i uz grmljavinu će iščeznuti sav svet.

Slika 3 pokazuje raspored kolutova i igala, samo što je nacrtan manji broj kolutova nego što je potreban. Vi možete sami napraviti za sebe ovu zagonetnu igračku. Na mesto zlatnih kolutova napravite kolutove od kartona, a upotrebite dugačke gvozdene eksere namesto dijamantskih igala o kojima govori indiska legenda. Nije teško otkriti opšte pravilo po kome se kolutovi premeštaju. A kada nađete to pra-



Sl. 4 — Jedna automatska mašina za štampanje u trenutku kad je tačno reprodukovala jedan Šekspirov stih

vilo videćete da premeštanje svakog koluta iziskuje dva puta više pokreta od onog koje mu prethodi. Za premeštanje prvog koluta potreban je samo jedan potez, ali broj poteza za svaki idući kolut raste geometriski. I tako kad se dođe do poslednjeg koluta, potrebno je tačno toliko pokreta koliko

je bilo zrna pšenice u količini žita koju je tražio Sisa Ben Dahir.[6])

Koliko bi trebalo da se šezdeset i četiri koluta Bramine kule premeste sa jedne igle na drugu? Pretpostavimo da sveštenici rade dan i noć bez praznika i odmora, vršeći jedan potez svakog sekunda. Pošto u godini ima 31,558,000 sekundi, da završe posao bilo bi im potrebno nešto malo preko **pedeset i osam hiljada milijardi godina.**

Zanimljivo je uporediti ovo čisto legendarno pretskazanje o trajanju vasione sa predviđanjem moderne nauke. Prema današnjoj teoriji razvitka vasione, zvezde, Sunce, i planete, uključujući tu i našu Zemlju, bile su formirane pre približno 3.000,000,000 godina iz bezoblične mase. Mi takođe znamo da »atomsko gorivo« koje služi za »pogon« zvezda, a naročito našeg Sunca može da traje još jedno 10,000,000,000 ili 15,000,000 000 godina. (Vidi poglavlje »Dani stvaranja sveta«). Izlazi da je celokupni život naše vasione svakako kraći od 20,000,000,000 godina i da nikako ne iznosi 58.000 milijardi godina, kako to procenjuje indiska legenda. Ali ipak, u pitanju je samo jedna legenda.

Najveći broj koji je ikad spomenut u literaturi verovatno je onaj koji se odnosi na čuveni »problem otštampanog retka«. Pretpostavimo da smo izgradili štamparsku mašinu koja bi stalno štampala jedan red za drugim i za svaki red bi automatski birala različite kombinacije slova i štamparskih znakova. Takvu bi mašinu sačinjavao izvestan broj odvojenih kolutova na čijoj bi ivici bila urezana slova i znakovi. Kolutovi bi bili povezani pomoću prenosnih zupčanika jedan s drugim onako kako su povezane cifre indikatora za kilometražu na automobilu — to jest tako da okretanje jednog koluta za jedan puni krug pomera idući kolut za jedno mesto. Posle svakog poteza, hartija bi se, kako se odvija sa cilindra, automatski prislonila uz slova. Takva automatska štamparska mašina može biti izgrađena bez velikih teškoća. Shematski pretstavljena, ona bi izgledala kao na slici 4.

[6]) Kad imamo samo 7 kolutova, broj potrebnih poteza iznosi:

$$1 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + 2^4 + 2^5 \ldots \text{ ili}$$

$$2^7 - 1 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 - 1 = 127$$

Ako premeštate kolutove brzo i bez ikakve greške, biće vam potrebno sat vremena da završite ovaj problem. Sa 64 kolutova celokupni broj poteza biće:

$$2^{64} - 1 = 18,446,744,073,709,551,615$$

A ovaj broj ravan je broju zrna koji je tražio Sisa Ben Dahir.

Stavimo sada mašinu u pogon i ispitajmo beskrani niz raznih otštampanih redaka kako se nižu na hartiji. U većini redaka ne bi bilo nikakvog smisla. Oni bi izgledali recimo ovako:

»aaaaaaaaaaa . . .«

ili

»ludludludludlud . . .«

ili

»zawkporpkosscilm . . .«

Ali pošto mašina štampa **sve moguće** kombinacije slova i znakova, mi ćemo sred besmislenog škarta naići i na rečenice koje imaju izvesnog smisla. Biće, razume se, puno nekorisnih rečenica, kao naprimer:

»konj ima šest nogu i . . .«

ili

»Volim jabuke kad su kuvane u terpentinu . . .«

Ali proveravanje će takođe izneti na videlo svaki redak koji je Šekspir napisao, čak i one sa listova koje je on lično bacao u koš.

Ustvari takva automatska štamparska mašina štampaće sve što je ikad bilo napisano od doba kada su ljudi naučili da pišu: svaki redak proze i poezije, svaki uvodnik i oglas iz novina, svaki teški tom naučnih knjiga, svako ljubavno pismo, svaki bakalski račun...

Štaviše mašina bi štampala sve što će biti napisano u toku vekova koji dolaze. Na hartiji koja izlazi ispod rotacionog cilindra našli bismo poeziju tridesetog veka, naučna otkrića budućnosti, govore koji će biti održani na 500-om zasedanju Parlamenta Sjedinjenih Država i opis nesreća u međuplanetarnom saobraćaju u godini 2344. Našlo bi se takođe stranica i stranica kratkih priča i dugih romana, koji još nisu napisani ljudskom rukom, a izdavači koji bi imali takve mašine u svojim podrumima imali bi samo da odvoje dobru literaturu od škarta i da je izdaju — što oni i sada moraju da rade.

Zašto se to ne bi moglo učiniti?

Prebrojmo broj redaka koji bi mašina trebalo da otštampa da bi se dobile sve moguće kombinacije slova i tipografskih znakova.

U engleskoj azbuci imamo dvadeset šest slova, deset cifara i četrnaest uobičajenih tipografskih znakova (prazan prostor, tačka, zapeta, dve tačke, tačka i zapeta, upitnik, uzvik, crtica, spojnica, navodnici, apostrof, i tri vrste zagrade) — ukupno pedeset simbola. Pretpostavimo da mašina ima šezdeset pet kolutova koji se poklapaju sa 65 mesta u jednom prosečno otštampanom retku. Otštampani redak može da počne bilo kojim od ovih znakova — tako da imamo pedeset mogućnosti. Za svaku od ovih pedeset mogućnosti imamo pedeset mogućnosti za drugo mesto u retku; tj., ukupno imamo $50 \times 50 = 2500$ mogućnosti. Ali za svaku datu kombinaciju prva dva slova u obzir dolaze 50 mogućih znakova na trećem mestu, itd. Ukupan broj mogućih kombinacija za ceo redak može biti izražen na sledeći način:

$$\overbrace{50 \times 50 \times 50 \times 50 \times \ldots 50}^{65 \text{ puta}}$$

ili $$50^{65}$$

to je jednako $$10^{110}$$

Da bi se osetila ogromnost ovoga broja, pretpostavimo da svaki atom u vasioni pretstavlja jednu posebnu štamparsku mašinu, tako da imamo 3.10^{74} mašina koje rade jednovremeno. Pretpostavimo, dalje, da sve te mašine rade bez prestanka otkako je stvorena vasiona, tj. u toku 3 milijarde godina ili 10^{17} sekundi, štampajući brzinom atomskih vibracija, tj. 10^{15} redaka na sekund. Dosad bi te mašine naštampale oko

$$3.10^{74} \times 10^{17} \times 10^{15} = 3.10^{106}$$

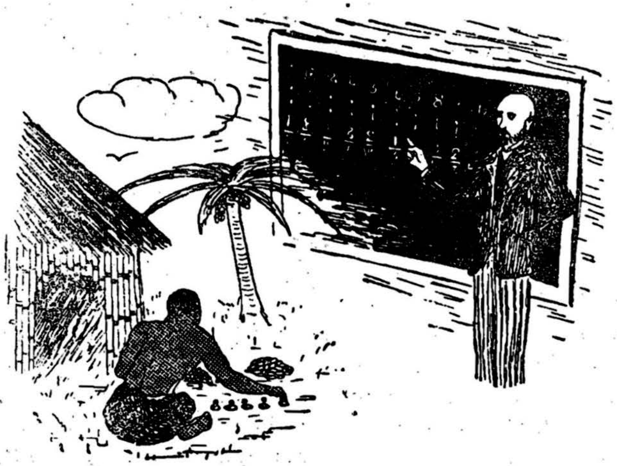
redaka, što iznosi svega jedan trideseti od 1% potrebnog broja.

Zaista, bilo bi potrebno veoma mnogo vremena da bi se mogao izvršiti bilo kakav izbor ovog automatski štampanog materijala.

2. Kako brojati beskonačnosti

U prethodnom odeljku govorili smo o brojevima od kojih su mnogi prilično veliki. Iako su takvi brojevi-giganti kao što je broj zrna pšenice koji je tražio Sisa Ben skoro neverovatno veliki, to su ipak konačni brojevi. I ako imamo dosta vremena, možemo ih ispisati do poslednjeg decimala.

Ali postoje zaista beskonačni brojevi, veći od ma kog broja koji ikad možemo da napišemo, pa makako dugo radili. Tako je »broj svih brojeva« očevidno beskonačan. Isto tako i »broj svih geometriskih tačaka na jednoj pravoj«. Može li se išta reći o takvim brojevima osim da su beskonačni. Da li je moguće, naprimer, uporediti dve različite beskonačnosti i utvrditi koja je »veća«?



Sl. 5 — Jedan afrički urođenik i prof. G. Kantor upoređuju brojeve koji su izvan njihove sposobnosti brojanja

Ima li ikakvog smisla pitanje: »Da li je broj svih brojeva veći ili manji od broja svih tačaka na jednoj pravoj?« Razmatranjem ovakvih pitanja, koja na prvi pogled izgledaju fantastična, prvi se bavio čuveni matematičar Georg Kantor (G.Cantor), koji se zaista može nazvati osnivač »aritmetike beskonačnosti«.

Prohte li nam se da govorimo o većim i manjim beskonačnostima, bićemo stavljeni pred zadatak da uporedimo bro-

jeve koje ne možemo ni izreći ni napisati. Tako ćemo se naći u manje-više istom položaju kao i Hotentot koji gleda svoje blago i želi da zna da li ima više zrna đerdana od stakla ili bakrenih para. Ali, kao što se sećate, Hotentot ne može da broji više od tri. Znači li to da on mora da napusti svaki pokušaj upoređenja broja staklenih zrna sa brojem para zato što ne ume da ih izbroji? Dabome da ne znači. Ako je dovoljno pametan, on će doći do odgovora upoređujući zrna i novčiće komad po komad. On će staviti jedno zrno uz jedan novčić, drugo zrno uz drugi novčić itd., itd.

Ako mu ponestane zrna dok mu još preostaje novčića, on će znati da ima više novčića nego zrna; ako mu ponestane novčića dok još ima zrna, on će znati da ima više zrna nego novčića, a ako se novčići i zrna podudaraju, on zna da ima isti broj zrna i novčića.

I baš taj način upoređenja dveju beskonačnosti pronašao je Kantor; ako uzmognemo da sparimo predmete dveju beskonačnih skupina tako da se svaki predmet jednog beskonačnog skupa spari sa jednim predmetom drugog beskonačnog skupa, i ni u jednoj grupi ne ostane nesparenih predmeta, onda su ove dve beskonačnosti jednake. Ako je, međutim, takav aranžman nemoguć, i u jednom skupu preostane nesparenih predmeta, mi velimo da je beskonačnost predmeta u ovom skupu veća, ili možemo reći jača od beskonačnosti predmeta u drugom skupu.

Očevidno ovo je najrazumniji, i ustvari jedini mogući način upoređivanja beskonačnih veličina, ali moramo biti spremni na izvesna iznenađenja kada počnemo da ga primenjujemo. Uzmite naprimer beskonačnost svih parnih i beskonačnost svih neparnih brojeva. Vi, razume se, osećate intuitivno da ima isto onoliko parnih koliko i neparnih brojeva. I to je potpuno u skladu sa gore navedenim pravilom, pošto se sparivanje ovih brojeva može izvesti:

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	itd.
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	itd.

Svakom neparnom broju na ovoj tablici odgovara po jedan paran i obratno; prema tome beskonačnost parnih brojeva jednaka je beskonačnosti neparnih brojeva. Izgleda potpuno jednostavno i prirodno.

Ali pričekajte. Šta je veće: broj svih brojeva, kako parnih tako neparnih, ili samo broj parnih brojeva? Vi ćete svakako reći da je broj svih brojeva veći pošto sadrži u sebi sve parne brojeve pored neparnih. Ali to je samo vaš utisak, i da biste dobili tačan odgovor morate upotrebiti gore navedeno pravilo za upoređenje dveju beskonačnosti. I ako upotrebite to pravilo, otkrićete na svoje iznenađenje da je vaš utisak bio pogrešan. Evo tabele sparivanja svih brojeva na jednoj strani s parnim brojevima na drugoj:

1	2	3	4	5	6	7	8	itd.
↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
2	4	6	8	10	12	14	16	itd.

Na osnovu našeg pravila za upoređenje beskonačnosti moramo reći da je beskonačnost parnih brojeva isto toliko velika kao i beskonačnost svih brojeva. Ovo, razume se, zvuči paradoksalno, jer parni brojevi pretstavljaju samo jedan deo svih brojeva. Međutim, moramo zapamtiti da imamo posla sa beskonačnim brojevima i moramo biti spremni da naiđemo na različita svojstva.

Ustvari, u svetu beskonačnosti **deo može biti jednak celini.** Ovo ćemo najbolje ilustrovati primerom uzetim iz jedne anegdote o čuvenom nemačkom matematičaru Davidu Hilbertu. Kažu da je on u svojim predavanjima o beskonačnosti izrazio sledećim rečima ovo paradoksalno svojstvo beskonačnih brojeva:[7])

»Zamislimo hotel sa konačnim brojem soba i pretpostavimo da su sve sobe zauzete. Dođe jedan novi gost i traži sobu. »Žalim«, kaže vlasnik, »ali sve su sobe zauzete«. A sada zamislimo jedan hotel sa **beskonačnim** brojem soba i da su sve te sobe zauzete. I u ovaj hotel dođe jedan novi gost i traži sobu.

»Kako da ne«, veli vlasnik i on preseli osobu koja je pre zauzimala sobu broj 1 u sobu br. 2, osobu iz sobe br. 2 u sobu br. 3, osobu iz sobe br. 3 u sobu br. 4 itd.... i.... I nova mušterija dobija sobu br. 1, koja je postala slobodna kao rezultat ovih preseljenja.

Zamislimo sada hotel sa beskonačnim brojem soba koje su sve zauzete i beskonačnim novim brojem gostiju koji traže sobe.

[7]) Pozajmljeno iz neobjavljenog, ili čak nenapisanog, ali široko rasprostranjenog dela: »Kompletna zbirka priča o Hilbertu« od R. Couranta.

»Kako da ne, gospodo«, veli vlasnik, »pričekajte samo trenutak».

On preseli osobu iz br. 1 u br. 2, onu iz br. 2 u br. 4, onu iz br. 3 u br. 6 itd., itd....

Sada su sve sobe sa neparnim brojem slobodne i beskonačan broj novih gostiju može biti smešten u njih.

Takvu stanbenu krizu kakvu opisuje Hilbert nije lako zamisliti čak i kad se setimo prestonice S.A.D., Vašingtona, za vreme rata. Ali ovaj primer jasno ilustruje da kod beskonačnih brojeva nailazimo na svojstva koja se znatno razlikuju od onih koja smo navikli da susrećemo u običnoj aritmetici.

Koristeći Kantorovo pravilo za upoređenje dva beskonačna skupa, mi možemo sada da dokažemo takođe da je broj običnih aritmetičkih razlomaka, kao naprimer $\frac{3}{7}$ ili $\frac{735}{8}$ jednak broju svih celih brojeva. Mi možemo da sredimo sve obične razlomke pomoću sledećih pravila: prvo ćemo ispisati sve razlomke kod kojih je suma brojitelja i imenitelja jednaka dva. Postoji samo jedan takav razlomak, tj.: $\frac{1}{1}$. Napišimo zatim razlomke kod kojih su sume jednake 3: $\frac{2}{1}$ i $\frac{1}{2}$. Onda one sa sumom jednakim 4: $\frac{3}{1}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{1}{3}$. I tako dalje. Na taj ćemo način dobiti jedan beskrajan niz razlomaka u kome se nalazi svaki razlomak koji nam može pasti na pamet (sl.5). Sad napišite iznad ovog niza niz celih brojeva i dobićete sparivanje jednog po jednog broja iz beskonačnog skupa razlomaka sa odgovarajućim brojem beskonačnog skupa celih brojeva. Prema tome njih ima jednak broj.

»Sve je to lepo i fino«, možete reći, »ali zar to ne znači samo da su **sve** beskonačnosti jednake jedna drugoj? I, ako je to tačno, u čemu je smisao makakvog upoređivanja jednih s drugima?« Ali to nije slučaj i može se lako naći jedna beskonačnost koja je veća od beskonačnog skupa svih celih brojeva ili aritmetičkih razlomaka.

Ustvari, ako razmotrimo pitanje koje smo ranije postavili u ovom poglavlju o broju tačaka na jednoj pravoj u poređenju sa brojem celih brojeva, videćemo da su ove dve beskonačnosti različite. Na jednoj pravoj liniji ima mnogo više tačaka nego što ima celih brojeva ili razlomaka. Da bismo ovu tvrdnju dokazali, pokušajmo da sparujemo tačke na jednoj pravoj, recimo 1 cm dugačkoj, s nizom celih brojeva.

Svaku tačku na pravoj karakteriše udaljenost od kraja prave. Ta razdaljina se može obeležiti u obliku jednog beskonačnog decimalnog razlomka kao naprimer 0,7359624780056 ...ili 0.38250375632...[8]) Na taj način sad treba da uporedimo broj celih brojeva sa brojem svih mogućih beskonačnih decimalnih razlomaka. Kakva je razlika između beskonačnih decimalnih razlomaka, kao što su naprimer ovi gornji, i običnih aritmetičkih razlomaka kao što su $\frac{3}{7}$ i $\frac{8}{277}$?

Morate se potsetiti da svaki običan razlomak može da se preobrazi u jedan beskonačan **periodičan** decimalan razlomak. Tako je $\frac{2}{3}$ = 0.66666... = 0.(6), i $\frac{3}{7}$ 4= 0,428571 4 28571 4 28571 4... = 0.(428571). Mi smo ranije dokazali da je broj običnih aritmetičkih razlomaka jednak broju svih celih brojeva. Na taj način i broj periodičnih decimalnih razlomaka mora biti isti kao broj svih celih brojeva. Ali tačke na jednoj pravoj ne moraju biti pretstavljene periodičnim decimalnim razlomcima; šta više u većini slučajeva dobićemo beskonačne razlomke kod kojih nema nikakvih periodičnosti. I vrlo se lako može dokazati da u takvom slučaju nije moguće nikakvo sređivanje u red.

Pretpostavimo da ima nekog ko tvrdi da je napravio jedan takav niz i da taj niz izgleda otprilike ovako:

N	
1	0.38602563078...
2	0.57350762050...
3	0.99356753207...
4	0.25763200456...
5	0.00005320562...
6	0.99035638567...
7	0.55522730567...
8	0.05277365642...
.	....
.	....
.	....

[8]) Svi ovi razlomci su manji od jedinice, jer smo mi pretpostavili da je dužina prave jednaka jedinici.

Pošto je, očevidno, nemoguće napisati beskonačno mnogo brojeva sa beskonačnim brojem decimala u svakome od njih, gornja tvrdnja znači da autor tabele ima neko opšte pravilo (slično onom koje smo mi koristili za sređivanje običnih razlomaka) po kome je napravio svoju tabelu i koje mu garantuje da će se svaki decimalni razlomak koji ikome može pasti na pamet pre ili posle pojaviti u tabeli.

Ali, nažalost, nije teško dokazati da je netačna makakva tvrdnja autora o takvoj tabeli budući da uvek možemo napisati jedan beskonačni decimalni razlomak koji nije sadržan u toj beskonačnoj tabeli. Kako to možemo da uradimo? Zaista veoma prosto. Napišite samo razlomak u kome se prvi decimal razlikuje od prvog decimala u razlomku br. 1 na tabeli, čiji se drugi decimal razlikuje od odgovarajućeg iz br. 2 na tabeli itd. Broj koji ćete dobiti izgledaće po prilici ovako:

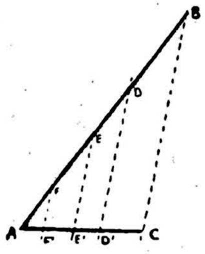
	ne 3	ne 7	ne 3	ne 6	ne 5	ne 6	ne 3	ne 5
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
0.	5	2	7	4	0	7	1	2

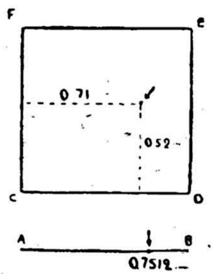
a ovaj broj nećete naći u tabeli ma kako ga dugo tražili. Ustvari ako bi vam autor tabele rekao da se baš ovaj razlomak koji ste gore napisali nalazi pod brojem 137 (ili makojim drugim) u njegovoj tabeli, vi možete odmah odgovoriti: »Ne, to nije isti razlomak jer se sto trideset i sedmi decimal u vašem razlomku razlikuje od sto trideset i sedmog decimala razlomka na koji ja mislim«.

I tako je nemoguće uspostaviti sparivanje između tačaka na jednoj pravoj i celih brojeva, što znači da je **beskonačnost tačaka jedne prave veća, ili jača, od beskonačnosti celih brojeva ili razlomaka.**

Mi smo dosada raspravljali o tačkama na jednoj pravoj »dugačkoj jedan santimetar«, ali se pomoću pravila naše »računice beskonačnosti« može lako dokazati da to važi za pravu liniju makoje dužine. Ustvari **prava dugačka bilo jedan santimetar, bilo jedan metar, bilo jedan kilometar uvek ima isti broj tačaka.** Da bismo to dokazali, pogledajte na sliku br. 6, koja upoređuje broj tačaka na dvema linijama AB i AC različitih dužina. Da bismo uspostavili odnos jedan-prema-jedan između tačaka ove dve prave, mi ćemo povući kroz svaku tačku na AB jednu pravu paralelnu sa BC i onda sparivati tačke preseka, kao naprimer D i D^1, E i E^1, F i F^1 itd. Svaka tačka na AB ima odgovarajuću tačku na AC i obratno. I tako su na osnovu našeg pravila ova dva beskonačna skupa tačaka jednaka.

Još više začuđuje rezultat analize beskonačnosti sadržan u tvrdnji: **broj tačaka u jednoj ravni jednak je broju tačaka jedne prave.** Da bismo to dokazali razmotrimo tačke na pravoj AB, dugačkoj 1 santimetar, i tačke u jednom kvadratu CDEF (slika 7).





Sl. 6 — Broj tačaka na jednoj pravoj

Sl. 7 — Broj tačaka u jednom kvadratu

Pretpostavimo da je položaj jedne određene tačke na pravoj dat nekim brojem, recimo 0,75120386... Od ovoga broja mi možemo na napravimo dva različita broja odvajajući brojke na parnim mestima od onih sa neparnim i praveći od njih nove brojeve. Tako ćemo dobiti

0.7108 ....

0.5236 ....

Izmerimo razdaljine koje obeležavaju ti brojevi na horizontalnim i vertikalnim pravcima našeg kvadrata i nazovimo tačku koju smo tako dobili »tačkom parnjakom« naše prvobitne tačke na pravoj. I obratno, ako imamo jednu tačku u kvadratu čiji je položaj obeležen, recimo, brojevima:

0.4835 ....

i

0.9907 ....

mi ćemo dobiti položaj odgovarajuće »tačke parnjake« na liniji spajajući ta dva broja:

0.49893057 ....

Ovakvim ćemo postupkom, očevidno, uspostaviti odnos jedan-prema-jedan između dva skupa tačaka. Svaka tačka na prvoj imaće svoju parnjaku u kvadratu, spaka pak u kvadratu imaće svoju parnjaku na pravoj, i neće preostati nijedne suvišne. I tako je na osnovu Kantorovog merila, beskonačnost svih tačaka u jednom kvadratu jednaka beskonačnosti svih tačaka na jednoj pravoj.

Sl. 8 — Prva tri beskonačna broja

Na sličan način se može lako dokazati da je beskonačnost tačaka u jednoj kocki jednaka beskonačnosti tačaka u jednom kvadratu ili na jednoj ravni. Da bismo ovo dokazali, treba samo da razdvojimo prvobitni decimalni razlomak na tri dela[9]) i da tako dobivena tri nova razlomka upotrebimo da bismo definisali položaj »tačke parnjake« unutar kocke. I, baš kao u slučaju dveju pravih različite dužine, broj tačaka u jednom kvadratu ili kocki biće istovetan bez obzira na njihovu veličinu.

Ali broj svih geometriskih tačaka, iako veći od broja svih celih brojeva ili razlomaka, nije najveći broj za koji

[9]) Naprimer od 0,73510682254 ... itd. dobijamo

0,71853 ...

0,30241 ...

0,56282 ...

znaju matematičari. Utvrđeno je da je stvarno **raznovrsnost svih mogućih krivih uključujući tu i one najneobičnijeg oblika, takav skup koji je veći od skupa svih geometriskih tačaka, pa ga stoga moramo označiti kao treći broj niza beskonačnosti.**

Prema Georgu Kantoru, stvaraocu »aritmetike beskonačnosti««, beskonačni brojevi se obeležavaju starojevrejskim slovom $\aleph$ (aleph) sa jednim malim brojem u donjem desnom uglu, koji obeležava red beskonačnosti. Niz brojeva (uključivši i beskonačne!) sad izgleda ovako:

$$1,2,3,4,5 \ldots \aleph_1 \aleph_2 \aleph_3 \ldots$$

a mi kažemo da »ima $\aleph_1$ tačaka na pravoj«, ili da »ima $\aleph_2$ različitih krivih«, isto kao što kažemo da »ima sedam delova sveta« ili »52 karte u »špilu« karata«.

U zaključku ovog razgovora o beskonačnim brojevima želim da ukažem na to da ovi brojevi vrlo brzo prevazilaze svaki skup koji se može zamisliti i na koji se oni mogu primeniti. Mi znamo da $\aleph$ pretstavlja broj svih celih brojeva, $\aleph_1$ pretstavlja broj geometriskih tačaka i $\aleph_2$ broj svih krivih, ali još niko nije mogao da smisli jedan određeni skup predmeta koji se može obeležiti sa $\aleph_3$. Izgleda da su ona prva tri beskonačna broja dovoljna da prebrojimo sve o čemu možemo misliti, i mi se ovde nalazimo u položaju koji je potpuno suprotan onom našeg starog druga Hotentota, koji je imao mnogo sinova, ali nije mogao da broji do tri.

Poglavlje II

PRIRODNI I VEŠTAČKI BROJEVI

1. Najčistija matematika

Matematiku drže, naročito matematičari, za Kraljicu svih Nauka. Kao kraljica pak, ona, prirodno, pokušava da izbegne sve morganatske odnose sa ostalim granama nauke. Tako naprimer, kad su na Zajedničkom kongresu čiste i primenjene matematike zamolili Davida Hilberta da da uvodnu reč koja bi doprinela da se razbije osećanje neprijateljstva koje je,

smatralo se, postojao između dveju grupa matematičara, on je počeo svoj govor sledećim rečima:

»Često se tvrdi da su čista i primenjena matematika neprijateljske jedna prema drugoj. To nije tačno. Čista i primenjena matematika nisu neprijateljski raspoložene jedna prema drugoj. Čista i primenjena matematika neće nikada biti neprijateljski raspoložene jedna prema drugoj. Čista i primenjena matematika ne mogu biti neprijateljski raspoložene jedna prema drugoj jer među njima, u suštini, nema apsolutno ničeg zajedničkog.«

Ali iako matematika voli da ostane čista i da se drži sasvim po strani od drugih nauka, druge nauke, naročito fizika, vole matematiku i pokušavaju da se »sprijatelje« sa njom što je moguće više. I stvarno, skoro svaka grana čiste matematike sada je angažovana u tumačenju ove ili one pojave fizičke stvarnosti. Doista, čak i takve grane matematike kao što su teorija apstraktnih grupa, nekomutativna algebra i neeuklidovska geometrija, koje su oduvek smatrane kao najčistije grane matematike i potpuno imune u pogledu ma kakve primene.

Jedan veliki deo matematike je ipak uspeo da ostane dosad posve neupotrebljiv u kakvu god drugu svrhu sem kao sredstvo za umnu gimnastiku, i na taj je način ova grana zaslužila počast da dobije »krunu čistote«. A to je takozvana »teorija brojeva« (ovde se podrazumevaju celi brojevi), jedan od najstarijih i najkomplikovanijih proizvoda čiste matematičke misli.

Ma koliko to izgledalo čudno, teorija brojeva se u izvesnom smislu može označiti kao empirička ili čak eksperimentalna nauka iako je najčistija vrsta matematike. Ustvari formulacija većine njenih postavki usledila je kao rezultat pokušaja da se urade razne stvari s brojevima onako isto kao što su zakoni fizike nastali kao rezultat pokušaja da se učine razne stvari sa materijalnim predmetima. I baš kao i u fizici, izvesne od ovih postavki su bile dokazane »matematički«, dok druge ostaju još uvek čisto empiričkog karaktera i još uvek pretstavljaju nerešene probleme i za najbolje matematičare.

Uzmimo, naprimer, problem prostih brojeva, to jest brojeva koji ne mogu biti pretstavljeni kao proizvod dva ili više manjih brojeva. Brojevi 1,2,3,5,7,11,13,17 itd. su takvi prosti brojevi. Dvanaest, međutim, nije prost broj jer se može napisati u obliku $2 \times 2 \times 3$. Da li je broj prostih brojeva neograničen? Ili možda postoji najveći prosti broj iza koga svaki broj može biti pretstavljen kao proizvod prostih brojeva koje već imamo? Sam Euklid je prvi postavio ovaj problem. On je dao vrlo jednostavan i elegantan dokaz da se broj prostih brojeva prostire van svake granice, tako da ne postoji »najveći prosti broj«.

Da bismo razmotrili ovo pitanje, pretpostavimo za trenutak da je poznat samo konačni broj prostih brojeva. Neka veliki broj N, pretstavlja najveći prosti broj dosada poznat. Izračunajmo sada proizvod svih poznatih prostih brojeva i dodajmo tome proizvodu 1. Tu operaciju možemo napisati ovako:

$$(1 \times 2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 \times \ldots N) + 1$$

Ovaj broj je očevidno mnogo veći od tobožnjeg »najvećeg prostog broja« N. Očevidno je da se ovaj broj ne može tačno podeliti nijednim od naših prostih brojeva (do N kao ni samim N) pošto je jasno već iz samog načina na koji je ovaj broj konstruisan da njegovo deljenje makojim od prostih brojeva daje kao ostatak 1.

Na taj način naš broj mora biti ili prost broj, ili mora biti deljiv prostim brojem većim od N. A obe ove pretpostavke su u protivrečnosti sa prvobitnom pretpostavkom da je N najveći postojeći prosti broj.

Ovaj način dokazivanja zove se **reductio ad absurdum** ili svođenje na protivrečnost, i pretstavlja jedno od omiljenih oruđa matematike.

Kako sad znamo da je broj prostih brojeva neograničen, možemo se upitati da li postoji nekakav jednostavan način da ih redom sve navedemo ne izostavljajući nijedan. Prvi je stari grčki filozof i matematičar Eratosten pronašao metod da se to postigne. Taj metod se obično naziva »Eratostenovo sito«. Sve što morate učiniti to je da napišete potpuni niz celih brojeva 1,2,3,4, itd., zatim da izbrišete prvo sve proizvode od 2, onda one preostale od 3, posle one od 5 itd. Eratostenovo sito za prvih stotinu brojeva vidi se na slici 9. Do stotine ono pokazuje ukupno 26 prostih brojeva. Pomoću ovog jednostavnog metoda rešetanja konstruisane su tabele prostih brojeva od jedne milijarde.

Bilo bi, međutim, mnogo jednostavnije, kad bismo mogli pronaći neku formulu, pomoću koje bismo mogli brzo i

automatski da nađemo samo proste brojeve, i to sve proste brojeve. Uprkos svih pokušaja učinjenih u toku vekova takva formula još uvek ne postoji.

Godine 1640 čuveni francuski matematičar Ferma (Fermat) mislio je da je pronašao formulu koja bi davala samo proste brojeve. U negovoj formuli, $2^{2^n} + 1$, n obeležava sukcesivne vrednosti 1,2,3,4 itd. Pomoću ove formule vidimo:

$$2^2+1=5$$
$$2^{2^2}+1=17$$
$$2^{2^3}+1=257$$
$$2^{2^4}+1=65537$$

Svaki od ovih brojeva je doista prost broj. Ali otprilike jedan vek pošto je Ferma objavio ovo svoje pravilo, nemački matematičar Ojler je pokazao da u petom Fermaovom računu, $2^{2^5}+1$, rezultat 4.294,967,297 nije prost broj, već je ustvari proizvod od 6,700,417 i 641. Na taj način se Fermaovo empiričko pravilo za izračunavanje prostih brojeva pokazalo kao pogrešno.

Jedna druga interesantna formula koja daje mnoge proste brojeve glasi:

$$n^2 - n + 41$$

u kojoj n opet označava 1,2,3 itd. Dokazano je da u svim slučajevima gde n obeležava neki broj od 1 do 40, primena gornje formule daje samo proste brojeve. Nažalost, ova formula potpuno prestaje da važi na četrdeset i prvom koraku.

Ustvari

$$(41)^2 - 41 + 41 = 41^2 = 41 \times 41$$

što je kvadrat, a ne prost broj.

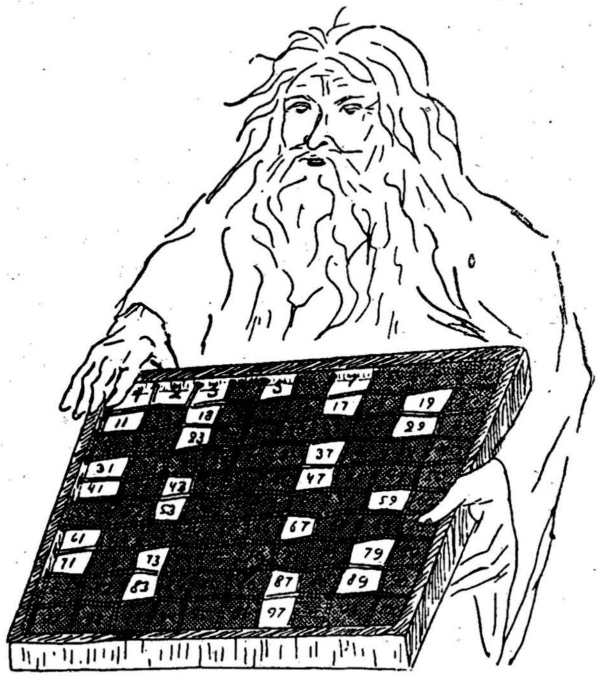
Jedna druga formula te vrste

$$n^2 - 79n + 1601$$

daje proste brojeve za vrednosti n do 79, ali ne i za 80.

Na taj način još uvek ostaje nerešen problem jedne opšte formule čijom će se primenom dobijati prosti brojevi.

Jedan drugi zanimljivi primer teorema u teoriji brojeva za koji dosad nije dokazano ni da važi, ni da ne važi je takozvano Goldbahovo (Goldbach) nagađanje. Formulisano 1742 godine, ono kaže da **se svaki parni broj može pretstaviti kao suma dva prosta broja.** Možete lako utvrditi u izvesnim jednostavnim slučajevima da je to tačno. Tako naprimer: 12 = 7 + 5, 24 = 17 + 7 i 32 = 29 + 3. Ali uprkos ogromnog rada na ovom problemu, matematičari nisu nikako mogli da pronađu definitivni dokaz da ovo važi u svim slučajevima



Sl. 9 — Eratostenovo »sito«

ili da nađu bar jedan slučaj kad ne važi. Godine 1931, ruski matematičar Šnirelman (Schnirelman) uspeo je da učini prvi konstruktivni korak ka traženom dokazu. Njemu je pošlo za rukom da dokaže da je **svaki parni broj suma ne više od 300,000 prostih brojeva.** Posle njega je jedan drugi ruski matematičar, Vinogradov, uspeo da znatno suzi razmak između Šnirelmanove »sume od tri stotine hiljada prostih brojeva« i željene »sume dva prosta broja«, dokazavši da je svaki parni

broj »suma četiri prosta broja«. Ali poslednja dva koraka — od Vinogradovljeva četiri na Goldbahova dva prosta broja — izgleda da su najteža, i niko ne zna da li će biti potrebno još nekoliko godina ili nekoliko vekova da se ovaj zaista teški teorem dokaže ili obori.

I tako, izgleda da smo još daleko od toga da se pronađe formula koja će dati automatski sve proste brojeve do jednog željenog velikog broja. Štaviše, nema nikakve garantije da će se takva formula ikada pronaći.

Sada ćemo postaviti sebi jedno malo skromnije pitanje — pitanje u vezi s procentom prostih brojeva u jednom određenom intervalu brojeva. Ostaje li ovaj procenat približno konstantan kako idemo sve većim i većim brojevima? A ako ne ostaje konstantan, da li raste ili opada? Možemo pokušati da odgovorimo empirički na ovo pitanje jednostavno brojanjem prostih brojeva u tabelama. Na taj način ćemo videti da ima 26 prostih brojeva manjih od 100,168 prostih brojeva manjih od 1000, 78, 498 prostih brojeva manjih od 1,000,000 i 50,847,478 prostih brojeva manjih od 1,000,000,000. Deleći ove brojeve prostih brojeva sa odgovarajućim numeričkim intervalima, dobijamo sledeću tabelu:

Interval 1 – N	Broj prostih	Odnos	$\frac{1}{\text{l-og } N}$	Otstupanje u %
1—100	26	0,260	0,217	20
1—1000	168	0,168	0,145	16
$1—10^6$	78498	0,078498	0,072382	8
$1—10^9$	50847478	0,050847478	0,0482549442	5

Ova tabela pokazuje pre svega da relativni broj prostih brojeva postepeno opada kako broj celih brojeva raste, ali da nema te tačke u brojnom intervalu kada više nema prostih brojeva.

Da li postoji neki jednostavan način da se matematički izrazi ovaj opadajući postotak prostih brojeva među velikim brojevima? Postoji. I zakon koji izražava prosečni raspored prostih brojeva pretstavlja jedno od najznačajnijih otkrića na čitavom području matematike. Taj zakon jednostavno utvrđuje **da je procenat prostih brojeva u intervalu od jedan do ma kog velikog broja N približno obeležen sa obrnutom**

vrednošću prirodnog[1]) logaritma broja N. I što je N veći, to je aproksimacija ove formule tačnija.

Na tabeli na prethodnoj stranici, u četvrtom stupcu, naći ćete prirodne logaritme N. Ako ih uporedite sa vrednostima na pređašnjim stupcima, videćete da se prilično podudaraju i da je to slaganje sve veće što je veće N.

Kao i mnogi drugi teoremi u teoriji brojeva, ovaj teorem o prostim brojevima prvo je bio empirički otkriven i veoma dugo vremena nije mogao biti čisto matematički dokazan. I tek krajem prošlog veka pošlo je konačno za rukom francuskom matematičaru Adamaru (Hadamard) i Belgijancu Vale Pusenu (Vallée Poussin) da ga dokažu meotodom koji je isuviše komplikovan i težak da bismo ga ovde tumačili.

Ne smemo napustiti ovu diskusiju o celim brojevima a da ne spomenemo čuveni Fermaov Veliki teorem koji može da posluži kao primer za klasu problema koji nisu povezani sa svojstvima prostih brojeva. Koreni ovoga problema potiču iz drevnog Egipta, gde je svaki dobar drvodelja znao da trougao čije strane zadovoljavaju odnos 3 : 4 : 5 mora imati jedan prav ugao. Ustvari, stari Egipćani upotrebljavali su takav trougao, koji se i sada zove Egipatski trougao, u drvodeljstvu[2]).

U trećem veku naše ere zapitao se Diofant (Diophantes) Aleksandriski da li su 3 i 4 jedini celi brojevi čija je suma kvadrata jednaka kvadratu trećeg broja. On je uspeo da dokaže da postoje drugi tripleti brojeva (ustvari jedan beskonačan broj njih) koji imaju istu osobinu i dao je opšte pravilo da se ti tripleti nađu. Takvi pravougli trouglovi čije se strane mere celim brojevima sada su poznati pod imenom Pitagorinih trouglova, a prvi u nizu se naziva Egipatski trougao. Problem konstrukcije Pitagorinih trouglova može se jednostavno izraziti algebarskom jednačinom u kojoj x, y, z moraju biti celi brojevi[3]):

$$x^2 + y^2 = z^2$$

[1]) Prirodni logaritam se može definisati ukratko kao obični logaritam iz tablica pomnožen faktorom 2,3026.

[2]) Pitagorin teorem geometrije za osnovnu školu dokazuje ovo na sledeći način: $3^2 + 4^2 = 5^2$.

[3]) Koristeći opšte pravilo Diofanta (uzmi makoja dva broja a i b tako da je 2ab perfektni kvadrat. $x = a + \sqrt{2ab}$; $y = b + \sqrt{2ab}$; $z = a + b + \sqrt{2ab}$. Onda je $x^2 + y^2 = z^2$), mi možemo da izradimo tabelu svih mogućih rešenja, čiji početak ovako izgleda: (vidi pri dnu sledeće strane)

Godine 1621 Pjer Ferma je kupio u Parizu jedan primerak novog francuskog prevoda Diofantove knjige **Arithmetica,** u kojoj se raspravlja o Pitagorinim trouglovima. Kada je pročitao knjigu, on je na margini napisao kratku napomenu da jednačina $x^2 + y^2 = z^2$ ima bezbroj rešenja sa celim brojevima, dok makoja jednačina tipa

$$x^n + y^n = z^n$$

u kojoj je **n** veće od dva uopšte nema rešenja.

»Našao sam stvarno divan dokaz za ovo«, dodao je Ferma, »ali je ova margina, međutim, suviše mala da ga iznesem«.

Kad je Ferma umro, Diofantova knjiga je nađena u njegovoj biblioteci, pa je tako i objavljena ova beleška na margini knjige. To je bilo pre tri veka i odonda su najbolji matematičari u svim zemljama pokušavali da rekonstruišu dokaz na koji je Ferma mislio kad je napisao svoju belešku na ivici knjige. Ali do danas taj dokaz nije otkriven. Svakako, učinjen je znatan napredak ka konačnom cilju i stvorena je čitava jedna grana matematike, takozvana »teorija ideala«, u pokušaju da se dokaže Fermaov teorem. Ojler je dokazao nemogućnost rešenja u vidu celih brojeva jednačina: $x^3 + y^3 = z^3$ i $x^4 + y^4 = z^4$. Dirišle (Dirichlet) je isto dokazao za jednačinu: $x^5 + y^5 = z^5$, a zahvaljujući zajedničkim naporima nekolicine matematičara sada imamo dokaze da je rešenje Fermaove jednačine nemoguće kada je **n** manje od 269. No opšti dokaz, koji vredi za ma koje vrednosti eksponenta **n,** nije dosad postignut, i sve je ozbiljnija sumnja da sam Ferma ili nije imao dokaza ili je načinio grešku u svom dokazu. Ovaj problem je postao naročito popularan kad je raspisana nagrada od sto hiljada nemačkih maraka za njegovo rešenje, iako su, razume se, svi napori amatera željnih para ostali bez ikakvog uspeha.

Naravno, još uvek ostaje mogućnost da je ovaj teorem rđavo postavljen i da se može naći jedan slučaj kad je suma

$3^2 + 4^2 = 5^2$ (egipatski trougao)
$5^2 + 12^2 = 13^2$
$6^2 + 8^2 = 10^2$
$7^2 + 24^2 = 25^2$
$8^2 + 15^2 = 17^2$
$9^2 + 12^2 = 15^2$
$9^2 + 40^2 = 41^2$
$10^2 + 24^2 = 26^2$

dva jednaka veća stepena dvaju celih brojeva ravna trećem celom broju podignutom na isti stepen. Ali pošto se u traganju za takvim primerom moraju zasad upotrebljavati stepeni veći od 269, ovo traganje nije laka stvar.

2. Tajanstveni $\sqrt{-1}$

Sad ćemo malo da se vežbamo u višoj aritmetici. Dva puta dva je četiri. Tri puta tri je devet. Četiri puta četiri je šesnaest. I pet puta pet je dvadeset pet. Prema tome: kvadratni koren iz četiri je dva, kvadratni koren iz devet je tri, kvadratni koren iz šesnaest je četiri i kvadratni koren iz dvadeset pet je pet[4]). Ali šta bi bio kvadratni koren jednog negativnog broja? Da li izrazi kao $\sqrt{-5}$ i $\sqrt{-1}$ imaju ikakvog smisla?

Ako pokušate da nađete odgovor na ovo nekim racionalnim načinom, besumnje ćete doći do zaključka da gornji izrazi uopšte nemaju smisla. Radi ilustracije navešćemo reči Bramina Bhaskare, matematičara iz XII veka: »Kvadrat pozitivnog broja kao i kvadrat negativnog broja je pozitivan. Prema tome, kvadratni koren pozitivnog broja je dvojak, pozitivan i negativan. Ne postoji kvadratni koren negativnog broja jer negativni broj nije kvadrat«.

Ali matematičari su tvrdoglavi ljudi. I kada nešto što izgleda besmisleno stalno iskrsava u njihovim formulama, oni će se potruditi do maksimuma da unesu neki smisao u to. A kvadratni koreni negativnih brojeva stalno isksavaju svuda, bilo u jednostavnim aritmetičkim problemima kojima su se zanimali matematičari u prošlosti, bilo u problemu XX veka, problemu sjedinjavanja prostora i vremena u okviru teorije relativiteta.

Onaj hrabri čovek koji je prvi put stavio na hartiju jednu formulu što je sadržavala na prvi pogled besmisleni kvadratni koren jednog negativnog broja, bio je italijanski matematičar Kardano (Cardano), koji je živeo u XVI veku. Razmatrajući mogućnost da se broj 10 razdvoji na dva dela čiji bi proizvod bio 40, on je dokazao da se, iako ovaj pro-

[4]) Lako se mogu naći kvadratni koreni mnogih drugih brojeva. Tako naprimer: $\sqrt{5} = 2,236\ldots$ jer $(2,236\ldots) \times (2,236\ldots) = 5,000\ldots$ i $\sqrt{7,3} = 2,702\ldots$ jer: $(2,702\ldots) \times (2,702) = 7,300$.

blem nema rešenja s racionalnim brojevima, ipak može dobiti odgovor u vidu dva nemoguća matematička izraza:

$$5 + \sqrt{-15} \text{ i } 5 - \sqrt{-15}\text{[5]}).$$

Kardano je napisao gornje redove uz ograničenje da je čitava stvar besmislena, fantastična i imaginarna, ali ih je ipak napisao.

I ako se čovek usudi da napiše kvadratne korene negativnih brojeva ma kako imaginarni oni bili, problem razdvajanja broja 10 na željeni način može da se reši. Kad je već jednom krenuo led, kvadratni koreni negativnih brojeva, ili imaginarni brojevi kako ih je jednom nazvao Kardano, sve su više i više upotrebljavani od strane matematičara, iako uvek sa velikim ograničenjima i izvinjavanjima. U knjizi o algebri koju je 1770 godine objavio veliki nemački matematičar Leonard Ojler, naći ćemo mnogobrojne primene imaginarnih brojeva, ali propraćene sledećim komentarom: »Svi takvi izrazi kao $\sqrt{-1}$, $\sqrt{-2}$, itd. su nemogući ili imaginarni brojevi pošto pretstavljaju korene negativnih veličina. A o takvim brojevima mi možemo zaista reći da nisu ništa, niti su veći od ništa, niti su manji od ništa, što ih nužno čini imaginarnim ili nemogućim«.

No uprkos svih ovih zloupotreba i izvinjavanja imaginarni brojevi su uskoro postali u matematici isto tako neophodni kao i razlomci i radikali, i prosto se ništa ne bi moglo postići bez njihove upotrebe.

Porodica imaginarnih brojeva pretstavlja, da se tako izrazimo, jednu nepostojeću senku u ogledalu običnih ili realnih brojeva. Isto onako kao što se mogu proizvesti svi realni brojevi počevši od osnovnog broja 1, mogu se izgraditi i svi imaginarni brojevi pomoću osnovne imaginarne jedinice $\sqrt{-1}$, koja se obično obeležava simbolom **i**.

Lako se može videti da je $\sqrt{-9} = \sqrt{9} \times \sqrt{-1} = 3i$; $\sqrt{-7} = \sqrt{7} \times \sqrt{-1} = 2,646 \ldots i$ itd. Na taj način svaki običan realan broj ima svog imaginarnog blizanca. Mogu se takođe kombinovati realni i imaginarni brojevi da bi se stvorili zajednički izrazi kao: $5 + \sqrt{-15} = 5 + i\sqrt{15}$, kako je

[5]) Dokaz: $(5 + \sqrt{-15}) + (5 - \sqrt{-15}) = 5 + 5 = 10$

$(5 + \sqrt{-15}) \times (5 - \sqrt{-15}) = (5 \times 5) + 5\sqrt{-15} - 5\sqrt{-15} - (\sqrt{-15} \times \sqrt{-15}) = (5 \times 5) - (-15) = 25 + 15 = 40$

to prvi uradio Kardano. Takve hibridne forme obično su poznate pod imenom kompleksnih brojeva.

Pošto su imaginarni brojevi prodrli u domen matematike, oni su više od dva veka ostali okruženi velom tajanstvenosti i neverovatnosti, dok konačno nisu dobili jedno jednostavno geometrisko tumačenje. To su učinila dva amatera matematičara. Jedan norveški geometar, po imenu Vesel (Wessel) i jedan pariski knjigovođa, Robert Argan (Argand).

Po njihovom tumačenju jedan kompleksan broj, kao naprimer $3 + 4i$, može da se pretstavi kao na slici 10, na kojoj 3 odgovara horizontalnoj razdaljini, a 4 vertikalnoj ili ordinati.

I zaista svi obični realni brojevi (pozitivni ili negativni) mogu biti pretstavljeni tako da odgovaraju tačkama na horizontalnoj osi, dok sve čisto imaginarne brojeve pretstavljaju tačke na vertikalnoj osi. Kad pomnožimo jedan realan broj, recimo 3, koji pretstavlja tačku na horizontalnoj osi, sa imaginarnom jedinicom **i**, dobijamo čisto imaginarni broj **3i** koji se mora obeležiti na vertikalnoj osi. Prema tome, množenje sa **i** je geometriski ekvivalentno okretanju za jedan pravi ugao u pravcu suprotnom od skazaljki sata (vidi sliku 10).

Ako sad pomnožimo **3i** još jednom sa **i**, moramo dobiti obrt od još 90°, tako da novodobijena tačka leži opet na horizontalnoj osi, samo sada na negativnoj strani. Prema tome,

$$3i \times 3i = 3i^2 = -3 \text{ ili } i^2 = -1$$

Na taj način tvrdnja da je »kvadrat iz i jednak — 1« može se mnogo lakše razumeti nego kad kažemo »dvostruko okretanje za po jedan pravi ugao (oba okretanja u smeru suprotnom od skazaljki sata) dovešće vas da budete okrenuti u suprotnom pravcu«.

Isto pravilo važi takođe i za hibridne kompleksne brojeve. Množeći $3 + 4i$ sa **i** dobijamo:

$$(3 + 4i)\, i = 3i + 4i^2 = 3i - 4 = -4 + 3i$$

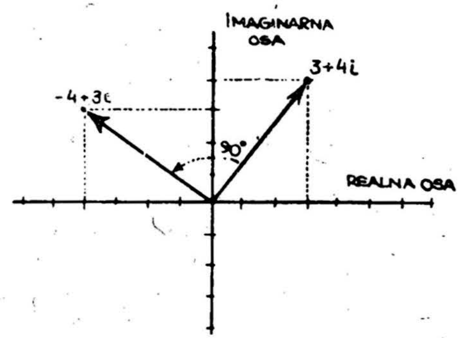
i kao što se odmah vidi na slici 10, tačka $-4 + 3i$ odgovara tački $3 + 4i$, koja je obrnuta za 90 stepeni oko centra koordinata u smeru suprotnom od skazaljki sata. Na sličan način množenje sa $-i$ nije ništa drugo već rotacija oko

centra koordinata u pravcu skazaljki sata kao što se vidi na slici 10.

Ako vi još imate osećanje da su imaginarni brojevi okruženi velom tajanstvenosti, onda... onda će biti najbolje da izradite jedan jednostavan problem u kome imaginarni brojevi imaju praktičnu primenu.

Bio jednom jedan mlad i pustolovan čovek, koji je našao među hartijama svoga čukundede jedan komad pergamenta na kome se nalazio plan mesta gde je bilo sakriveno blago. Uputstva su glasila:

»Odplovi do —— sjeverne širine i —— zapadne dužine[6]). Ondi ćeš nać jedno pusto ostrvo. Na sjevernoj obali ostrva, gdje stoji jedan usamljeni hrast i jedna usamljena jela[7]), nać ćeš jednu veliku ravnu poljanu. Tudjer ćeš vidjeti jedna stara vješala na kojima smo mi obično vješali



Sl. 10 — Realni i imaginarni brojevi

izdajnike. Uputi se od vješala prema hrastu i broj korake. Kod hrasta okreni se na desno za jedan pravi ugao i izbroj isti broj koraka. Na tom mjestu zabodi kolac u zemlju. Zatim se vrati k vješalima i pođi ka jeli brojeći korake. Kod jele okreni lijevo za pravi ugao i izbroj isti broj koraka i zabodi kolac u zemlju. Na polovini razdaljine između dva koca počni da kopaš. Blago se nalazi na tom mjestu«.

Uputstva su bila vrlo jasna i nedvosmislena i tako naš

[6]) Stvarne cifre dužine i širine nalazile su se u dokumentu, ali ih mi ovde izostavljamo da ne bismo otkrili tajnu.

[7]) Imena drveća takođe su promenjena iz istog razloga kao i gore. Očevidno da bi se na jednom tropskom ostrvu, na kome je sakriveno blago, nalazile druge vrste drveća.

mladi čovek iznajmi lađu i otplovi za Južno More. On je našao ostrvo, polje, hrast i jelu, ali na njegovu veliku žalost vešala nije bilo. Prošlo je isuviše vremena otkako je dokumenat bio napisan. Kiša, sunce i vetar su rastočili drvo i vratili ga u zemlju; čak nije ostao ni trag gde su vešala nekad bila.

Naš mladi pustolov padne u očajanje. Zatim u besnoj ljutnji počne da kopa nasumce po polju. Ali svi njegovi pokušaji bili su uzaludni: ostrvo je bilo suviše veliko. I tako je otplovio kući praznih ruku. A blago je verovatno još uvek tamo.

Ovo je zaista žalosna priča. Što je još žalosnije, to je činjenica da je ovaj momak mogao da nađe blago samo da je znao malo više matematike, a naročito upotrebu imaginarnih brojeva. Pokušajmo da mu mi nađemo blago, iako je sada kasno da bi mu to išta koristilo.

Posmatrajmo ostrvo kao ravan kompleksnih brojeva; nacrtajmo jednu osu (osu realnih brojeva) tako da prolazi kroz dva drveta, a drugu osu (imaginarnih brojeva) koja će biti pod pravim uglom u odnosu na prvu, a proći će kroz jednu tačku na pola puta između dva drveta (Sl. 11). Uzimajući kao jedinicu dužine pola razdaljine između dva drveta, vidimo da se hrast nalazi na tački $+1$ ose realnih brojeva, a jela na tački -1. Mi ne znamo gde su bila vešala i zato obeležimo njihovo eventualno nalazište grčkim slovom Γ (veliko gama), koje čak i liči na vešala. Pošto vešala nisu morala da budu na jednoj od dveju osa, mi možemo da pretpostavimo da je Γ bio kompleksan broj: $\Gamma = a + bi$, u kome se smisao **a** i **b** vidi iz sl. 11.

Sada ćemo izvršiti neka jednostavna računanja prisećajući se ranije iznetih pravila za množenje imaginarnih brojeva. Ako se vešala nalaze na Γ, a hrast na -1, njihovo otstojanje u pogledu razdaljine i pravca može da se obeleži sa $(-1) - \Gamma = -(1 + \Gamma)$. Slično tome rastojanje između vešala i jele može da se izrazi sa $1 - \Gamma$. Da bismo okrenuli ove dve dužine za jedan prav ugao u smislu skazaljki sata (tj. na desno) i u suprotnom smislu (tj. na levo), moramo, prema gornjim pravilima, da ih pomnožimo sa $-i$ i i. Na taj način ćemo naći mesta gde treba da zabijemo dva koca. Operacija je sledeća:

Prvi kolac: $(-i)\,[-(1+\Gamma)] + 1 = i\,(\Gamma + 1) - 1$

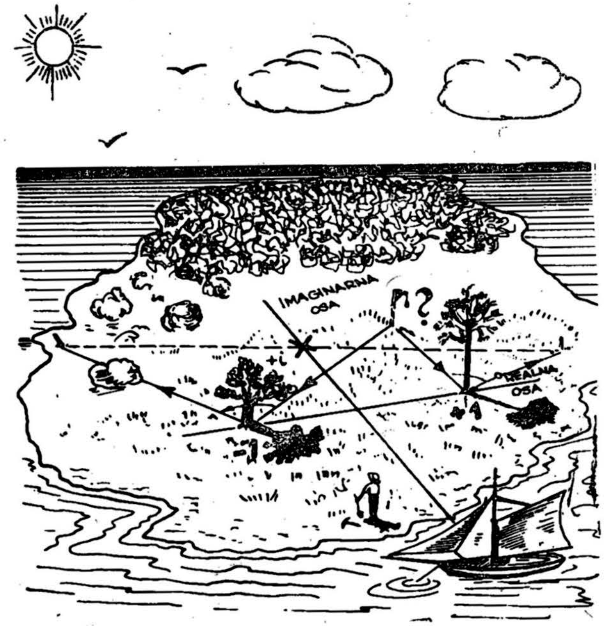
Drugi kolac: $(+i)\,(1-\Gamma) - 1 = i\,(1-\Gamma) + 1$

Pošto se blago nalazi na pola puta između dva koca, to moramo da nađemo polovinu sume gore navedena dva kompleksna broja. Dakle:

$$\frac{1}{2}\left[i(\Gamma+1)+1+i(1-\Gamma)-1\right]=\frac{1}{2}\left[+i\Gamma+i+1+i-i\Gamma-1\right]=$$

$$=\frac{1}{2}(+2\,i)=+i$$

Sad vidimo da je nepoznato mesto vešala, označeno sa Γ, ispalo iz naših računa i da, bez obzira na to gde su vešala nekad stvarno bila, blago mora da bude na tački **i**. I tako,

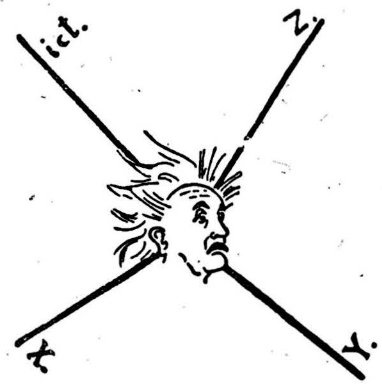


Sl. 11 — Traganje za blagom pomoću imaginarnih brojeva

da je mogao da izvrši ovaj jednostavni matematički račun, našem mladom pustolovu ne bi bilo potrebno da prekopava čitavo ostrvo, već bi blago tražio na tački obeleženoj krstićem na slici 11 i tamo bi ga našao.

Ako vi još ne verujete da je potpuno nepotrebno znati položaj vešala da bi se pronašlo blago, obeležite na jednom tabaku hartije položaje dvaju drveta i pokušajte da postupite po uputstvima iznetim u zaveštanju na pergamentu, pretpostavljajući razne položaje za vešala. Uvek ćete dobiti istu tačku koja odgovara broju $+i$ na kompleksnoj ravni.

Jedno drugo blago koje je pronađeno imaginarnim kvadratnim korenom iz -1 bilo je zapanjujuće otkriće da naš svakodnevni trodimenzionalni prostor i vreme mogu biti ujedinjeni u jednu četvorodimenzionalnu sliku, za koju važe pravila četvorodimenzionalne geometrije. Vratićemo se na ovo otkriće u jednom od sledećih poglavlja u kome se raspravlja o idejama Alberta Ajnštajna i njegovoj teoriji relativiteta.



DEO II

PROSTOR, VREME I AJNŠTAJN

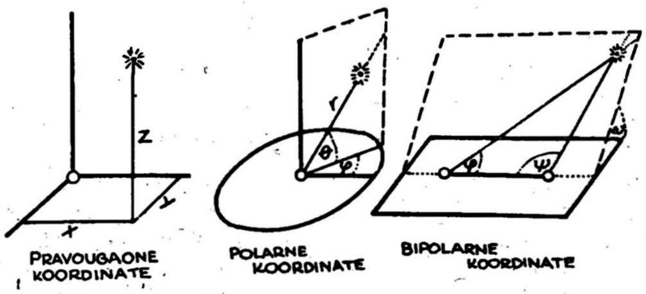
Poglavlje III

NEOBIČNA SVOJSTVA PROSTORA

1. Dimenzije i koordinate

Svi mi znamo šta je prostor iako bismo se našli u nezgodnom položaju kad bi od nas neko zatražio da tačno definišemo šta podrazumevamo pod tom rečju. Mi bismo verovatno odgovorili da je prostor **ono** što nas okružava i kroz šta možemo da se krećemo napred ili nazad, desno ili levo, gore ili dole. Postojanje triju nezavisnih, uzajamno okomitih pravaca pretstavlja jedno od osnovnih svojstava fizičkoga prostora u kome živimo; mi kažemo da je naš prostor trodirekcionalan ili trodimenzionalan. Svako mesto u prostoru može se obeležiti u odnosu na ova tri pravca. Ako smo doputovali u neki nepoznati grad i pitamo portira u hotelu gde možemo da nađemo kancelariju jednog dobro poznatog preduzeća, portir će nam reći: »Idi pet ćoškova na jug, dva ćoška desno i popni se na sedmi sprat«. Tri maločas pomenuta broja poznata su obično pod imenom koordinata. U ovom slučaju te koordinate izražavaju odnos između ulica grada, spratova zgrade i koordinatnog početka u holu hotela. Očevidno je, međutim, da uputstva kako da se dođe do iste tačke mogu biti data sa makoje druge tačke, upotrebom jednog koordinatnog sistema koji bi pravilno izrazio odnos između novog koordinatnog početka i mesta koje nas interesuje, i da se nove koordinate mogu izraziti pomoću starih, jednim jednostavnim matematičkim postupkom, ukoliko mi poznajemo relativni odnos novog koordinatnog sistema prema starom. Ovaj postupak se niziva **transformacija koordinata.** Možemo ovde dodati da nije nimalo potrebno da sve tri koordinate izrazimo pomoću brojeva koji pretstavljaju određene razdaljine. I stvarno, u izvesnim slučajevima bolje se mogu koristiti ugaone koordinate.

Tako naprimer, dok se adrese u gradu Njujorku mogu najprirodnije obeležiti pomoću pravougaonog koordinatnog sistema — pomoću ulica i avenia — sistem adresa u Moskvi



Sl. 12 — Koordinatni sistemi

svakako bi bio poboljšan transformacijom u polarne koordinate. Ovaj stari grad se razvijao oko tvrđave Kremlja kao centra od koga se radijalno šire ulice i koje okružuju nekoliko koncentričnih bulevara. Stoga bi tamo prirodno bilo da kažemo da se jedna kuća nalazi, recimo, dvadeset ćoškova severno-severozapadno od zida Kremlja.

Jedan drugi klasični primer pravougaonog i polarnog koordinatnog sistema pretstavljaju zgrade mornarice i pentagonska zgrada Ministarstva rata u Vašingtonu, koje poznaje svako ko je imao ikakve veze sa ratnim poslovima u toku Drugog svetskog rata.

Na slici br. 12 mi iznosimo nekoliko primera koji pokazuju kako se položaj jedne tačke u prostoru može opisati na razne načine pomoću triju koordinata. Neke od tih koordinata su razdaljine, dok su druge uglovi. Ali, makakav sistem mi upotrebljavali, uvek će nam biti potrebna tri podatka pošto imamo posla sa trodimenzionalnim prostorom.

Iako je za nas vrlo teško da s našim pojmom o trodimenzionalnom prostoru zamislimo prostore s više od tri dimenzije (mada, kao što ćemo docnije videti, takvi prostori postoje) ipak nama je lako da stvorimo pojam prostora s manje od tri dimenzije.

Jedna ravan, površina jedne sfere ili, uostalom, makoja površina pretstavlja jedan dvodimenzionalni prostor budući da položaj jedne tačke na jednoj površini može uvek biti dat pomoću samo dva broja. Slično tome jedna linija (prava ili kriva) je jednodimenzionalni prostor, i za opisivanje jedne tačke na njoj potreban je samo jedan broj. Isto tako možemo reći da je tačka prostor od nula dimenzija pošto u jednoj tački ne mogu da budu dva različita mesta. Ali, uostalom, koga interesuju tačke?

Pošto smo trodimenzionalna stvorenja nama je mnogo lakše da shvatimo geometriska svojstva linija i površina na koje mi gledamo »spolja« nego da shvatimo slična svojstva trodimenzionalnog prostora čiji smo mi deo. Ovim se može protumačiti što ćete se vi zgranuti nad tvrdnjom da se i trodimenzionalni prostor može iskriviti dok ćete bez ikakvih teškoća shvatiti šta se podrazumeva pod jednom krivom linijom ili površinom.

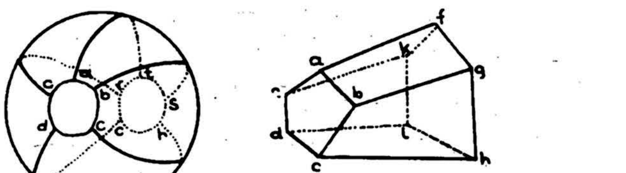
Međutim, s malo prakse i s razumevanjem toga šta reč »krivina« zaista znači, vi ćete videti da je pojam krivog trodimenzionalnog prostora zaista jednostavan i na kraju sledećeg poglavlja vi ćete — nadamo se — biti u stanju da govorite s lakoćom o nečemu što na prvi pogled izgleda gnusan pojam, tj. o krivom trodimenzionalnom prostoru.

Ali pre nego što počnemo da raspravljamo o tome, oprobajmo se na malo mentalne gimnastičke vežbe sa izvesnim činjenicama o običnom trodimenzionalnom prostoru, dvodimenzionalnim površinama i jednodimenzionalnim linijama.

2. Geometrija bez mere

Ako se setite geometrije, tj. nauke o prostornom merenju,[1]) s kojom ste se upoznali u vašim školskim danima, reći ćete da se sastoji uglavnom iz velikog broja teorema o brojnim odnosima između raznih razdaljina i uglova (kao, naprimer, čuveni Pitagorin teorem o odnosu između tri strane jednog pravougaonog trougla). Ali je činjenica da veliki broj osnovnih svojstava prostora ne iziskuje merenje nikakvih dužina i uglova. Grana geometrije koja se bavi ovim pitanjima poznata je pod imenom Analysis Situs ili topologija[2]), i pretstavlja jedno od najtežih i najinteresantnijih područja matematike.

Da bismo izneli jedan jednostavan primer problema iz topologije, razmotrimo jednu zatvorenu geometrisku površinu, recimo jednu sferu raspodeljenu na mnogo odvojenih područja pomoću jedne mreže linija. Takvu figuru možemo napraviti stavljajući na površinu jedne sfere proizvoljan



Sl. 13 — Jedna izdeljena sferična površina preobraćena u poliedar

broj tačaka i povezujući te tačke linijama koje se ne seku. Kakav je brojni odnos između prvobitnih tačaka, linija koje pretstavljaju granice između susednih područja i samih tih područja?

Pre svega, očevidno je da smo umesto sfere uzeli neki sferoid spljošten kao bundeva ili neko telo izduženo kao krastavac, broj tačaka, linija i područja bio bi tačno isti kao i na savršenoj sferi. Ustvari mi možemo da uzmemo makoju zatvorenu površinu koju ćemo dobiti deformisanjem jednog balona od gume kad ga rastežemo, sabijamo ili urađimo s njim ma šta sem da ga rasečemo ili da ga iskidamo, i naš problem neće se nimalo izmeniti kako u pogledu formulacije, tako i u pogledu odgovora. Ova činjenica pretstavlja zaista zapanjujući kontrast u sravnjenju s običnim numeričkim odnosima u geometriji kao što su odnosi koji postoje između linearnih dimenzija, površina ploha i zapremina geometriskih tela. Takvi odnosi bili bi sasvim izmenjeni kad bismo razvukli jednu kocku u paralelopiped ili tako zgnječili jednu sferu da liči na palačinku.

[1]) Ime geometrija dolazi od dve grčke reči. ge = zemlja, ili bolje: zemljište, i **metrein** = meriti. U doba kad je ova reč formulisana, interesovanje starih Grka na ovom području bilo je pretežno određeno trgovinom nekretninama.

[2]) Što znači, na latinskom, odnosno grčkom: izučavanje položaja.

Jedna od stvari koje možemo da učinimo sa našom sferom, čija je površina raspodeljena na izvestan broj odvojenih područja, jeste ta da možemo tako da spljoštimo sva područja da naša sfera postane poliedar; linije koje ograničavaju razna područja sad postaju ivice poliedra, a prvobitni skup tačaka pretvara se u njegova temena.

Sada možemo da preformulišemo naš pređašnji problem, ne menjajući mu smisao, u sledeće pitanje: kakvi su odnosi između broja temena, ivica i strana makog poliedra?

Na slici 14 mi pokazujemo pet pravilnih poliedara, tj. onih kod kojih sve strane imaju isti broj ivica i temena, kao i jedan nepravilan poliedar, prvi koji nam je pao na pamet.

Na svakom od ovih geometriskih tela mi možemo da prebrojimo temena, broj ivica i broj strana. Kakav je odnos između ova tri broja, ako uopšte postoji?

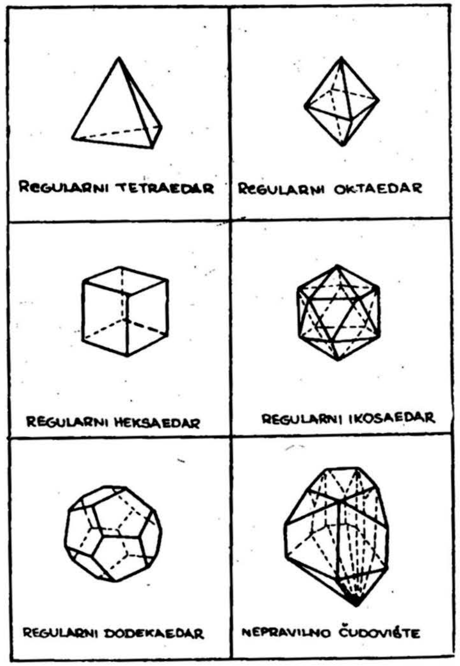
Direktnim brojanjem dolazimo do sledećih tabela:

Ime	T broj temena	I broj ivica	S broj strana	T + S	I + 2
Tetraedar (Piramida)	4	6	4	8	8
Heksaedar (Kocka)	8	12	6	14	14
Oktaedar	6	12	8	14	14
Ikosaedar	12	30	20	32	32
Dodekaedar ili Pentadodekaedar	20	30	12	32	32
»Čudovište«	21	45	26	47	47

Na prvi pogled između cifara iznetih u tri stupca (pod T, I i S) izgleda da nema nikakve korelacije, ali posle izvesnog proučavanja videćete da je suma cifara u slučajevima T i S uvek veća od cifre u stupcu I za dva. Na taj način možemo napisati matematički odnos:

$$T + S = I + 2$$

Da li ovaj odnos važi samo za pet određenih poliedara iznetih u slici 14 ili to važi za makoji poliedar? Ako pokušate da nacrtate više poliedara koji se razlikuju od onih na slici 14 i prebrojite njihova temena, ivice i strane, videćete da u svakom slučaju važi gore navedeni odnos. Očevidno je,

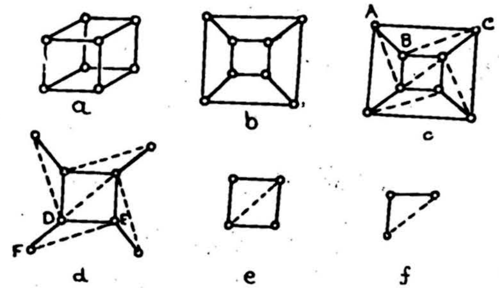


Sl. 14 — Pet pravilnih poliedara (jedini mogući) i jedno nepravilno čudovište

prema tome, da je $T + S = I + 2$ jedan opšti matematički teorem topološke prirode; pošto ovaj odnos ne zavisi od merenja dužine ivica ili površine strana, već se odnosi samo na broj različitih geometriskih jedinica, tj. ivica, temena i strana.

Odnos koji smo sad utvrdili između broja temena, ivica i strana u jednom poliedru, prvi je primetio čuveni francuski matematičar XVII veka Rene Dekart (Deskartes). A jedan drugi matematički genije, čije ime ova formula nosi, Leonard Ojler, dao je, nešto docnije, tačan dokaz za ovo pravilo.

Iznosimo ovde celokupni dokaz Ojlerovog teorema — citat je iz knjige R. Curana (Courant) i H. Robinsa **»Šta je matematika?«**[8]) — samo da pokažemo kako se takvi dokazi postavljaju:



Sl. 15 — Dokaz Ojlerovog teorema. Crtež je napravljen za kocku, ali bi rezultat bio isti za makoji poliedar

»Da bismo dokazali Ojlerovu formulu, pretpostavimo da je naš dati prosti poliedar šupalj i da mu je površina napravljena od tanke gume (sl. 15A). Ako zatim isečemo jednu od strana šupljeg poliedra, ostalu površinu možemo toliko da deformišemo da se najzad rastegne u potpunu ravan (sl. 15B). Razume se da će u toku ovog procesa rastezanja površine strana i uglovi između ivica poliedra biti promenjene, ali mreža temena i ivica u ravni imaće isti broj ivica i temena kao i prvobitni poliedar, dok će broj poligona biti za jedan manji nego u prvobitnom poliedru, pošto smo jednu stranu isekli. Sad ćemo dokazati za ovu mrežu u ravni da je $T - I + S = 1$, tako da će, ako uračunamo i onu stranu koju smo isekli, za prvobitni poliedar važiti formula $T - I + S = 2$.

8) Pisac je zahvalan dr. Curanu i dr. Robinsu, a takođe i Oksfordskom univerzitetu za dozvolu da se posluži gornjim tekstom. Oni čitaoci koji se na osnovu nekoliko primera datih ovde zainteresuju za problem topologije naći će detaljniju raspravu o tim problemima u knjizi »What Is Mathematics?«

Prvo ćemo da »trougliramo« mrežu u ravni na sledeći način:

Povući ćemo dijagonalu u jednom poligonu mreže koji već nije trougao. Ovim povećavamo i I i S za 1 održavajući time vrednost T — I + S. I dalje povlačimo dijagonale, spajajući parove tačaka sve dok se figura ne bude sastojala samo iz trouglova, što se najposle i mora dogoditi (slika 15c). U ovoj trouglinanoj mreži T — J + S ima istu vrednost kao i pre podele u trouglove pošto je crtanje dijagonala nije izmenilo.

»Neki od trouglova imaju ivice na granici mreže. Izvestan broj među njima, kao na primer ABC, imaju samo jednu ivicu na granici, dok drugi trouglovi mogu da imaju i po dve ivice na granici. Uzećemo makoji granični trougao i otklonićemo onaj deo koji već ne pripada jednom trouglu (slika 15d). Tako iz trougla ABC, otklanjamo ivicu AC i površinu, ostavljajući samo temena A,B,C i dve ivice AB i BC; dok od trougla DEF otklanjamo površinu, dve ivice DF i FE, i teme F.

»Otklanjanje trougla tipa ABC smanjuje I i S za 1, dok T ostaje nepromenjen, tako da T — I + S ostaje isto. Otklanjanje trougla tipa DEF smanjuje T za 1, I za 2 i S za 1, tako da T — I + S opet ostaje isto. Pravilno izabranim redosledom ovakvih operacija možemo da otklonimo trouglove sa ivicama na granici (koja se menja sa svakim otklanjanjem) dok konačno ne ostane samo jedan trougao sa tri strane, tri temena i jednom površinom. Za ovakvu jednostavnu mrežu T — I + S = 3 — 3 + 1 = 1. Ali videli smo da se stalnim brisanjem trouglova veličina T — I + S nije promenila. Zato u prvobitnoj mreži u ravni T — I + S mora takođe biti jednako 1, pa je stoga jednako jedan i za poliedar s jednom otklonjenom stranom. Odatle zaključujemo da je T — I + S = 2 za čitav poliedar. Ovim se pak dokazuje Ojlerova formula.«

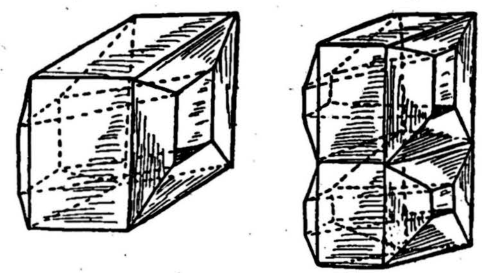
Jedna zanimljiva posledica Ojlerove formule je dokaz da **mogu da postoje samo pet pravilnih poliedara, to jest oni na slici 14.**

Pažljivo proučavajući raspravljanje na ovih nekoliko poslednjih stranica, mogli ste primetiti da smo crtajući poliedre »svih mogućih vrsta« koji se vide na slici 14, kao i u našem matematičkom rezonovanju pri dokazivanju Ojlerovog teorema, koristili jednu prikrivenu pretpostavku koja je u znatnoj meri ograničila naš izbor. Mi smo se ograničili

samo na poliedre koji, tako da kažemo, **nemaju rupa;** i kada govorimo o rupama, ne mislimo na rupe kao što je rupa procepana u jednom gumenom balonu, već pre na rupu kao što je ona na uštipcima ili na šupljinu u jednoj automobilskoj gumi.

Jedan pogled na sliku 16 razjasniće pitanje. Tu vidimo dva različita geometriska tela i svako od njih je isto toliko poliedar kao i makoje telo na slici 14. Upitajmo se da li Ojlerov teorem važi i za ove nove poliedre.

Pri prvom zbrajanju imamo 16 temena, 32 ivice i 16 strana. Svega T + S = 32, dok je I + 2 = 34. U drugom slučaju imamo 28 temena, 46 ivica i 30 strana, tako da je T + S = 58, dok je I + 2 = 48. Ponovo ne ide!



Sl. 16 — Dva suparnika obične kocke sa jednom i dve rupe. Strane kocaka nisu sve tačno pravougaone, ali kao što smo videli, u topologiji to nije važno.

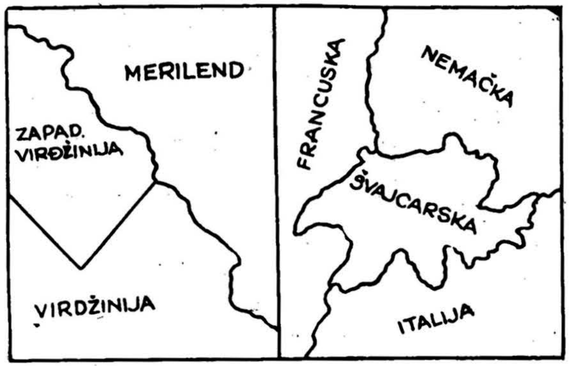
Zašto je to tako i šta je uzrok tome da naš opšti dokaz Ojlerovog teorema kako smo ga ranije izložili ne važi u ovim slučajevima?

Uzrok je, naravno, u tome, što su svi poliedri koje smo ranije razmatrali bili slični unutarnjoj fudbalskoj gumi, dok šuplji poliedri novoga tipa više liče na unutarnju automobilsku gumu ili na još komplikovanije proizvode industrije gume. Gore navedeni proces matematičkog dokazivanja ne može se primeniti jer s telima ove vrste ne možemo vršiti sve operacije potrebne za dokazivanje. Ustvari, mi smo morali da »isečemo jednu stranu šupljeg poliedra i da iskrivimo preostalu površinu dok se ne spljošti po ravni.«

Ako uzmete gumu fudbala, i isečete makazama jedan deo njene površine, nećete imati nikakvih teškoća da ispunite taj uslov. Ali vi to nećete moći uspešno da izvršite s jednom automobilskom gumom ma kako dugo probali. Ako vas jedan pogled na sliku 16 u to ne uveri, uzmite jednu staru automobilsku gumu i probajte!

Pogrešno bi bilo, međutim, smatrati da između T, I, i S za poliedre komplikovanijeg tipa ne postoji nikakav odnos. Takav odnos postoji, samo je to odnos druge vrste. Za poliedar na formu uštipka, ili, govoreći naučnije, za poliedar oblika torusa, imamo $T + S = I$, za poliedre tipa »perece« imamo $T + S = I - 2$. Uopšte uzev, $T + S = I + 2 - 2N$, gde je N broj rupa.

Jedan tipični topološki problem, tesno povezan sa Ojlerovim teoremom, je takozvani »problem četiri boje«. Pret-



Sl. 17 — Topološke mape: (levo) države u SAD: Merilend, Virdžinija i Zapadna Virdžinija; desno: Švajcarska, Francuska, Nemačka i Italija.

postavimo da imamo površinu jedne sfere raspodeljenu u izvestan broj odvojenih područja i da treba tako da obojimo ta područja da dva susedna područja (tj. ona koja imaju zajedničku granicu) ne budu iste boje. Koji je najmanji broj raznih boja potreban za takav zadatak? Očevidno je da dve boje uopšte neće biti dovoljne; kad se tri ivice sastaju u jednoj tački[4]) biće nam potrebne tri različite boje za tri države.

[4]) Kao naprimer, granica Virdžinije, Zapadne Virdžinije i Merilenda, na karti Sjedinjenih Američkih Država. Slika 17.

Takođe nije teško naći primer (Švajcarska u vreme aneksije Austrije od strane Nemačke) gde su četiri boje neophodne (slika 17).[5])

Ali ma koliko vi pokušavali, nikada nećete biti u stanju da napravite nekakvu mapu, svejedno da li na globusu ili na ravnom listu hartije,[6]) za koju će biti potrebno više od četiri boje. Ma kako komplikovana bila mapa, uvek će, izgleda, biti dovoljne četiri boje da bi se izbegla zbrka duž granica.

Ukoliko je ova tvrdnja tačna, ona se može dokazati matematički. Ali uprkos napora nekoliko generacija matematičara to dosada još nije učinjeno. Ovo je tipični slučaj matematičke postavke u koju niko ne sumnja, ali koju niko nije u stanju da dokaže. Najviše što se dosada moglo učiniti matematički to je da se dokaže da je pet boja uvek dovoljno. Taj dokaz se zasniva na Ojlerovoj formuli, primenjenoj na broj zemalja, broj granica i broj tromeđa, četvoromeđa itd. gde se više zemalja sastaje.

Mi taj dokaz nećemo ovde iznositi zato što je prilično komplikovan i što bi nas odveo od glavnog predmeta diskusije, ali čitalac ga može naći u raznim knjigama o topologiji i može da provede prijatno veče (a možda neprospavanu noć) u razmišljanju nad njim. On može da pokuša da eventualno nađe dokaz da su ne pet već četiri boje dovljne da se oboji ma koja mapa ili, ukoliko ne veruje da ova tvrdnja važi, nek nacrta mapu za koju četiri boje nisu dovoljne. Ukoliko uspe u jednom od ova dva pokušaja, njegovo će ime biti ovekovečeno u istoriji čiste matematike.

Smešno je ali istinito da se problem bojenja, koji se tako uspešno odupirao rešenju kad se radi o globusu ili ravni, može relativno jednostavno rešiti kad se radi o komplikovanim površinama, kao što je ona od uštipaka ili perece. Naprimer, definitivno je dokazano da je sedam raznih boja dovoljno da oboji svaku moguću kombinaciju raznih delova jednog tela kao što je uštipak s rupom a da nikad dva susedna dela

[5]) Pre okupacije tri boje bi bile dovoljne: Švajcarska, zelena; Francuska i Austrija crveno; Nemačka i Italija žuto.

[6]) S gledišta problema bojenja svejedno je da li se radi o ravnoj mapi ili globusu, jer, rešivši problem na globusu, možemo uvek da probušimo malu rupu na jednom od obojenih područja i da »otvorimo« dobivenu površinu na ravni. Opet jedna tipična topološka transformacija.

ne budu obojena istom bojom. Nađeno je primera gde je bilo potrebno baš svih sedam boja.

Da bi navukao na sebe još jednu glavobolju, čitalac može da uzme jednu napumpanu automobilsku gumu i sedam raznih boja i da pokuša da oboji površinu gume tako da svako područje obojeno jednom bojom dodiruje šest drugih područja različite boje. Kad to učini, moći će da kaže da doista »razume šta je uštipak«.

3. Izvrtanje prostora naopačke

Dosada smo razmotrili samo topološka svojstva raznih površina, tj. prostora od samo dve dimenzije. Ali očigledno je da se ta ista pitanja mogu postaviti u odnosu na trodimenzionalni prostor u kome i sami živimo. Tako, naprimer, trodimenzionalna generalizacija problema bojenja mapa može se formulisati otprilike ovako: treba da napravimo mozaik u prostoru upotrebljavajući komade različitog oblika i raznih materijala, a taj mozaik treba napraviti držeći se principa da se dva komada od istog materijala nikad ne dodiruju tako da imaju zajedničku površinu. Koliko je vrsta materijala potrebno?

Šta je trodimenzionalna analogija problema bojenja površine jedne sfere ili torusa? Mogu li se naći izvesni neobični trodimenzionalni prostori koji se odnose prema našem običnom prostoru isto onako kao površine sfere ili torusa prema običnoj ravnoj površini? Na prvi pogled ovo pitanje izgleda besmisleno. Ustvari, dok smo u stanju da lako zamislimo mnoge površine raznih oblika, mi smo skloni da verujemo kako postoji samo jedna vrsta trodimenzionalnog prostora, naime ovaj poznati fizički prostor u kome živimo. Ali takvo mišljenje pretstavlja jednu opasnu obmanu. Ako malo napregnemo svoju maštu, možemo zamisliti trodimenzionalne prostore koji se znatno razlikuju od prostora koji izučavamo u udžbenicima Euklidove geometrije.

Teškoće u zamišljanju takvih čudnih prostora leže uglavnom u činjenici što smo prinuđeni, budući da smo i sami trodimenzionalna stvorenja, da posmatramo prostor da tako kažemo »iznutra«, a ne »spolja«, kako to činimo sa raznim površinama čudnog oblika. Ali uz pomoć izvesne umne gimnastike, savladaćemo takve čudne prostore bez velike teškoće.

Pokušajmo, pre svega, da izgradimo model trodimenzionalnog prostora koji bi imao svojstva slična svojstvima površine jedne sfere. Glavno svojstvo sferičnih površina jeste to što one nemaju nikakvih granica, a ipak imaju konačnu površinu; ta se površina okrene i sama sobom zatvori. Može-mo li zamisliti trodimenzionalni prostor koji bi samog sebe na taj način zatvorio i to tako da ima ograničenu zapreminu ali da nema nikakvih oštrih ograničenja. Zamislite dva sferična tela od kojih je svako ograničeno sferičnim površinama, kao što je telo jabuke ograničeno svojom korom.

Sl. 18 — Kako dva crva jedu duplu jabuku?

Zamislite sada da su ova dva sferična tela »ugurana jedno kroz drugo« i da se spajaju svojom spoljnom površinom. Ovde se, naravno, ne radi o tome da se uzmu dva fizička tela, kao naše dve jabuke, da ih zgnječimo jednu kroz drugu tako da se njihove kore mogu slepiti. Jabuke bi se potpuno izgnječile, ali ne bi nikad jedna prodrla kroz drugu.

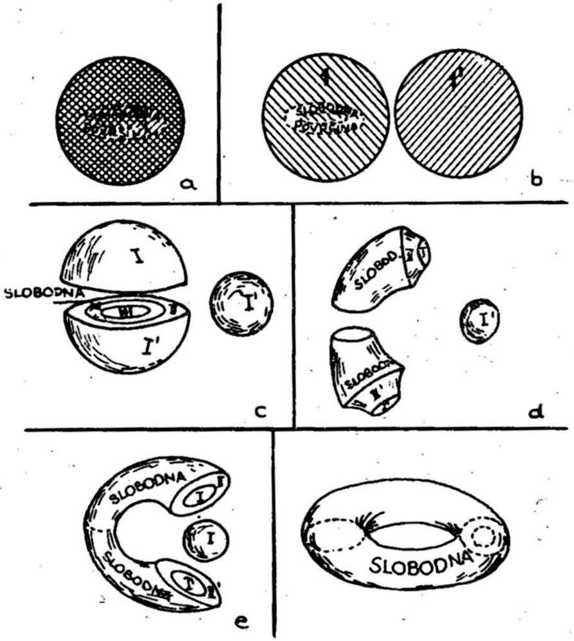
Da se to postigne, treba zamisliti jednu jabuku čija je unutrašnjost sva izbušena kanalima koje su progrizli crvi. Mora da postoje **dve** vrste crva, recimo beli i crni, koji ne vole jedni druge, i koji se nikad ne susretnu unutar jabuke, iako obe vrste mogu da počnu sa susednih tačaka na površinu jabuke. Jabuka koja je napadnuta od ove vrste crva konačno će ličiti na nešto što je pretstavljeno na slici 18.

Tu se vidi dupla mreža kanala, tesno isprepletanih, koji ispunjavaju svu zapreminu naše jabuke. Ali, iako beli i crni kanali prolaze vrlo blizu jedan od drugog, jedini način da se pređe iz jedne polovine lavirinta u drugu je taj da se prvo prođe kroz površinu jabuke. Pretpostavite sad da kanali postaju sve tanji, a njihov broj sve veći i vi ćete konačno tako zamisliti prostor unutar jabuke kao da se sastoji od superpozicije dva nezavisna prostora spojena samo zajedničkom površinom.

Ako ne volite crve, možete da zamislite dupli sistem hodnika i stepenica koji su se mogli izgraditi, naprimer, u ogromnoj sferi koja je postojala na poslednjoj svetskoj izložbi u Njujorku. Svaki sistem stepenica mogao bi se zamisliti tako kao da prolazi kroz čitavu zapreminu sfere. Ali, da bi se prešlo sa jedne tačke prvog sistema na susednu tačku drugog sistema, trebalo bi proći skroz, sve do površine sfere gde se dva sistema spajaju, a zatim opet nazad u sferu do željene susedne tačke. Mi kažemo da se ove dve sfere popunjuju, ali bez mešanja jedne u drugu. Jedan vaš prijatelj može da vam bude vrlo blizu u susednoj sferi. No poželite li da ga vidite i da se rukujete s njim, morali biste da idete dugačkim okolnim putem! Važno je primetiti da se susedne tačke dvaju sistema stepenica stvarno ne bi razlikovale od makoje druge tačke unutar sfere pošto bi uvek bilo mogućno da se tako deformiše čitava struktura, da se dodirne tačke uvuku unutra, a tačke koje su pre bile unutra da dođu na površinu. Druga važna osobina našega modela je u tome što uprkos činjenice da je celokupna dužina kanala ograničena ipak ne postoji »ćorsokak«. Vi možete da se krećete kroz hodnike i stepenice bez prestanka, ne nailazeći nikad na zid ili na neku ogradu. Ako budete išli dovoljno dugo, vi ćete se neminovno naći na mestu sa koga ste pošli. Posmatrajući čitavu ovu strukturu **spolja**, može se reći da će se jedna osoba koja se kreće kroz lavirint konačno vratiti na polaznu tačku prosto zato što se hodnici polako okreću. Ali za one koji bi se nalazili **unutra**, i koji čak ne bi mogli da znaju da postoji nešto »spolja«, prostor bi izgledao kao **konačna veličina koja je ipak bez ikakvih obeleženih granica.** Kao što ćemo videti u jednom od sledećih poglavlja, ovaj »samoukljućeni prostor od tri dimenzije«, koji na izgled nema granica a ustvari nije beskonačan, pokazao se kao vrlo koristan u diskusiji o svojstvima naše vasione. I zaista posmatranja koja su vršena

na samim granicama moći teleskopa izgleda da ukazuju na to da se na ovim ogromnim razdaljinama prostor počinje da krivi, pokazujući izrazitu tendenciju da se vrati nazad i da se zatvori sam u sebe, na isti način kao i kanali u našem primeru jabuke koju su izgrizli crvi. Ali pre nego što pređemo na ove zaista uzbudljive probleme, moramo da naučimo nešto više o ostalim svojstvima prostora.

Mi još nismo završili sa jabukom i crvima, i sledeće pitanje koje ćemo postaviti to je: da li je moguće preobra-



Sl. 19 — Kako preobraziti jednu duplu jabuku koju je izgrizao crv u jedan dobar prstenasti uštipak. Ne radi se o mađioničarstvu već o topologiji.

ziti jabuku koju su crvi izgrizli u prstenasti uštipak. Ali naša namera nije da jabuku preobrazimo u kolač tako da ona ima ukus kolača. Ne, samo želimo da je izmenimo u pogledu oblika. Ovde raspravljamo o geometriji, a ne o kuvanju. Uzmimo jednu duplu jabuku, kao onu koju smo razmatrali u pređašnjem odeljku, tj. dve cele jabuke koje su »gurnute jedna kroz drugu« i »slepljene« celim svojim površinama. Pretpostavimo da je crv izgrizao u jednoj od jabuka široki kružni kanal kao onaj na slici 19. Ali vodite računa da je to samo u jednoj jabuci. Izvan ovog kanala svaka tačka je dupla i pripada obema jabukama, dok unutar kanala imamo samo materijal jabuke koju nisu izgrizli crvi. I tako naša »dupla jabuka« ima jednu slobodnu površinu koja se sastoji od unutarnjih zidova kanala. (Slika 19a).

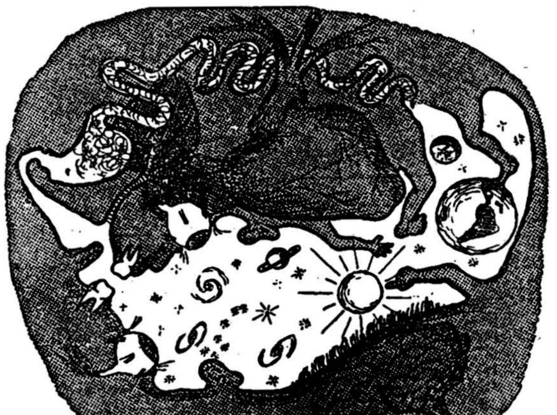
Da li možemo da promenimo oblik ove pokvarene jabuke tako, da je pretvorimo u prstenasti uštipak? Pretpostavićemo, razume se, da je tkivo jabuke potpuno plastično tako da možemo da ga transformišemo kako želimo, pod jednim jedinim uslovom da ne sme doći do cepanja tkiva. Da bismo olakšali ovu operaciju, možemo da sečemo tkivo jabuke pod uslovom da ga opet slepimo kad bude izvršena potrebna deformacija.

Mi ćemo početi operaciju odlepljujući kožu dvaju delova koji sačinjavaju »duplu jabuku« i razdvajajući ih. (Sl. 19b). Obeležićemo ove dve odlepljene površine brojkama I i I_1 kako bismo mogli da ih razlikujemo u sledećim operacijama, tj. da ih slepimo ponova na njihovo mesto pre nego što završimo ceo posao. A sada, presecimo onaj deo u kome je kanal koji su crvi izgrizli, tako da presek ide kroz kanal (sl. 19c). Ova operacija otvara dve nove površine koje ćemo obeležiti sa II, II_1 i III i III_1 tako da bismo posle znali tačno kako da ih zajedno slepimo. Ovaj presek takođe daje slobodne površine kanala, koji posle treba da obrazuju slobodnu površinu uštipka. Sad uzmimo presečene delove i rastegnimo ih na način prikazan na slici 19d. Slobodna površina je sada rastegnuta u znatnoj meri (ali prema našoj pretpostavci tkiva koja upotrebljavamo su potpuno rastegljiva). U isto vreme presečene površine I, II i III su smanjene po veličini. Dok mi ovako operišemo sa prvom polovinom »duple jabuke«, moramo da smanjimo takođe veličinu druge jabuke dok ona ne dobije razmeru jedne trešnje. I sada smo spremni da počnemo da ih slepljujemo po preseku koji smo pre učinili. Prvo, a ovo je lako, treba ponovo da spojimo površine III i III_1 kako bismo dobili oblik kao na sl. 19e. Zatim ćemo skupljenu polujabuku staviti između dva kraja tako formiranih »klješta« i spojićemo njihove krajeve. Površina lopte označena sa I_1 biće slepljena za površinu I od koje je prvobitno bila odlepljena, a presečene površine II i II_1 zatvoriće se jedna drugom. Kao rezultat dobićemo jedan uštipak, lep i gladak.

Šta je cilj svega ovoga?

Nema nikakvog cilja izuzev da izradite jedan zadatak moderne geometrije. To je jedan oblik umne gimnastike koji će vam pomoći da razumete takve neobične stvari kao što su krivi prostor i prostor koji se savija tako da se sam sobom zatvara.

Ako želite da pomučite svoju maštu još malo, evo vam »praktične primene« postupka koji smo gore naveli.



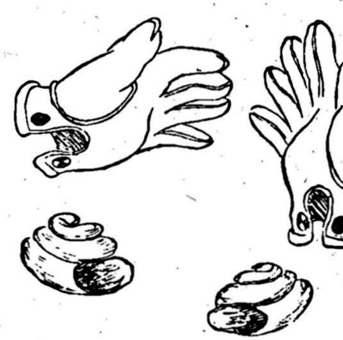
Sl. 20 — Izvrnuta vasiona. Ova nadrealistička slika pretstavlja čoveka koji hoda po površini Zemlje i posmatra zvezde. Slika je topološki transformisana po metodu slike 19. Na taj način, Zemlja, Sunce i zvezde su sabijene u jedan relativno uzan kanal koji prolazi kroz telo čoveka i okruženi su njegovim unutarnjim organima.

I vaše telo ima oblik prstenastog uštipka, iako vam to verovatno nije palo na pamet. Ustvari u ranoj etapi svoga razvitka (embrionalna etapa) svaki živi organizam prolazi kroz stadijum koji se zove »gastrula«. U tom stadijumu organizam ima sferičan oblik, a jedan široki kanal prolazi kroz njega. Kroz jedan kraj kanala organizam uzima hranu, a kroz drugi izlazi ono što ostane od te hrane pošto je organizam iskoristi. U potpuno razvijenim organizmima ovaj kanal postaje sve tanji i komplikovaniji, ali princip ostaje isti i sva geometriska svojstva jednog uštipka ostaju nepromenjena.

Dakle, pošto je uštipak, pokušajte da izvršite transformaciju suprotnu onoj na slici 19.; pokušajte da transformišete svoje telo (samo u mašti) u jednu duplu jabuku sa unutarnjim kanalom. Ako to pokušate, videćete da će razni delovi vašega tela sačinjavati telo »duple jabuke«, dok će čitava vasiona, uključivši tu Zemlju, Mesec, Sunce i zvezde, biti zgnječena u unutarnjem kružnom kanalu.

Pokušajte da nacrtate kako bi to izgledalo, i ako to dobro uradite, Salvador Dali* će lično priznati vašu superiornost u umetnosti nadrealističkog slikarstva (sl. 20).

Ne možemo da završimo ovaj odeljak, iako je dugačak, dok ne iznesemo nešto o »levostranim i desnostranim te-



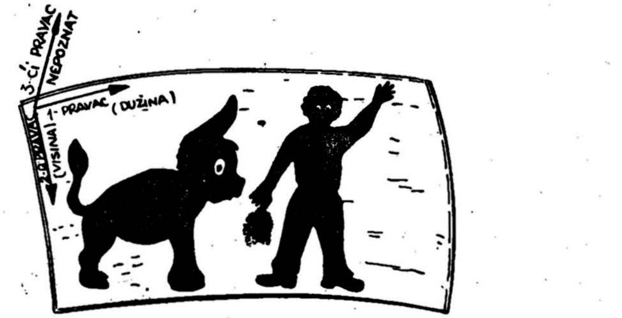
Sl. 21 — Levostrani i desnostrani predmeti izgledaju isti, ali su sasvim drukčiji

lima« i njihovom odnosu prema opštim svojstvima prostora. Ovaj problem možemo postaviti najbolje diskusijom o jednom paru rukavica. Ako uporedimo dve rukavice jednoga para (sl. 21), videćete da su identične u svim razmerama ali da među njima ipak postoji velika razlika pošto ne možete da navučete levu rukavicu na desnu ruku i obratno. Možete da ih okrećete i da ih savijate koliko god želite, ali će uvek desna rukavica ostati desna, a leva će ostati leva. Slična razlika između desnostranih i levostranih predmeta može se primetiti u konstrukciji cipela, mehanizma za uprav-

*) Poznati slikar i jedan od glavnih pretstavnika nadrealističkog slikarstva. (Prim. pr.)

ljanje automobilima — engleski i američki tip — štapovima za golf i mnogim drugim stvarima.

S druge strane, takvi predmeti kao muški šeširi, reketi za tenis, i mnogi drugi predmeti ne pokazuju slične razlike. Niko ne bi bio lud da naruči iz radnje tuce »levih« šolja za čaj, a bila bi magareća glupost kad bi neko išao kod suseda da pozajmi jedan levi samar za magarca. Kakva je razlika između ove dve vrste predmeta? Ako malo razmišljate, vi ćete videti da predmeti kao što su šeširi ili šolje za čaj imaju ono što nazivamo ravan simetrije duž koje mogu biti presečeni na dve potpuno identične polovine. Za cipele ili rukavice ne postoji takva ravan simetrije, i ma koliko vi pokušavali, nećete uspeti da presečete jednu rukavicu u dva identična dela. Ako predmet ne poseduje jednu ravan simetrije, i ako je, kao što bismo mi rekli, asimetričan,



Sl. 22 — Ilustracija dvodimenzionalnih »senka-stvorenja« koja žive na ravni. Ovakva vrsta dvodimenzionalnih stvorenja nije vrlo praktična. Čovek ima lice ali nema profila i ne može staviti u usta grozd koji drži u ruci. Magarac, međutim, može da jede grožđe ali može da ide samo u pravcu na desno, a da bi išao levo, mora ići natraške. To nije ništa neobično za magarce, ali uopšte uzev, nije dobro.

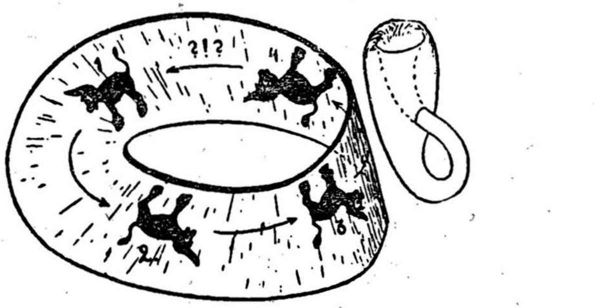
onda će se pojavljivati u dva različita oblika — kao levostrani i desnostrani predmeti. Ovakve razlike se pojavljuju ne samo kod predmeta koje je čovek napravio, naprimer kod rukavica i štapova za golf, već vrlo često i u prirodi. Naprimer, postoje dve vrste puževa koji su identični u svakom pogledu, ali se razlikuju u načinu kako prave svoju kućicu: jedna vrsta ima spiralnu kućicu uvijenu u pravcu kretanja skazaljki sata, dok je kućica drugog spiralno uvijena suprotno od pravca kretanja skazaljki sata. Čak i tzv. molekuli, male čestice iz kojih se sastoje sve supstance, često imaju desnostrani i levostrani oblik, vrlo sličan onome desne i leve rukavice ili kućice puža koja je uvijena u pravcu skazaljki ili suprotno od pravca skazaljki sata. Vi, razume se, ne možete da vidite molekule, ali se njihova asimetrija ispoljava u obliku kristala, i u izvesnim optičkim svojstvima tih supstanci. Postoje, naprimer, dve vrste šećera: desnostrani i levostrani šećer i, verovali ili ne, postoje dve bakterije od kojih jedna jede samo desnostrani šećer, a druga samo levostrani.

Kao što smo ranije rekli, izgleda potpuno nemoguće da preokrenemo jedan desnostrani predmet, rukavicu naprimer, u levostrani. A da li je ovo zaista tačno? Ili bi se možda mogla zamisliti neka čudna vrsta prostora u kojoj bi se ovo moglo da uradi? Da bismo odgovorili na ovo pitanje, razmotrimo ga s tačke gledišta pljosnatih stanovnika jedne površine koju mi možemo da posmatramo sa našeg višeg, trodimenzionalnog gledišta. Posmatrajmo sliku 22, koja pretstavlja izvesne primere mogućih stanovnika pljosnadije, tj. prostora od samo dve dimenzije. Čovek koji stoji sa grozdom u ruci može se zvati »spredni-čovek« pošto se može videti spreda, a ne iz profila. Magarac je, međutim, »profilni magarac« ili da bismo bili precizniji »desno-profilni magarac«. Razume se mi bismo mogli da nacrtamo i levoprofilnog magarca i, pošto bi oba magarca bila ograničena na površinu, oni bi bili s dvodimenzionalne tačke gledišta isto toliko različiti kao i desna i leva rukavica u našem trodimenzionalnom prostoru. Vi ne biste mogli da stavite levog magarca preko desnog; da biste spojili njihove njuške i repove morali biste jednog od njih da okrenete tumbe. I tako bi kopita tog magarca mlatarala po vazduhu umesto da čvrsto stoje na zemlji.

No dignete li jednog magarca sa površine, pa ga okrenete u prostoru i ponovo stavite na površinu, ova će dva magarca postati identična. Na osnovu analogije može se reći da desna rukavica može biti pretvorena u levu time što bi se iznela iz našeg prostora u četvrti pravac i zaokrenula na jedan određeni način pre nego što je vratimo u naš prostor. Ali naš fizički prostor nema četvrte dimenzije, i gore naznačeni metod može se smatrati kao potpuno nemoguć. Zar nema nekog drugog načina?

Pa lepo, vratimo se našem dvodimenzionalnom svetu, ali, umesto da razmatramo običnu ravnu površinu kao na slici 22, izučavajmo svojstva tzv. »mebiusove površine«. Ova površina, nazvana tako po jednom nemačkom matematičaru koji ju je izučavao pre sto godina, može lako da se napravi ako se uzme jedan dugački komad obične hartije i slepi se u jedan prsten, ali tako da se jedan kraj zaokrene pre nego što se dve ivice prstena spoje. Slika 23 pokazaće kako se to radi. Ova površina ima mnoga čudna svojstva. Jedno od tih svojstava može se lako otkriti ako isečemo makazama jedan uzani kaiš skroz duž jedne ivice našeg prstena (po strelicama na slici 23). Očekivali biste, razume se, kad tako nešto učinite da ćete preseći »mebiusov prsten« u dva odvojena prstena. Učinite to i videćete da je vaše iščekivanje pogrešno: umesto dva prstena dobićete samo jedan, ali dvaput duži i upola uži od prvobitnog.

Pogledajmo sad šta će se dogoditi sa našim magarcem kad se šeta po mebiusovoj površini. Pretpostavimo da on



Sl. 23 — Mebiusova površina i Klajnova flaša

polazi od položaja jedan 1 (slika 23) i da je u tom trenutku »levi magarac«. Zatim on neprekidno ide prolazeći kroz položaje 2 i 3, koji se jasno vide na slici. Najzad stiže do tačke s koje je pošao. Ali na vaše i svoje iznenađenje on se odjedanput nalazi (položaj 4) u vrlo nezgodnom položaju jer su mu noge u vazduhu. On, razume se, može da se okrene na površini tako da mu noge dođu nadole, samo će mu tada glava biti okrenuta u smeru koji je suprotan dosadašnjem.

Ukratko, svojom šetnjom oko mebiusove površine naš »levoprofilni« magarac pretvorio se u magarca desnog profila. I što je najvažnije ovo se dogodilo uprkos činjenice da je magarac ostao na površini sve vreme, da nije dignut sa površine i okrenut u prostoru. Na taj način smo utvrdili da **na jednoj iskrivljenoj površini desnostrani predmet može da se pretvori u levostrani, i obratno, prosto time što će se preneti preko tog iskrivljenja.** Mebiusova površina nacrtana na slici 22 pretstavlja deo jedne opštije površine, poznate pod imenom »Klajnova flaša«, (vidi se desno na sl. 23) koja ima samo jednu stranu i zatvara se sama po sebi, bez ikakve oštre ivice. Ako je ovo moguće za jednu dvodimenzionalnu površinu, to isto mora da važi i za naš trodimenzionalni prostor pod uslovom, razume se, da bude iskrivljen na jedan poseban način. Očevidno nije lako zamisliti kako da se izvrši ovo mebiusovo iskrivljenje u prostoru. Mi ne možemo da gledamo na naš prostor nekako spolja kao što smo gledali na onu magareću površinu. A uvek je teško sagledati stvari jasno kad se nalazite među njima. Ali nije nemoguće da se astronomski prostor zatvara sam sobom, i da je usto iskrivljen na mebiusov način.

Ako je tako, putnici oko vasione došli bi najzad kao šuvaklije, sa srcima na desnoj strani grudi, a fabrike rukavica i cipela stekle bi donekle sumnjivu prednost, jer bi mogle da uproste proizvodnju tako što bi pravile samo jednu vrstu rukavica i cipela od kojih bi jednu polovinu vozili oko vasione da bi ih preobrazile u vrstu potrebnu za drugu polovinu noga čovečanstva.

S ovom fantastičnom mišlju mi završavamo naše razmatranje neobičnih svojstava neobičnih prostora.

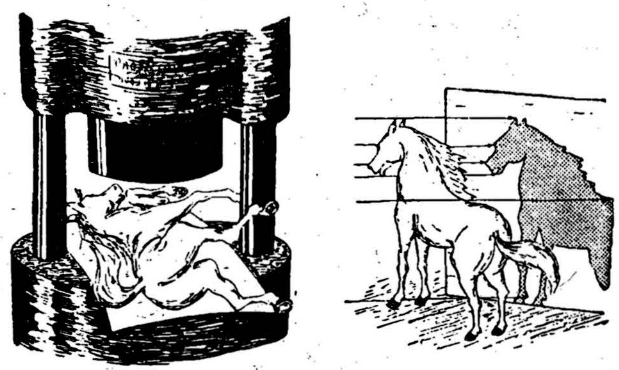
Poglavlje IV

ČETVORODIMENZIONALNI SVET

1. Vreme je četvrta dimenzija

Pojam četvrte dimenzije obično je okružen tajanstvenošću i sumnjom. Kako se usuđujemo mi, stvorenja dužine, širine i visine, da govorimo o četvorodimenzionalnom prostoru? Da li je moguće da upotrebom naše trodimenzionalne pameti zamislimo prostor od četiri dimenzije? I kako bi izgledala jedna četvorodimenzionalna kocka ili sfera? Kad ka-

žemo: »zamisli« jednog ogromnog zmaja sa dugačkim ljuskavim repom i plamenom koji suče iz njegovih nozdrva, ili jedan ogroman avion koji ima bazen i par igrališta tenisa na svojim krilima, vi zapravo u tom slučaju uobličavate jednu umnu pretstavu o tome kako bi tako nešto izgledalo da se odjednom pojavi pred vama. I vi zamišljate takvu sliku na pozadini poznatog trodimenzionalnog prostora u kome se nalaze svi uobičajeni predmeti, pa i vi sami. Ako je ovo značenje reči »zamisliti«, onda je taman tako nemoguće zamisliti jednu četvorodimenzionalnu figuru na osnovu našeg trodimenzionalnog prostora kao što je nemoguće sabiti trodimenzionalno telo u jednu ravan. Ali, pričekajte malo. Mi ustvari, u izvesnom smislu, sabijamo trodimenzionalna tela u ravan time što ih crtamo. U svim tim sluča-

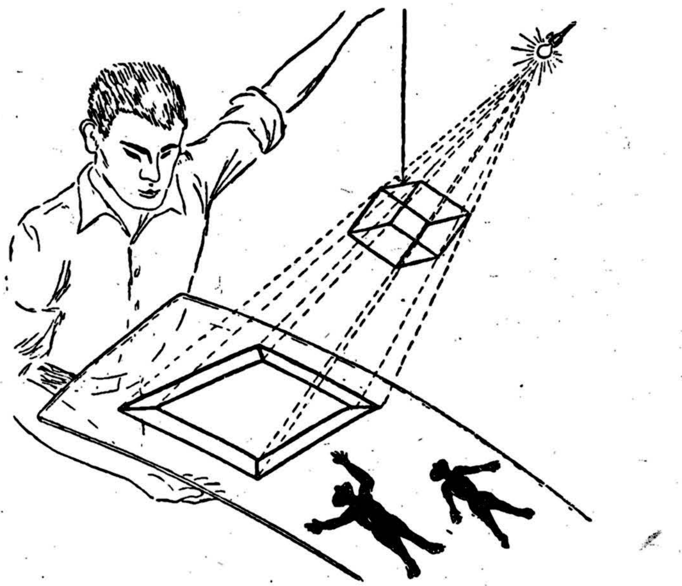


Sl. 24 — Pogrešan i pravilan način da se „presuje" jedno trodimenzionalno telo u dvodimenzionalnu površinu.

jevima, međutim, mi razume se ne koristimo hidrauličnu presu niti ma koju fizičku snagu da bismo to izvršili, već koristimo metod poznat pod imenom »geometriska projekcija« ili »metod senki«. Razlika između ovih dvaju metoda sabijanja tela, naprimer kakvog konja, u jednu ravan može se odmah videti na slici 24.

Na osnovu analogije mi sada možemo da kažemo: iako nije moguće »sabiti« jedno četvorodimenzionalno telo u trodimenzionalni prostor a da neki delovi ne štrče, ipak se može govoriti o »projekcijama« raznih četvorodimenzionalnih figura u naš prostor od samo tri dimenzije. Ali ne treba zaboraviti da će projekcije četvorodimenzionalnih »tela« u naš obični prostor biti pretstavljene trodimenzionalnim figurama isto onako kao što su projekcije trodimenzionalnih tela na jednu ravan uvek dvodimenzionalne ili ravne figure.

Da bismo stvar razjasnili, zamislimo najpre kako bi dvodimenzionalna stvorenja koja žive na kakvoj površini zamišljala ideju trodimenzionalne kocke. Mi to možemo lako da zamislimo jer kao viša trodimenzionalna bića mi ćemo da gledamo odozgo, tj. iz treće dimenzije, na svet dvaju dimenzija. Jedini način da sabijemo kocku u ravan to je da je »projektujemo« na ravan na način pokazan na slici 25. Posmatrajući tu projekciju i razne druge projekcije do-

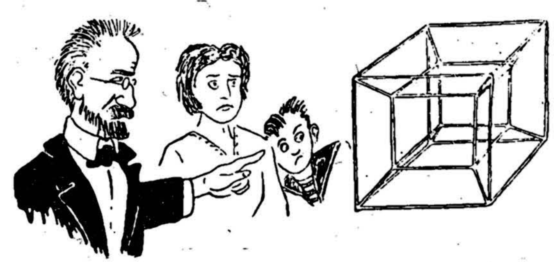


Sl. 25 — Dvodimenzionalna stvorenja gledaju zapanjeno na jednu trodimenzionalnu kocku projektovanu na njihovoj površini.

bivene okretanjem kocke, naši dvodimenzionalni prijatelji biće barem u stanju da stvore nekakvu pretstavu o svojstvima tajanstvene figure koja se zove »trodimenzionalna kocka«. Oni neće biti u stanju da »iskoče« iz svoje površine i da vide kocku onako kako je mi vidimo. Ali prosto posmatrajući projekciju, oni bi bili u stanju da kažu, naprimer, da kocka ima 8 temena i 12 ivica. A sad pogledajte sliku

26 i vi ćete se naći tačno u položaju jadnih dvodimenzionalnih stvorenja dok posmatraju projekciju jedne obične kocke na svojoj površini. Ustvari čudno komplikovana struktura, koju sa iznenađenjem posmatraju članovi porodice na slici, nije ništa drugo nego projekcija jedne četvorodimenzionalne super-kocke u našem trodimenzionalnom prostoru[1]).

Proučite pažljivo tu sliku i vi ćete lako prepoznati iste one osobine koje su tako zagonetne dvodimenzionalnim stvorenjima na slici 25. Dok je projekcija jedne obične kocke na ravni pretstavljena sa dva kvadrata jedan unutar drugoga, teme povezano sa temenom, projekcija jedne super kocke u običnom prostoru sastoji se iz dve kocke: jedna unutar druge sa povezanim temenima. I brojanjem ćete lako utvrditi da ova super-kocka ima sve u svemu 16 temena, 32 ivice i 24 strane. Kocketina, zar ne?



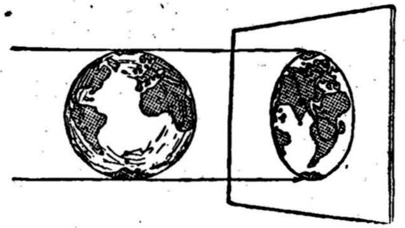
Sl. 26 — Posetilac iz četvrte dimenzije! Jedna projekcija četvorodimenzionalne superkocke

A sada pogledajmo našta liči četvorodimenzionalna sfera. Da bismo dobili neku sliku, treba opet da se vratimo nečem poznatom, recimo projekciji jedne obične sfere na ravan. Zamislite, naprimer, da je jedan prozirni globus na kome su nacrtani kontinenti i okeani projektovan na nekom belom zidu (sl. 27). Na projekciji će dve hemisfere pokriti jedna drugu, pa bi, na osnovu projekcije, čovek mogao da zaključi da je razdaljina između Njujorka (SAD) i Pekinga (Kina) veoma mala. Ali, to je samo utisak. Ustvari svaka tačka na projekciji pretstavlja dve suprotne tačke na stvarnoj sferi. Tako bi se projekcija leta jednog aviona iz Njujorka u Kinu na ovom globusu izvršila po sledećoj liniji: najpre

[1]) Da budemo egzaktni. Slika 26 pretstavlja projekciju na hartiji projekcije u našem prostoru jedne četvorodimenzionalne super-kocke.

do ivice projekcije u ravni, pa onda nazad na polaznu tačku. I uprkos tome što projekcije dvaju različitih aviona mogu da se poklope na slici, neće doći ni do kakvog sudara, ukoliko su avioni »stvarno« na suprotnim stranama globusa.

Takva su svojstva projekcije na ravni jedne obične sfere. Ako malo napregnemo maštu, neće nam biti teško da zamislimo kako izgleda prostorna projekcija jedne četvorodimenzionalne super-sfere. Kaogod što se projekcija na ravni jedne obične sfere sastoji iz dva pljosnata koluta koji su slepljeni tačka za tačku a dodiruju se samo svojim spoljnim ivicama, prostorna projekcija jedne super-sfere može da se zamisli tako kao da se sastoji iz dva sferična tela koji su tako utisnuti jedno u drugo da se spajaju celim svojim spoljnim površinama. Ali mi smo već razmatrali sličnu čudnu strukturu u prethodnom poglavlju kao primer jednog zatvorenog trodimenzionalnog prostora analognog zatvorenoj sferičnoj površini. I jedino što nam ostaje da ovde dodamo to je da trodimenzionalna projekcija jedne četvorodimenzionalne sfere nije ništa drugo do one dve ranije pominjane jabuke,



Sl. 27 — Projekcija globusa na ravan

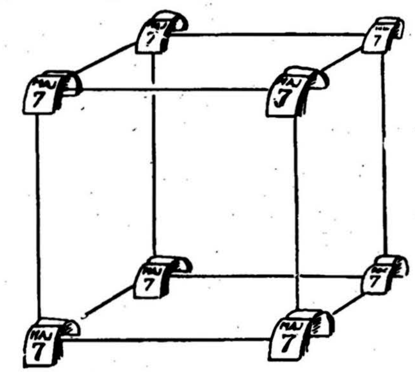
koje su slične Sijamskim blizancima, zapravo izgledaju kao dve obične jabuke koje su zajedno srasle duž čitave svoje spoljne kore.

Slično tome upotrebom analogije moguće je odgovoriti na mnoga druga pitanja u pogledu svojstava četvorodimenzionalnih figura. Ipak, ma koliko mi pokušavali, nikada nećemo biti u stanju da zamislimo jedan četvrti nezavisni pravac u našem fizičkom prostoru.

Ali, ako malo razmislite, videćete da nikako nije potrebno da čovek postane mističar da bi zamislio četvrtu dimenziju. Ustvari postoji jedna reč koju skoro svi mi svakodnevno upotrebljavamo i kojom obeležavamo ono što bi

moglo, i ustvari trebalo, da se smatra kao četvrti nezavisni pravac u fizičkom svetu. Reč je o vremenu koje, zajedno s prostorom, stalno koristimo da opišemo događaje koji se dešavaju oko nas. Kad govorimo ma o kakvom zbivanju u svetu, bilo da se radi o slučajnom susretu s prijateljem na ulici ili o eksploziji jedne udaljene zvezde, obično ne kažemo samo gde se to dogodilo već i kad. Na taj način mi dodajemo još jednu činjenicu, datum, trima činjenicama o prostoru koje određuju događaj.

Ako dalje razmatrate stvar, lako ćete shvatiti da svaki fizički predmet ima četiri dimenzije, tri u prostoru i jednu u vremenu. Tako se kuća u kojoj živite prostire toliko i toliko u dužinu, širinu, visinu, i vremenu, podrazumevajući da je ovo poslednje prostiranje mereno periodom vremena otkako je kuća izgrađena do datuma kad će konačno izgoreti, ili biti razorena od nekog građevinskog preduzeća ili se prosto raspasti zbog dotrajalosti.



Sl. 28 — Kocka vreme-prostor

Strogo uzevši prostiranje u vremenu nije isto što i tri pravca u prostoru. Vremenski intervali se mere pomoću sata, čiji tik-tak zvuci obeležavaju sekunde, a ding-dong zvuci obeležavaju sate, za razliku od prostornih intervala koji se mere metarskom dužinom. I dok vi istim metrom možete da merite dužinu, širinu i visinu, vi ne možete da pretvorite metar u sat kojim ćete meriti vreme. I dalje, dok se vi u prostoru možete pomerati napred, udesno ili nagore, a zatim da se opet vratite na polaznu tačku, u vremenu koje vas prisilno kreće iz prošlosti u budućnost, nema nikakvog vraćanja unazad. Ali utvrđujući sve ove razlike između pravca — vremena i triju pravaca u prostoru, još uvek možemo da koristimo vreme kao četvrtu dimenziju u svetu fizičkih događaja, vodeći ipak računa o tome da ona nije sasvim isto što i ostale.

Uzimajući vreme kao četvrtu dimenziju, biće nam mnogo lakše da zamislimo četvorodimenzionalne figure o kojima smo govorili na početku ovog poglavlja. Sećate li se, naprimer, čudne figure koju smo dobili projekcijom četvorodimenzionalne kocke? Šesnaest temena, trideset dve ivice i dvadeset četiri strane! Nikakvo čudo što posmatrači na slici 26 gledaju sa iznenađenjem na ovo geometrisko čudovište. Sa naše nove tačke gledišta, međutim, četvorodimenzionalna kocka je obična kocka koja postoji za određeni period vremena. Pretpostavimo da na dan 7 maja napravite jednu kocku od 12 komada prave žice i da tu kocku rastavite mesec dana docnije. Treba smatrati da svako teme jedne takve kocke ustvari pretstavlja jednu liniju koja se prostire u pravcu vremena u dužini od jednog meseca. Možete da pričvrstite po jedan mali kalendar na svako teme i svakog dana okrećite listove da biste pokazali tok vremena.

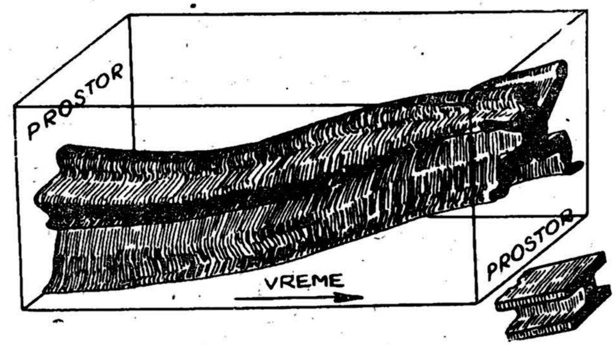
Sad je lako prebrojati broj ivica u našoj četvorodimenzionalnoj figuri. Naći ćete, dakle, dvanaest prostor-ivica na početku njenog postojanja, 8 vreme-ivica koje pretstavljaju trajanje svakog temena, i onda opet dvanaest prostor-ivica na kraju postojanja kocke[2]).

Sve u svemu: trideset i dve ivice. Na sličan način se može utvrditi da postoji šesnaest temena: osam prostor-temena sedmog maja i osam prostor-temena sedmog juna. Ostavljamo za vežbu našem čitaocu da na sličan način izbroji broj strana naše četvorodimenzionalne figure. Radeći tu vežbu, treba imati na umu da će izvesne strane biti obične kvadratne strane naše prvobitne kocke, dok će druge strane biti »pola-prostor, pola vreme« strane koje su nastale iz prvobitnih ivica naše kocke, njihovim prostiranjem u vremenu od sedmog maja do sedmog juna.

Ovo što smo rekli o četvorodimenzionalnoj kocki može se, naravno, primeniti ma na koji geometriski oblik ili ma na koji materijalni predmet, živ ili mrtav.

[2]) Ako ne razumete ovo, zamislite kvadrat sa četiri ugla i četiri strane, koje mi pomeramo za izvesnu razdaljinu okomito na njegovu površinu (tj. u trećem pravcu), a za razdaljinu koja je jednaka njegovoj strani.

I konkretno, zamislite sebe kao četvorodimenzionalnu figuru, kao neku vrstu dugačke gumene šipke koja se prostire u vremenu od časa vašega rođenja do kraja vašega prirodnog života. Nažalost, na hartiji se ne mogu crtati četvorodimenzionalne stvari, i zato smo na slici 29 pokušali da prenesemo ovu ideju primerom dvodimenzionalnog senka-čoveka uzimajući za vremensku dimenziju prostorni pravac okomit na dvodimenzionalnu ravan na kojoj to biće živi. Ova slika pretstavlja samo mali isečak čitavog životnog puta našeg dvodimenzionalnog čoveka. Čitav životni put trebalo bi pretstaviti mnogo dužom gumenom šipkom koja bi na početku, dok je čovek beba, bila prilično tanka koja bi se



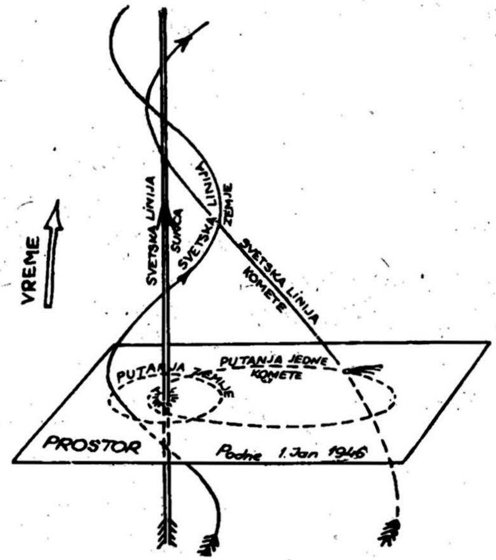
Sl. 29 — Životni put čoveka u vreme-prostoru

pružala cik-cak kroz mnoge godine života i dostigla jedan konstantni oblik u trenutku smrti — jer se mrtvi ne kreću — a zatim bi počela da se raspada.

Da bismo bili precizniji moramo reći da se ova četvorodimenzionalna šipka sastoji iz jedne vrlo brojne grupe odvojenih niti, od kojih se svaka sastoji od posebnih atoma. Tokom života većina ovih niti ostaju zajedno kao grupa. Samo izvesne od tih niti otpadaju kao kad, naprimer, sečemo kosu ili nokte. Pošto su atomi neuništivi, raspadanje čovečijeg tela posle smrti trebalo bi posmatrati kao razdvajanje posebnih niti (izuzev verovatno onih koje formiraju kosti) u različitim pravcima.

Jezikom četvorodimenzionalne prostorno-vremenske geometrije linija koja pretstavlja istoriju svake pojedine materijalne čestice naziva se »svetska linija«. Slično tome možemo da govorimo o »svetskim snopovima«; oni se sastoje iz grupe svetskih linija koje sačinjavaju jedno složeno telo.

Na slici 30 iznosimo jedan astronomski primer na kome se vide svetske linije Sunca, Zemlje i jedne komete[3]). Ovde smo, kao i u pređašnjem slučaju čoveka koji skače, uzeli dvodimenzionalni prostor (ravan zemljine putanje), i uperili smo vremensku osu okomito na njega. Svetska linija Sunca pretstavljena je na ovom crtežu jednom pravom linijom para-



Sl. 30 — Svetske linije Sunca, Zemlje i komete

lelnom osi vremena, jer smo pretpostavili da se Sunce ne kreće[4]).

Svetska linija Zemlje, koja se kreće po jednoj skoro kružnoj putanji, pretstavlja jednu spiralu koja se svija oko linije Sunca, dok svetska linija komete prelazi liniju Sunca i onda se ponovo udaljava.

[3]) Tačno govoreći, trebalo bi ovde da govorimo o svetskim snopovima, ali sa astronomske. tačke gledišta, zvezde i planete mogu se smatrati kao tačke.

[4]) Ustvari naše Sunce se kreće u odnosu na zvezde, tako da u odnosu na zvezdani sistem svetska linija Sunca treba da bude malo povijena na jednu stranu.

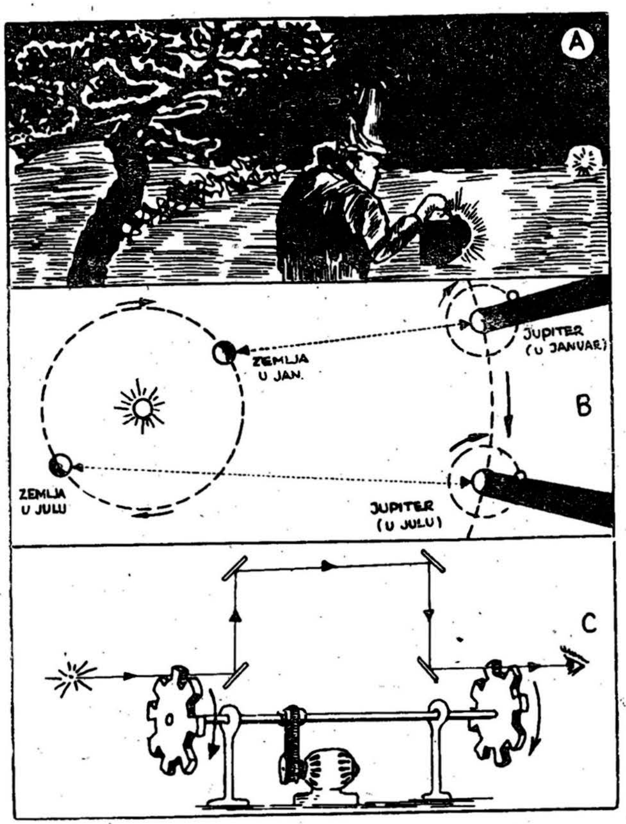
Mi vidimo da se s tačke gledišta naše četvorodimenzionalne prostorno-vremenske geometrije topografija i istorija vasione stapaju u jednu harmoničnu sliku i sve što nam preostaje da uradimo to je da posmatramo jednu zamršenu hrpu svetskih linija koje pretstavljaju kretanje pojedinih atoma, životinja ili zvezda.

2. Ekvivalencija vremena i prostora

Posmatrajući vreme kao četvrtu dimenziju koja je manje više ekvivalentna trima prostornim dimenzijama, zapadamo u jednu prilično veliku teškoću. Dok merimo dužinu, širinu i visinu, u stanju smo da upotrebljavamo u sva tri slučaja jednu te istu jedinicu, recimo jedan santimetar ili jedan metar. Ali trajanje vremena ne može se meriti ni u metrima, ni u santimetrima, pa smo prinuđeni da se služimo sasvim drugim jedinicama, recimo minutima ili satima. Kako se one upoređuju? Ako zamislimo jednu četvorodimenzionalnu kocku veličine 1m × 1m × 1m, koliko treba da se protegne njeno vremensko trajanje da bi sve četiri dimenzije bile jednake? Da li nam treba jedan sekund, jedan sat ili jedan mesec, kao što smo to pretpostavili u našem ranijem primeru? Je li jedan sat duži od jednog metra ili je kraći?

Na prvi pogled pitanje zvuči besmisleno. Ali ako razmislite malo više, naći ćete jedan razuman način da uporedite dužinu i trajanje. Vi ćete često čuti da neko stanuje »deset minuta vožnje autobusom daleko od centra grada« ili da je neko mesto udaljeno svega pet časova vozom. U ovim slučajevima mi obeležavamo razdaljine vremenom potrebnim da ih pređemo jednom određenom vrstom saobraćajnih sredstava.

U tome smislu možemo reći: kad bismo mogli da se složimo u pogledu jedne standardne brzine, mi bismo mogli da obeležavamo intervale vremena jedinicom dužine i obratno. Jasno je samo po sebi da standardna brzina koju moramo da izaberemo kao osnovni faktor sravnjenja vremena s prostorom mora biti takođe fundamentalne i opšte prirode, i mora biti uvek ista, nezavisno od ljudske inicijative ili fizičkih uslova. Jedina brzina poznata fizici koja ima željeni stepen uopštenosti je brzina svetlosti u praznom prostoru. Poznata obično pod nazivom »brzina svetlosti«, ova bi se brzina mogla bolje označiti nazivom »brzina širenja fizičkih interakcija«, jer koje god sile da deluju između materijalnih tela, bile to sile električnog privlačenja ili sile gravitacije, one se šire kroz prazan prostor istom brzinom. Pored



Sl. 31 — Galilej meri brzinu svetlosti

toga, kao što ćemo videti docnije, brzina svetlosti pretstavlja gornju granicu brzine za jedno materijalno telo, i ni jedan predmet ne može da se kreće kroz prostor brzinom većom od brzine svetlosti.

Čuveni italijanski naučnik Galileo Galilej izvršio je u XVII veku prvi pokušaj merenja brzine svetlosti. Jedne tamne noći Galileo je sa jednim svojim pomoćnikom otišao na

otvoreno polje blizu Firence noseći sa sobom dva fenjera snabdevena mehaničkim poklopcima. Njih dvojica su zauzeli položaje na nekoliko kilometara jedan od drugoga, pa je u jednom trenutku Galileo otvorio svoj fenjer uperivši snop svetlosti u pravcu svoga asistenta (sl. 31a). Ovaj je prema instrukcijama otvorio svoj fenjer čim je video Galileov svetlosni signal. Pošto je bilo potrebno izvesno vreme da svetlost dođe od Galilea do njegovog pomoćnika i nazad do Galilea, očekivalo se da će proći izvestan interval vremena od trenutka kad Galileo otvori svoj fenjer do trenutka kad vidi povratni signal svoga asistenta. I zaista je primećeno jedno malo zakašnjenje. Ali kada je Galileo poslao svog pomoćnika na razdaljinu dva puta veću i ponovio svoj eksperimenat, nije bilo primećeno nikakvo povećanje zakašnjenja. Očevidno se svetlost kretala tako brzo da joj praktično nije bilo potrebno nikakvo vreme da pređe razdaljinu od nekoliko kilometara. Zakašnjenje koje je primećeno bilo je prouzrokovano činjenicom što Galileov pomoćnik nije bio u stanju da otvori svoj fenjer tačno u trenutku kad bi ugledao svetlost. To zakašnjenje mi sada zovemo »zakašnjenje refleksa«.

Iako Galileov eksperimenat nije dao nikakve pozitivne rezultate, jedno drugo njegovo otkriće, tj. otkriće Jupiterovih meseca, stvorilo je osnovu za prvo stvarno merenje brzine svetlosti. Godine 1675, posmatrajući pomračenje Jupiterovih meseca, danski astronom Remer (Roemer) je primetio da intervali vremena između trenutaka kad meseci nestaju u senci planete nisu uvek isti već izgledaju kraći ili duži, zavisno od razdaljine između Jupitera i Zemlje u datom momentu. Remer je odmah shvatio, kao što ćete odmah shvatiti i vi posmatranjem slike 31b, da ovaj efekat ne potiče usled nepravilnosti u kretanju Meseca, već prosto zbog činjenice što mi vidimo ova pomračenja s različitim zakašnjenjem usled promenljive razdaljine između Jupitera i Zemlje. Na osnovu njegovih posmatranja uspeli smo da utvrdimo da je brzina svetlosti oko 300.000 kilometara na sekund. Prema tome, nije nikakvo čudo što Galileo nije mogao svojim uređajem da izmeri svetlosnu brzinu pošto je svetlosti bilo dovoljno svega nekoliko stohiljaditih delova sekunde da od njegovog fenjera stigne do njegovog pomoćnika i nazad.

Ali ono što Galileo nije bio u stanju da uradi sa svojim grubim fenjerima, učinjeno je docnije upotrebom mnogo preciznijih fizičkih instrumenata. Slika 31c pokazuje uređaj koji je prvi upotrebio francuski fizičar Fizo (Fizeau) da bi izmerio brzinu svetlosti na srazmerno malim razdaljinama. Glavni deo njegovog uređaja sastoji se iz dvaju zupčanika tako postavljenih na jednoj zajedničkoj osovini da vidite, ako gledate na točkove paralelno sa osovinom, kako zupčanik prvoga točka pokriva prostor između zubaca drugoga točka. Usled toga tanak snop svetlosti pušten paralelno sa osovinom ne može da prođe ma kako se osovina pomerala. Pretpostavimo sada da se ovaj sistem od dva zupčanika stavi u veoma brzo okretanje. Pošto svetlost koja prolazi između dva zupca prvoga točka mora da putuje neko vreme pre nego što dođe do drugoga točka, ona će moći da prođe kroz taj točak ako se u to isto vreme sistem zupčanika okrene za polovinu razdaljine između dva zupca. Ovde imamo isti slučaj kao kad se jedan automobil kreće određenom brzinom po drumu koji ima sinhronizovani sistem svetlosnih signala. Ako se točkovi okreću duplo većom brzinom, drugi zubac će doći na mesto dok svetlost stigne do njega, i svetlost ponovo neće moći da prođe. Ali pri još većoj brzini okretanja, svetlost će opet moći da prođe pošto će zupčanik proći putanju svetlosti i sledeći će otvor biti na putu svetlosti tačno na vreme da je propusti. Na taj način, utvrđujući brzine rotacije koje odgovaraju pojavljivanju i nestajanju svetlosti, može se proceniti brzina svetlosti dok putuje između dva točka. Da bismo uprostili eksperimenat, i smanjili potrebnu brzinu rotacije, može se podesiti da svetlost prođe veću razdaljinu dok se kreće od jednoga zupčanika do drugoga. To se može učiniti pomoću ogledala, kao što se vidi na slici 31c. Ovim eksperimentom Fizo je utvrdio da može da vidi svetlost kroz otvore na točku koji je njemu bliži tek kad se čitav uređaj okreće brzinom od hiljadu obrta na sekund. To je značilo da su se pri toj brzini zupci okrenuli za polovinu razmaka između njih u intervalu vremena potrebnom da svetlost prođe razdaljinu od jednog točka do drugog. Pošto je svaki točak imao 50 zubaca potpuno iste veličine, ovaj je razmak očevidno bio jedan stoti deo obima točka, a vreme putovanja je jednako istom razlomku vremena koji je bio potreban da bi točak napravio jedan potpuni obrtaj. Povezujući ove račune sa razdaljinom kroz koju je svetlost morala da prođe od jednog točka do drugog, Fizo je dobio brzinu od 300.000 kilometara (ili 186.000 milja na sekund), što otprilike odgovara rezultatu koji je dobio Remer posmatranjem Jupiterovih satelita.

Idući za stopama ovih naučnih pionira, izvršen je veliki broj nezavisnih merenja upotrebom kako astronomskih, tako i fizičkih metoda. Najbolje kojim sad raspolažemo za brzinu svetlosti u prostoru (a to se obično obeležava slovom »c«) iznosi

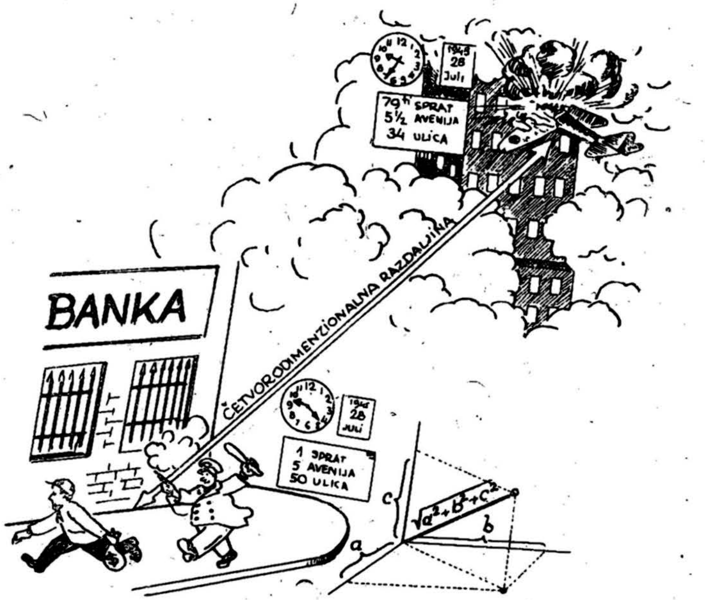
$$c = 299{,}776 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \text{ ili } 186{,}300 \frac{\text{milja}}{\text{sec}}$$

Ova strahovito velika brzina svetlosti omogućuje da je upotrebimo kao standardnu jedinicu za merenje astronomskih razdaljina, koje su tako velike da bismo inače morali, kad bismo hteli da ih izrazimo u kilometrima, da ispunjavamo čitave stranice brojkama. Tako će, naprimer, jedan astronom reći da se neka zvezda nalazi pet »svetlosnih godina« daleko od nas u istom smislu kao kad mi govorimo da je neko mesto udaljeno od nas »pet sati vozom«. Kako u jednoj godini ima 31,558.000 sekundi, jedna svetlosna godina odgovara razdaljini od 31.558.000 × 299,776 = 9,460 000 000 000 km, ili 5,879,000,000,000 milja. U ovoj upotrebi izraza »svetlosna godina« pri merenju razdaljine mi imamo praktično priznanje vremena kao dimenzije i vremenskih jedinica kao mera prostora. Mi možemo i da preokrenemo postupak i da govorimo o »svetlosnim kilometrima«, podrazumevajući pod tim vreme potrebno da svetlost pređe razdaljinu od jednog kilometra. Upotrebljavajući gore navadenu vrednost za brzinu svetlosti, videćemo da je jedan svetlosni kilometar jednak 0,0000036 sec. Na isti način ćemo naći da jedan svetlosni metar iznosi 0,00000000036 sekundi. Ovo daje odgovor na naše pitanje o četvorodimenzionalnoj kocki o kojoj smo raspravljali u prethodnom odeljku. Ako su prostorne dimenzije ove kocke jedan metar sa jedan metar sa jedan metar, njeno prostorno trajanje mora da bude svega oko 0,000000000036 sekundi. Ako prostorno kockasti metar traje čitav jedan mesec, treba ga smatrati kao četvorodimenzionalnu šipku koja je jako izdužena duž vremenske ose.

3. Četvorodimenzionalna razdaljina

Pošto smo rešili pitanje o uporednim jedinicama koje treba upotrebljavati duž prostorne i vremenske ose, možemo se sada upitati šta se podrazumeva pod razdaljinom između dve tačke u četvorodimenzionalnom prostor-vreme svetu. Ne treba zaboraviti da svaka tačka u ovom slučaju odgovara onom što se obično naziva »događaj«, to jest kombinaciji položaja i vremenskog podatka. Da bismo razjasnili problem, razmotrimo naprimer sledeća dva događaja:

Događaj I. Jedna banka na prvom spratu na uglu Pete Avenije i 50 ulice u Njujorku bila je opljačkana u 9.21 čas pre podne 28 jula 1945.[5])



Sl. 32 Jedan »događaj« u četvorodimenzionalnom svetu

Događaj II. Jedan vojni avion, izgubljen u magli, survao se na 79-i sprat Zgrade Empajr Steit na 34 ulici između Pete i Šeste Avenije u Njujorku u 9.36 časova pre podne istoga dana (slika 32).

Ova dva događaja bila su odvojena prostorno 16 i po uličnih uglova u pravcu sever-jug, pola razdaljine između dve susedne ulice u pravcu istok-zapad, 78 spratova, a u pogledu vremena razdaljinom od 15 minuta. Da bismo opisali

[5]) Ako na tom uglu stvarno postoji banka, onda je ova podudarnost potpuno slučajna.

prostornu razdaljinu između dva događaja, očigledno nije potrebno da uzmemo u obzir broj blokova u aveniji ili broj spratova jer ih možemo kombinovati u jednu jedinu razdaljinu pomoću dobro poznatog Pitagorinog teorema, prema kome je razdaljina između dve tačke u prostoru jednaka kvadratnom korenu sume kvadrata razdaljina na pojedinim koordinatama (slika 32, u uglu). Da bismo primenili Pitagorin teorem, moramo, razume se, najpre izraziti sve razdaljine istom vrstom jedinica, naprimer metrom. Ako je razdaljina između uličnih uglova u pravcu sever-jug jednaka 70 metara, ona u pravcu istok-zapad 270 metara, prosečna visina jednog sprata u Empajr Steit oblakoderu 4 metra, onda će razdaljine u pravcu triju koordinata biti 1070 metara u pravcu sever-jug, 110 metara u pravcu istok-zapad i 312 metara u vertikalnom pravcu. Pomoću Pitagorinog teorema dobićemo sada direktnu razdaljinu između dva mesta:

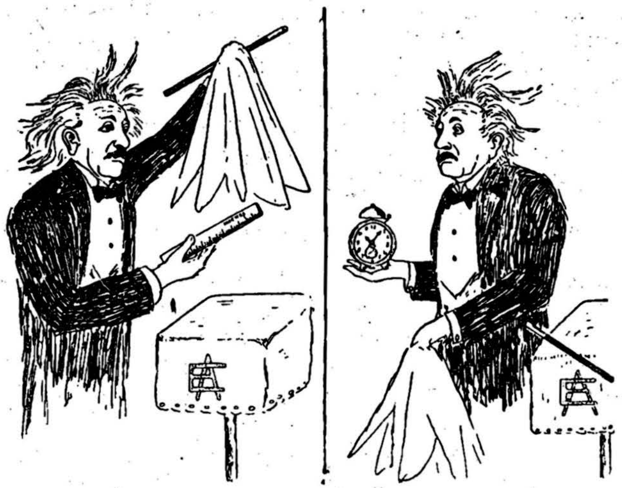
$$\sqrt{1070^2 + 130^2 + 312^2} = \sqrt{3,500.000} = 1120 \text{ metara.}$$

Ako pojam vremena kao četvrte dimenzije ima ikakve praktične vrednosti, trebalo bi da kombinujemo cifru od 1120 metara za prostornu razdaljinu sa cifrom od 15 minuta koja obeležava razmak dvaju događaja u vremenu tako da dobijemo jedinstvenu cifru koja karakteriše četvorodimenzionalnu razadaljinu između dva događaja.

Prema prvobitnoj Ajnštajnovoj ideji ta **četvorodimenzionalna razdaljina može se ustvari odrediti jednom jednostavnom generalizacijom Pitagorinog teorema i igra daleko važniju i osnovniju ulogu u fizičkom odnosu između događaja nego što je to slučaj sa odvojenim prostornim i vremenskim razmakom.**

Kombinujemo li podatke za prostor i vreme, moramo, očigledno, da ih izrazimo u jedinicama koje se mogu međusobno uporediti, baš onako kao što smo morali u metrima da izrazimo razdaljinu između uglova i razdaljinu između spratova. Kao što smo videli malopre, to se može lako postići ako upotrebimo brzinu svetlosti kao faktor korelacije jedinica, tako da interval vremena od 15 minuta postaje 250.000.000.000 »svetlosti-metara«. Pod jednostavnom generalizacijom Pitagorinog teorema mogli bismo podrazumeti mogućnost da četvorodimenzionalnu razdaljinu definišemo kao kvadratni koren sume kvadrata četiri koordinate — tj. tri za prostorni i jednu za vremenski razmak. Ako bismo tako postupili, mi bismo potpuno eliminisali svaku razliku između vremena i prostora, što bi ustvari otvorilo mogućnost da pretvorimo merenje prostora u merenje vremena i obratno.

Ali niko — čak ni veliki Ajnštajn — ne može da pokrije jednu policu od metra komadom čoje, da zamane nad njom mađioničarskim štapićem i da, izričući nekakvu volšebnu rečenicu kao naprimer: »pi-puta-co-que-vreme-kontra-varijant-



Sl. 33 — Profesor Ajnštajn nije nikad mogao da učini nešto ovako. Ali je uradio nešto mnogo bolje.

tenzor«, pretvori taj metar u potpuno nov, sjajan budilnik. (Slika 33).

Otuda, ako želimo da identifikujemo vreme sa prostorom u okviru Pitagorine formule, moraćemo da to učinimo na nekakav neuobičajen način kojim bi se sačuvalo u izvesnoj meri nešto od njihove prirodne razlike.

Prema Ajnštajnu fizička razlika između prostornih razdaljina i vremenskih trajanja može se podvući u matematičkoj formulaciji jednog generalisanog Pitagorinog teorema upotrebom **negativnog znaka** ispred kvadrata vremenske koordinate. Na taj način možemo da obeležimo četvorodimenzionalnu razdaljinu između dva događaja kao **kvadratni koren sume kvadrata triju prostornih koordinata manje kvadrat**

vremenske koordinate, koja se, naravno, mora prvo izraziti u prostornim jedinicama.

Prema tome četvorodimenzionalnu razdaljinu između pljačkanja banke i rušenja aviona trebalo bi računati ovako:

$$\sqrt{1070^2 + 130^2 + 312^2 - 250\,000\,000\,000^2}$$

Ogromno velika numerička vrednost četvrtog člana u poređenju sa ostala tri potiče iz činjenice što smo uzeli primer iz »običnog života«, a po merilima običnog života racionalna jedinica vremena je zaista vrlo mala. Dobili bismo srazmernje cifre ako bismo, umesto dva događaja koji se odigravaju u Njujorku, uzeli nekakav primer iz vasione. Tako naprimer, uzmemo li kao prvi događaj eksploziju atomske bombe na ostrvu Bikiniju tačno u 9 časova pre podne 1 jula 1946, a kao drugi, recimo, pad meteorita na površinu Marsa 1 minut posle devet časova pre podne istoga dana, dobili bismo vremenski interval od 180.000.000.000 svetlosnih metara, dok bi prostorna razdaljina bila oko 215.000.000.000 metara.

U ovom slučaju bi četvorodimenzionalna razdaljina između dva događaja bila 10×10^{10} metara, što je numerički sasvim različito od čisto prostornog i čisto vremenskog intervala.

Mogla bi se s pravom staviti primedba na takvu, na prvi pogled iracionalnu, geometriju, u kojoj se jedna koordinata tretira drukčije nego ostale tri. Ali ne treba zaboraviti da svaki matematički sistem, podešen za opisivanje fizičkog sveta, mora biti tako postavljen da odgovara stvarnosti. Ako se, dakle, prostor i vreme ponašaju različito u svome četvorodimenzionalnom jedinstvu zakoni četvorodimenzionalne geometrije moraju biti prilagođeni tome. Pored toga, postoji jedan jednostavan matematički lek, pomoću koga Ajnštajnova geometrija prostora i vremena može da izgleda potpuno slična staroj, dobro poznatoj Euklidovoj geometriji koju smo učili u školi. Ovaj lek, koji je predložio nemački matematičar Minkovskij, sastoji se iz toga da posmatramo četvrtu koordinatu kao čisto imaginarnu veličinu. Setićete se iz drugog poglavlja ove knjige da se obični broj može pretvoriti u imaginarni množenjem sa $\sqrt{-1}$, i da takvi imaginarni brojevi mogu biti upotrebljeni vrlo korisno u rešavanju raznih geometriskih problema. I doista, prema Minkovskom, da bi se moglo smatrati kao četvrta dimenzija, vreme treba ne samo izraziti u prostornim jedinicama, već ga treba i pomnožiti sa $\sqrt{-1}$. Na taj način bi četiri koordinate razdaljine iz našeg primera izgledale ovako:

Prva koordinata: 1070 metara
Druga koordinata: 130 metara
Treća koordinata: 312 metara
Četvrta koordinata: $2{,}6 \times 10^{11}$ i svetlosnih metara.

Sad već možemo da definišemo četvorodimenzionalnu razdaljinu kao kvadratni koren sume kvadrata sve četiri koordinatne razdaljine. U suštini, pošto je kvadrat jednog imaginarnog broja uvek negativan, običan Pitagorin izraz u koordinatama Minkovskog bio bi matematički ekvivalentan sa prividno iracionalnim Pitagorinim izrazom u Ajnštajnovim koordinatama.

U vezi s tim, potsetio bih na pričicu o jednom starcu koji je imao reumatizam i upitao svog zdravog prijatelja kako je on uspeo da izbegne tu bolest.

»Tuširajući se tokom celog života svako jutro hladnom vodom« glasio je odgovor.

»Razumem«, rekao je prvi, »vi ste se dakle patili od hladne vode namesto da imate reumatizam«.

Doista, ako vam se ne sviđa prividno reumatični Pitagorin teorem, vi možete u zamenu da uzmete hladni tuš imaginarne vremenske koordinate.

Imaginarna priroda četvrte koordinate u svetu prostor-vreme dovodi do neophodnosti da razmotrimo dva fizički različita tipa četvorodimenzionalnih razmaka.

Ustvari, u takvim slučajevima kao što su malopre razmatrani događaji u Njujorku, kada je trodimenzionalna razdaljina između događaja numerički manja od vremenskog intervala (u odgovarajućim jedinicama), izraz ispod korenovog znaka u Pitagorinom teoremu je negativan, usled čega **dobijamo imaginarni broj za uopšteni četvorodimenzionalni razmak.** U drugim slučajevima, međutim, vremensko trajanje je manje nego prostorna razdaljina, tako da dobijemo pozitivni broj ispod znaka korena. To znači da je u takvim slučajevima **četvorodimenzionalna udaljenost između dva događaja realna.**

No pošto, kao što smo gore raspravili, prostorne razdaljine treba smatrati kao realne, vremenska trajanja kao čisto imaginarna, to možemo reći da su realni četvorodimenzionalni razmaci bliži običnim prostornim razdaljinama, dok su imaginarni bliži vremenskim intervalima. Prema terminologiji Minkovskog, četvorodimenzionalni razmaci prve vrste se nazivaju prostornim (raumartig), a oni druge vrste su vremenski (zeitartig).

Videćemo u sledećem odeljku da se prostorni razmak može pretvoriti u običnu prostornu daljinu a vremenski razmak u običan vremenski interval. Međutim, činjenica da je jedan od njih izražen realnim brojem, a drugi imaginarnim, pretstavlja nesavladivu prepreku pri kakvom bilo pokušaju da se jedan pretvori u drugi, što nam čini nemogućim da pretvorimo metar u sat i sat u metar.

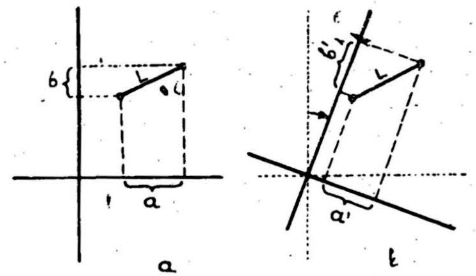
Poglavlje V

RELATIVITET PROSTORA I VREMENA

1. Pretvaranje prostora u vreme i obratno

Iako matematički pokušaji da se dokaže jedinstvo vremena i prostora u jednom četvorodimenzionalnom svetu ne ukidaju potpuno razliku između razdaljine i trajanja, oni ipak otkrivaju mnogo veću sličnost između ta dva pojma nego što je to ikad bilo uočeno u fizici pre Ajnštajna. Ustvari, **prostorne razdaljine i vremenski intervali između raznih događaja moraju se sada smatrati samo kao projekcije osnovnog četvorodimenzionalnog razmaka između ovih događaja na prostornim i vremenskoj osi, tako da rotacija ovog četvorodimenzionalnog koordinatnog sistema može da dovede do delimične transformacije razdaljina u trajanje i obratno.** Ali šta podrazumevamo pod rotacijom četvorodimenzionalnog prostor-vreme koordinatnog sistema?

Posmatrajmo prvo koordinatni sistem od dve prostorne koordinate, kao one na slici 34a, i pretpostavimo da imamo dve nepokretne tačke čija je razdaljina L. Projektujući ove razdaljine na koordinatne ose, utvrdićemo da su naše dve tačke udaljene **a** metara od prve ose i **b** metara od druge ose. Ako okrenemo koordinatni sistem za izvestan ugao (slika 34b), projekcije istih razdaljina na nove dve ose biće različite od predašnjih projekcija i imaće vrednosti **a'** i **b'**. Međutim, prema Pitagorinom teoremu, kvadratni koren sume kvadrata dveju projekcija biće isti u oba slučaja budući da odgovara



Sl. 34 — Ukrštanje osa u dvodimenzionalnim prostor-koordinatama

stvarnoj razdaljini između dve tačke, razdaljini koja se ne menja sa rotacijom osa. Tako je:

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a'^2 + b'^2} = L$$

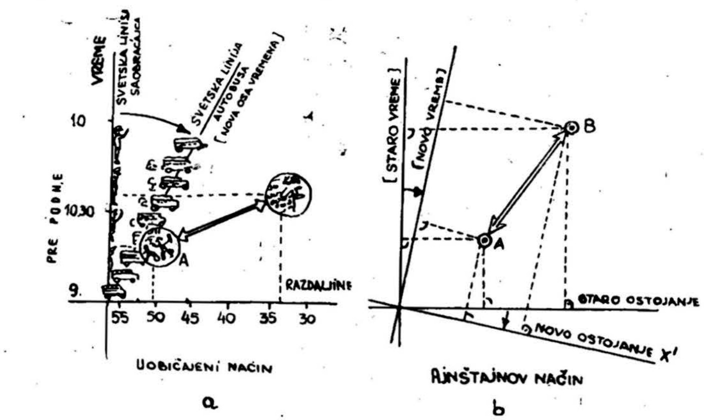
Mi kažemo da je kvadratni koren sume kvadrata **invarijantan** u odnosu na rotiranje koordinata, dok su konkretne vrednosti projekcija slučajne i zavise od izbora koordinatnih sistema.

Posmatrajmo sada koordinatni sistem u kome jedna osa odgovara razdaljini a druga trajanju. U ovom slučaju dve nepokretne tačke ranijeg primera postaju dva fiksna događaja, a projekcije na dvema osama pretstavljaju njihovu udaljenost u prostoru i vremenu. Uzimajući kao ta dva događaja pljačkanje banke i sudar aviona o kome smo govorili u prethodnom odeljku, možemo da nacrtamo sliku (slika 35a) koja je vrlo slična onoj koja pretstavlja dve prostorne koordinate (slika 34a). Šta treba da uradimo da bismo okrenuli koordinatni sistem? Odgovor je neočekivan i čak zbunjujući: ako želite da okrenete sistem koordinata prostor-vreme, uzmite autobus.

Pa lepo. Pretpostavimo da smo kobnog jutra 28 jula stvarno seli na prvi sprat autobusa koji ide na jug Petom Avenijom. Sa naše sebične tačke gledišta, mi ćemo uglavnom biti zainteresovani za pitanje koliko je udaljen naš autobus od mesta gde se odigrava pljačka banke i sudar, ako ni za

što drugo ono zato šta nam od razdaljina zavisi da li možemo ili ne možemo da vidimo šta se događa.

Ako posmatrate sliku 35a, na kojoj se vidi niz položaja autobusove svetske linije zajedno sa događajima pljačke i sudara, primetićete odmah da se te razdaljine razlikuju od onih koje će obeležiti, recimo, saobraćajac na raskršću. Pošto se autobus kretao niz Aveniju takvom brzinom da je, recimo, svaka tri minuta prolazio po jedan blok (što nije tako neobično njujorškom saobraćajcu), prostorna razdaljina između dva događaja, kako izgleda iz autobusa, postaje manja.



Sl. 35 — Četvorodimenzionalni sistem koordinata

Ustvari, kako je u 9.21 pre podne autobus prelazio ulicu 52, pljačka banke koja se odigravala u tom trenutku bila je dva ugla dalje. U vreme pada aviona (9.36 pre podne) autobus se nalazio kod ulice 47, odnosno bio je četrnaest blokova udaljen od mesta pada aviona. Mereći tako razdaljine u odnosu prema autobusu, mi bismo zaključili da je prostorna razdaljina između mesta pljačke i pada aviona 14 — 2 = 12 blokova, dok ta razdaljina merena u odnosu na zgrade u gradu iznosi 50 — 34 = 16 blokova. Posmatrajući ponovo sliku 35a, videćemo da se razdaljine merene iz autobusa moraju sračunavati polazeći ne od vertikalne ose (svetske linije saobraćajca koji se ne kreće), kao malopre, već od kose linije koja pretstavlja svetsku-liniju autobusa, tako da upravo ova linija sad igra ulogu nove osovine vremena.

Čitav ovaj »džak trivijalnosti« o kome smo dosad raspravljali može se sumirati ovako: da bi se dobio prostor-vreme dijagram o događajima koje smo videli s jednog predmeta u kretanju, moramo zaokrenuti osu vremena za jedan određeni ugao (koji zavisi od brzine kretanja kola) ostavljajući, međutim, osu prostora nedirnutom.

Ova tvrdnja, iako potpuno istinita s tačke gledišta klasične fizike i takozvanog »zdravog razuma«, u direktnoj je suprotnosti s našim novim idejama o četvorodimenzionalnom svetu prostora i vremena. Ako vreme treba smatrati kao četvrtu nezavisnu koordinatu, osa vremena mora uvek ostati okomita na tri prostorne ose, bez obzira na to da li sedimo u autobusu, tramvaju ili na trotoaru.

Sad možemo da sledimo jedan od dva pravaca mišljenja. Ili ćemo zadržati naše konvencionalne ideje o prostoru i vremenu, napuštajući svako dalje razmatranje jedinstvene geometrije prostora i vremena, ili moramo prekinuti sa starim idejama koje nam diktira »zdravi razum« i pretpostaviti da se u našem prostor-vreme dijagramu **prostorna osovina mora okretati zajedno sa osom vremena,** tako da njih dve ostanu uvek uzajamno vertikalne (slika 35b).

Ali isto onako kao što okretanje ose vremena znači da **prostorna udaljenost između dva događaja ima različite vrednosti** (u prethodnom primeru 12 i 16 blokova) **kada se posmatra sa jednog vozila u kretanju,** tako isto okretanje prostorne ose znači da se **vremenski razmak između dva događaja posmatrana iz vozila u kretanju razlikuje od vremenskog razmaka između tih istih događaja kada su posmatrani s jedne nepokretne tačke na zemlji.** Ako je razmak između pljačke banke i pada aviona po satu na Gradskoj kući iznosio 15 minuta, onda gornji stav znači da bi taj isti vremenski razmak bio drukčije izmeren satom na ruci putnika u autobusu — ne zato što ova dva sata rade različito usled mehaničkih nedostataka, već zato što vreme teče različitim brzinama u vozilima koja se kreću različitim brzinama. Prema tome, stvarni mehanizam koji beleži vreme usporen je u odgovarajućem odnosu. Pri malim brzinama autobusa ovo zakašnjenje tako je neznatno da se ne može ni primetiti. (O ovoj pojavi govorićemo opširnije u ovom poglavlju).

Uzmimo još jedan primer: posmatrajmo čoveka koji večera u vagon-restoranu jednog voza u pokretu. S tačke gledišta kelnera on jede predjelo i slatkiše na potpuno istom

mestu (treći sto kraj prozora). Ali s tačke gledišta dvojice skretničara na stacionarnim tačkama pruge koji gledaju kroz prozor vagon-restorana — jedan baš u trenutku kad naš putnik jede predjelo, a drugi u momentu kad jede slatkiše — ova dva događaja se odigravaju nekoliko kilometara daleko jedan od drugog. Na taj način možemo reći: **dva događaja koji se s tačke gledišta jednog posmatrača odigravaju na istom mestu ali u različito vreme, s tačke gledišta drugih posmatrača koji se nalaze u drukčijem stanju, odnosno stanjima kretanja, odigravaće se na različitim mestima i oni će ih kao takve i posmatrati.**

Rukovodeći se potrebom da ostvarimo ekvivalentnost prostora i vremena, zamenimo u gornjoj rečenici reč »mesto« rečju »vreme« i obratno. Rečenica će tada da glasi: **»dva događaja koji se s tačke gledišta jednog posmatrača odigravaju istovremeno ali na različitim mestima, s tačke gledišta drugog posmatrača koji se nalazi u drukčijem stanju kretanja, odigravaće se u različita vremena, i on će ih kao takve i posmatrati«.**

Primenjujući ovo na naš primer vagon-restorana, možemo očekivati da će se kelner zaklinjati da su dva putnika koja sede na dva kraja vagona upalila svoje cigarete posle večere tačno u istom trenutku, dok će skretničar koji stoji pored pruge i gleda kroz prozor u voz koji prolazi pored njega insistirati na tome da je jedan od gostiju upalio cigaretu pre drugog.

Dakle: **dva događaja koji su s tačke gledišta jednog posmatrača jednovremeni, s tačke gledišta drugog posmatrača biće odvojeni razmakom vremena.**

Ovo su neizbežne posledice četvorodimenzionalne geometrije u kojoj su **vreme i prostor samo projekcije jednog invarijantnog četvorodimenzionalnog razmaka na odgovarajućoj osi.**

2. Etarski vetar i put za Sirijus

Treba se sad upitati da li je gola želja da koristimo jezik četvorodimenzionalne geometrije dovoljna da opravda uvođenje tako revolucionarnih promena u naše stare i udobne ideje o prostoru i vremenu?

Ako je naš odgovor pozitivan, dovodimo u pitanje čitav sistem klasične fizike, koji je zasnovan na definicijama prostora i vremena što ih je formulisao veliki Njutn pre dva i po veka:

»Apsolutni prostor, po samoj svojoj prirodi, bez odnosa s ičim spoljnim, ostaje uvek isti i nepokretan«

»Apsolutno, istinito, i matematičko vreme samo od sebe i na osnovu svoje prirode teče ravnomerno bez veze s ma čim spoljnim.«

Pišući ove redove, Njutn svakako nije mislio da je rekao išta novo, išta što treba dokazivati; on je prosto formulisao preciznim jezikom pojmove prostora i vremena onako kako izgledaju svakome sa zdravim razumom. Ustvari verovanje u ispravnost ovih klasičnih ideja o prostoru i vremenu tako je apsolutno da su ih vrlo često filozofi uzimali kao ideje **a priori,** i ni jedan naučnik (a kamo li običan smrtnik) nije nikad ni razmatrao mogućnost da bi ti pojmovi mogli da budu lažni i da bi ih prema tome trebalo iznova ispitati i ponovo formulisati. Zašto bismo mi onda morali sada ponovo da ispitamo čitavo ovo pitanje?

Uzrok napuštanja klasičnih ideja prostora i vremena i njihovog sjedinjavanja u jednu jedinu četvorodimenzionalnu sliku nije bio u čisto estetskoj želji Ajnštajnovoj, niti u nekom nemirnom nagonu njegovog matematičkog genija, već u tvrdoglavim činjenicama koje su stalno nicale iz eksperimentalnog istraživanja i koje se nikako nisu mogle uskladiti sa klasičnom slikom nezavisnog vremena i prostora.

Prvi udarac u samu osnovu lepe i, na izgled, večne građevine klasične fizike, udarac koji je zatresao skoro svaki kamen ove divne građevine i koji je oborio njene zidove kao što su se zidovi Jerihona srušili pod jekom trube Isusa Navina, zadalo je nešto što je na prvi pogled izgledalo samo kao jedan skromni eksperimenat. To je bio eksperimenat što ga je godine 1887 izvršio američki fizičar A. A. Mihelson(Michelson). Osnovna ideja Mihelsonovog eksperimenta je vrlo jednostavna. Ona se zasniva na fizičkoj slici prema kojoj svetlost pretstavlja izvesno talasno kretanje koje se vrši kroz tzv. »svetlosnonosilački etar«, jednu hipotetičnu supstancu koja ravnomerno ispunjava međuzvezdani prostor kao god i prostor između atoma u svim materijalnim telima.

Bacite kamen u mirnu vodu i pojaviće se talasi koji će se širiti u svim pravcima. Slično tome teče u talasima i svetlost koja dolazi iz makakvog svetlog tela; takođe i zvuk iz

jedne zvučne viljuške. Ali dok talasi na površini očevidno pretstavljaju kretanje čestice vode, dok za zvučne talase znamo da su ustvari treperenje vazduha ili drugih materijala kroz koje zvuk prolazi, mi nismo u stanju da nađemo makoju materijalnu sredinu koja deluje kao nosilac svetlosnih talasa. Ustvari prostor kroz koji svetlost prolazi s takvom lakoćom u odnosu na zvuk izgleda da je potpuno prazan.

Pošto je, međutim, izgledalo potpuno alogično da se govori o tome da nešto treperi kad ustvari nema šta da treperi, fizičari su morali da unesu jedan nov pojam, tzv. »svetlosnonosilački etar« da bi dali jedan subjekat glagolu »treperiti«, i to u pokušaju da rastumače širenje svetlosti. Sa čisto gramatičkog gledišta koje zahteva da svaki glagol mora da ima jedan subjek, niko ne može da negira postojanje »svetlosnonosilačkog etra«. Ali — a ovo je jedno zaista veliko ali — pravila gramatike ne propisuju niti mogu da propišu fizička svojstva subjekata koji se moraju uključiti u jednu pravilno konstruisanu rečenicu.

Kažemo li da se svetlost sastoji iz talasa koji se prenose kroz svetlosni etar, a definišemo »svetlosni etar« kao ono kroz šta se svetlosni talasi prenose, mi time izražavamo jednu večnu istinu, ali u isto vreme i najbeznačajniju tautogoliju. Naći **šta** je zapravo taj svetlosni etar, to je savršeno drukčiji problem nego utvrditi kakva su njegova fizička svojstva. Nikakva nam gramatika (čak ni Grčka) neće tu pomoći, i odgovor moramo da tražimo u fizici.

Kao što ćemo videti u daljem raspravljanju, najveća greška fizike XIX veka sastojala se u pretpostavci da ovaj svetlosni etar ima svojstva vrlo slična običnim fizičkim supstancama iz svakodnevnog života. Govorilo se o fluidnosti, čvrstini, raznim elastičnim svojstvima i čak o unutarnjem trenju svetlosnog etra. Pa kako se, naprimer, svetlosni etar ponaša različito, čas kao čvrsta materija, čas kao fluidna (s jedne strane, onda kad se pojavljuje kao nosilac svetlosnih talasa, kao vibrantno čvrsto telo,[1]) a s druge strane pokazuje savršenu fluidnost i potpuno otsustvo svakog otpora prema kretanju nebeskih tela), te su činjenice objašnjavane poređenjem s takvim materijalima kao što je vosak za pečaćenje.

[1]) U odnosu na svetlosne talase pokazano je da su ta treperenja okomita na pravac u kome se svetlost kreće. U običnim materijalima takva okomita treperenja pojavljuju se samo u čvrstim telima, dok u tečnim i gasnim supstancama čestice koje trepere mogu da se kreću samo u pravcu kretanja talasa.

Vosak za pečaćenje i druge slične supstance poznate su kao vrlo tvrde i salomljive u odnosu na sile koje na njih deluju brzo u mehaničkom sudaru, ali će one u isto vreme teći kao med pod dejstvom svoje sopstvene težine ako ih dovoljno vremena ostavimo na miru. Držeći se ove analogije, stara fizika je pretpostavljala da se svetlosni etar, koji ispunjava čitav međuzvezdani prostor, ponaša kao čvrsto telo u odnosu na brze distorcije povezane sa širenjem svetlosti, odnosno kao kakva dobra tečnost kada se planete i zvezde, koje se kreću mnogo hiljada puta sporije od svetlosti, probijaju kroz njega. Ova, mogli bismo reći: antropomorfološka tačka gledišta na osnovu koje se pokušalo da se pripišu jednoj potpuno nepoznatoj stvari, koja dotad nije imala ništa drugo do imena, svojstva običnih materijala koje mi poznajemo, pokazala se od samog početka kao skroz pogrešna. I uprkos mnogih pokušaja, nije se moglo naći nikakvo razumno mehaničko tumačenje svojstava tajanstvenoga nosioca talasa svetlosti.

U svetlosti našeg današnjeg znanja u stanju smo da lako sagledamo pogreške svih takvih pokušaja. Ustvari poznato je da se sva mehanička svojstva običnih supstanci mogu svesti na interakciju između atoma iz kojih se te supstance sastoje. Tako, naprimer, fluidnost vode, elastičnost gume i tvrdoća dijamanta uslovljeni su činjenicom da molekuli vode mogu da klize jedan preko drugoga bez mnogo trenja, da se molekuli gume mogu lako deformisati i da su atomi ugljenika, koji sačinjavaju kristal dijamanata, tesno vezani u jednu čvrstu rešetku. U tome smislu sva obična mehanička svojstva raznih supstanci potiču od njihove atomske strukture, ali ovo pravilo postaje apsurdno kada ga primenimo na jednu apsolutno neprekidnu supstancu, takvu kakvom se smatrao svetlosni etar.

Svetlosni etar je supstanca naročite vrste, koja nema sličnosti sa uobičajenim atomskim mozaikom koji mi obično nazivamo materijom. Svetlosni etar možemo da nazovemo »supstancom« — ako ni zbog čega drugog a ono da bi to poslužilo kao gramatički subjekt glagolu treperiti — ali ga u isto vreme možemo nazvati i »prostorom« imajući na umu da, kao što smo pre videli i kao što ćemo još videti, prostor može da ima izvesne morfološke i strukturalne crte koje ga čine mnogo komplikovanijim nego li što je po shvatanju Euklidove geometrije. Ustvari u modernoj se fizici izraz »svetlosni etar« — lišen svih tzv. mehaničkih svojstava — i izraz »fizički prostor« smatraju sinonimima.

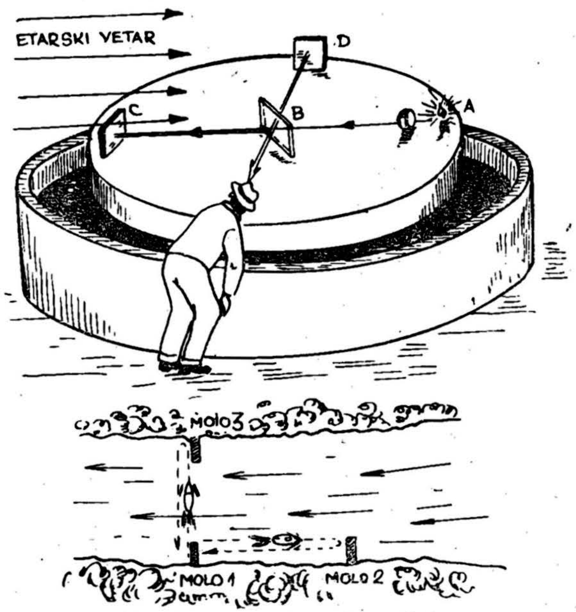
Ali mi smo otišli suviše daleko u gnoseološku, odnosno filozofsku analazu »svetlosnog etra«, i sada se moramo vratiti Mihelsonovom eksperimentu. Kao što smo već rekli, ideja ovog eksperimenta je vrlo prosta. Ako svetlost pretstavlja talase koji se kreću kroz etar, onda na brzinu svetlosti merenu instrumentima koji se nalaze na površini Zemlje utiče zemljino kretanje kroz prostor. Dok stojimo na Zemlji koja juri po svojoj putanji oko Sunca, trebalo bi da smo u stanju da detektujemo »vetar etra« na isti način kao što čovek koji stoji na palubi jedne brze lađe oseća kako mu vetar duva u lice, iako vreme može da bude potpuno mirno. Razume se da mi ne osećamo vetar etra pošto se pretpostavlja da može da prodre bez ikakve teškoće između atoma koji sačinjavaju naše telo. Ali, trebalo bi da možemo da utvrdimo postojanje toga vetra merenjem brzine svetlosti u različitim pravcima u odnosu na naše kretanje. Svako zna da je brzina zvuka niz vetar veća od brzine istoga zvuka uz vetar. Otuda izgleda prirodno da ćemo imati isti slučaj i sa svetlošću kad se kreće niz i uz etarski vetar.

Polazeći od takvog shvatanja prof. Mihelson je počeo da konstruiše uređaj kojim bi mogao da izmeri razlike u brzini svetlosti koja se kreće u raznim pravcima. Najjednostavniji način bio bi, razume se, da se uzme Fizov uređaj opisan na sl. 31c i da se izvrše serije merenja, okrećući ga u raznim pravcima. Ovo međutim ne bi bio vrlo celishodan način za eksperimenat pošto bi iziskivao vrlo veliki stepen preciznosti. I zaista pošto je očekivana razlika — jednaka brzini Zemlje — svega jedan stoti od jednog procenta brzine svetlosti, mi bismo svako merenje morali da izvršimo sa krajnjom tačnošću.

Ako imate dva dugačka štapa koji su približno jednaki i želite da doznate tačno razliku između njih, najlakše ćete to postići ako izravnate njihova dva kraja i onda izmerite razliku između njih na drugom kraju. Ovo se zove metod »nulte tačke«.

Mihelsonov uređaj, koji je shematski prikazan na sl. 36, koristi ovaj nulti metod da bi uporedio brzinu svetlosti u dva pravca koji su okomiti jedan na drugi.

Centralni deo ovog uređaja sačinjava jedna staklena ploča koja je pokrivena tankim poluprozirnim slojem srebra. Zahvaljujući tome ploča odbija oko 50% upadne svetlosti, a propušta ostalih 50%. Snop svetlosti koji dolazi iz izvora A biva razdvojen u dva jednaka dela koja se kreću paralelno jedan prema drugom. Ova dva snopa se reflektuju na ogledalima C i D, koja se nalaze na jednakim razdaljinama od centralne ploče, pa se svetlost odbija nazad ka centralnoj ploči. Snop koji se vraća od D biće delimično propušten kroz tanki sloj srebra i sjediniće se sa delom snopa od C koji je delimično reflektovan od istog sloja. Tako će dva snopa koja su bila razdvojena prilikom ulaska u uređaj biti sjedinjena



Sl. 36 — Mihelsonov uređaj

u trenutku kad ulaze u oko posmatrača. Prema jednom dobro poznatom zakonu optike, ova dva snopa će reagovati jedan na drugi (interferencija) i formirati sistem tamnih i svetlih područja koja se mogu okom videti.[2]) Ako su razdaljine BD i BC jednake, da se oba snopa vraćaju jednovremeno na centralnu ploču, svetlo područje biće u centru slike. Ako su razdaljine malo promenjene, da jedan snop malo zakašnjava u odnosu na drugi, svetla i tamna područja biće pomerana bilo ulevo, bilo udesno.

[2]) Vidi takođe strane 116—118.

Pošto se uređaj nalazi na površini Zemlje, a Zemlja se kreće brzo kroz prostor, moramo očekivati da vetar etra duva kroz uređaj istom brzinom kojom se Zemlja kreće. Pretpostavimo, naprimer, da taj vetar duva u pravcu C prema B, kao što se vidi na slici 36, i upitajmo se kakvu će to razliku proizvesti u brzini dvaju snopova koji idu ka središnoj tački.

Ne zaboravimo da jedan od ovih snopova prvo ide protivu vetra, a vraća se niz vetar, dok drugi snop seče vetar u oba pravca. Koji će se snop prvi vratiti?

Zamislite reku i jedan motorni čamac koji ide uzvodno od mola br. 1 do mola br. 2, a zatim se vraća nizvodno do mola br. 1. Tok reke otežava kretanje čamca na prvom delu puta, ali ga pomaže na drugom delu. Možda ćete pomisliti da se ova dva efekta uzajamno kompenziraju, ali to nije tako. Da biste ovo razumeli, pretpostavite da se čamac kreće brzinom jednakom brzini reke. U tom slučaju čamac neće nikad stići od mola br. 1 na mol br. 2! Nije teško utvrditi da će postojanje vodenog toka u svakom slučaju produžiti vreme kružnoga puta faktorom jednakim

$$\frac{1}{1-\left(\frac{V}{v}\right)^2}$$

gde je v brzina čamca, a V brzina reke.[3])

Tako, naprimer, ako se čamac kreće deset puta brže od reke, povratni put će trajati:

$$\frac{1}{1-\left(\frac{1}{10}\right)^2}=\frac{1}{1-0{,}01}=\frac{1}{0{,}99}\ 1{,}01 \text{ vremena}$$

tj. jedan od sto duže nego što bi bio slučaj u mirnoj vodi.

Na sličan način možemo izračunati očekivano zakašnjenje u kružnom putovanju preko reke. Zakašnjenje se pojavljuje u ovom slučaju zbog toga što čamac mora, da bi stigao do mola 3 od mola 1, da se kreće malo ukoso da bi nadokna-

[3]) Ustvari, ako obeležimo sa L razdaljinu između dva mola, ne zaboravljajući da su kombinovane brzine nizvodno jednake v + V, a uzvodno v — V, dobićemo za celokupno vreme kružnoga puta sledeće:

$$t=\frac{l}{v+V}+\frac{l}{v-V}=\frac{2vl}{(v+V)(v-V)}=\frac{2vl}{v^2-V^2}=\frac{2l}{v}\times\frac{1}{1-\frac{V^2}{v^2}}$$

dio tok tekuće vode. U ovom slučaju zakašnjenje je nešto manje i izražava se faktorom:

$$\sqrt{\frac{1}{1-\left(\frac{V}{v}\right)^2}}$$

tj. u navedenom primeru iznosi svega pola procenta. Dokaz za ovu formulu je vrlo jednostavan i mi ga prepuštamo znatiželjnom čitaocu. A sada zamenimo reku tekućim etrom, čamac zamenimo svetlosnim talasom koji se širi kroz etar, a molove zamenimo s dva ogledala, i vi ćete imati šemu Mihelsonovog eksperimenta. Snop svetlosti koji ide od B do C i koji se vraća do B zakasniće za faktor

$$\frac{1}{1-\left(\frac{V}{c}\right)^2}$$

gde je c brzina svetlosti u etru, dok će snop koji putuje od B do D i natrag zakasniti za faktor

$$\sqrt{\frac{1}{1-\left(\frac{\ }{c}\right.}}$$

Budući da je brzina etarskog vetra jednaka brzini Zemlje, to ona iznosi 30 km/sec. Brzina svetlosti je 3×10^5 km/sec. Izvršimo li zamenu u računu izlazi da će naša dva snopa zakasniti: jedan za 0,01 a drugi za 0,005%. I tako pomoću Mihelsonovog uređaja ne bi bilo teško utvrditi razliku u brzini svetlosti kad se njen snop kreće niz etarski vetar i kada putuje u suprotnom pravcu.

Možete, dakle, zamisliti Mihelsonovo iznenađenje kad je, vršeći ovaj eksperimenat, utvrdio da nije u stanju da konstatuje ni najmanje pomeranje svetlosnih područja interferencije.

Izgledalo je da etarski vetar nema nikakvog efekta na brzinu svetlosti bilo da svetlost putuje niz vetar ili uz vetar.

Ovaj rezultat je bio tako iznenađujući da na početku i sam Mihelson nije verovao. Ali pažljiva ponavljanja eksperimenta nisu dopuštala nikakvu sumnju da je dobiveni rezultat ispravan ma koliko to bilo iznenađujuće.

Jedino moguće tumačenje ovog neočekivanog rezultata moglo se naći u smeloj pretpostavci da se masivni kameni sto na kome su bila pričvršćena Mihelsonova ogledala malo smanjio (to je tzv. Fitz Geraldovo smanjenje)[4]) u pravcu zemljinog kretanja kroz prostor. I zaista ako se razdaljina BC smanji za faktor

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

dok razdaljina BD ostaje nepromenjena, zakašnjenje oba svetlosna snopa postaje jednako i ne treba očekivati nikakvo pomeranje svetlosnih područja interferencije.

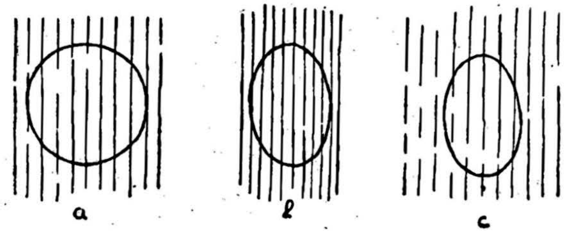
Ali, mnogo je lakše bilo sugerirati mogućnost da se Mihelsonov sto skupio nego razumeti to skupljanje. Tačno je da mi očekujemo izvesno smanjenje materijalnih tela koja se kreću kroz otpornu sredinu. Jedan motorni čamac koji juri preko jezera, naprimer, malo je stešnjen između pogonske sile propelera sa njegove krme i otpora vode sa pramca. Ali veličina takvog mehaničkog skupljanja zavisi od jačine materijala kojim je čamac konstruisan. Jedan čamac od čelika biće zgnječen manje nego kakav drveni. Ali promena u kontrahovanju koja je uzrok negativnih rezultata u Mihelsonovom eksperimentu zavisi samo od brzine kretanja, a nikako od jačine materijala u kretanju. Da je sto na kome su pričvršćena ogledala bio ne od kamena već od gvožđa, drveta ili makog drugog materijala, veličina smanjenja bila bi potpuno ista. Očevidno je, dakle, da mi ovde imamo posla s jednim **opštim efektom**, koji čini da se sva materijalna tela smanje tačno u istoj meri. Ili, da opišemo ovu pojavu kako je to Ajnštajn uradio 1904 godine, **ovde se radi o sužavanju samoga prostora, i sva materijalna tela koja se kreću istom brzinom smanjuju se na isti način prosto zato što se nalaze u istom smanjenom prostoru.**

U dva poslednja poglavlja dovoljno je rečeno o svojstvima prostora da bi gore navedena tvrdnja mogla izgledati verovatna. Da bismo malo razjasnili situaciju, možemo da zamislimo da prostor ima svojstva elastičnih piktija u kojima su obeležene granice raznih tela. Kad se prostor iskrivljuje time što se gnječi, širi ili uvija, automatski se menjaju na

[4]) Nazvan po fizičaru koji je prvi uveo ovaj pojam smatrajući ga kao čisto mehanički efekat kretanja.

isti način oblici tela koji se nalaze u njemu. Ove promene u materijalnim telima prouzrokovane iskrivljenjem prostora treba razlikovati od pojedinih promena prouzrokovanih raznim spoljnim silama koje proizvode unutarnje napone i pomeranje u samim telima. Proučavanje sl. 37 koja prikazuje jedan dvodimenzionalni primer pomoći će da se razume ova važna razlika.

Međutim, efekat sužavanja prostora, iako od osnovne važnosti za razumevanje principa fizike, uopšte se ne može primetiti u običnom životu jer su i najveće brzine kojima smo izloženi u svakodnevnom životu zanemarljivo male u odno-



Sl. 37 — Tela iskrivljena iskrivljenjima prostora

su na brzinu svetlosti. Tako, naprimer, automobil koji se kreće brzinom od 80 km. na sat smanjen je po dužini za faktor od $\sqrt{1-(10^{-7})^2} = 0{,}99999999999999$, što odgovara smanjenju dužine automobila samo za **prečnik jednog jezgra atoma.** Jedan avion na mlazni pogon koji leti brzinom od oko hiljadu km. na sat smanjuje se po dužini za svega jedan prečnik atoma, a jedna međuplanetarna raketa koja je 100 metara dugačka, a juri brzinom od 40 hiljada na sat, smanjuje se za jedan stoti deo milimetra.

Zamislimo li, međutim, predmete koji bi se kretali brzinom od 50, 90 ili 99% brzine svetlosti, njihove bi se dužine smanjile na 86, 45 ili 14% od onih koje bi imali ti predmeti dok bi stajali na zemlji.

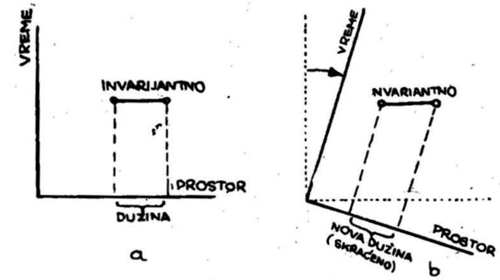
Efekat relativističkog smanjenja svih predmeta u brzom kretanju opevan je u sledećoj pesmici jednog nepoznatog autora:

Bio jednom jedan drzak momak
Kome prohtelo se munja da je
I k'o grom da mačem bije...

Al' još to postigao nije,
A brzina mu pretvori mač u jaje.*)

Doista, ovaj drski mladić morao se boriti munjevitom brzinom!

S tačke gledišta četvorodimenzionalne geometrije eksperimentalno utvrđeno skraćivanje svih predmeta u kretanju može se jednostavno protumačiti kao promena prostorne projekcije njihove invarijantne četvorodimenzionalne dužine, prouzrokovane rotacijom njihovog koordinatnog sistema prostor-vreme. Morate se setiti iz razmatranja učinjenih u



Sl. 38 — Opšte smanjenje tela u pokretu

prošlom odeljku da posmatranja koja se vrše iz jednoga sistema u kretanju moraju biti opisana pomoću sistema koordinata u kome su i osa prostora i osa vremena zaokrenute za jedan izvestan ugao koji zavisi od brzine. Tako, naprimer, ako u jednom nepokretnom sistemu imamo izvestan četvorodimenzionalni razmak koji se projektuje 100% na osu prostora (sl. 38a), njegova prostorna projekcija na novu vremensku osu (sl 38b) biće uvek kraća.

Važno je zapamtiti da je očekivano skraćenje dužine potpuno zavisno od toga kako se ta dva sistema kreću jedan prema drugom. Ako posmatramo jedan predmet koji se ne kreće u odnosu na drugi sistem, pa je otud pretstavljen jednom invarijantnom pravom, paralelnom prema novoj prostornoj osi, njegova projekcija na staru osu biće skraćena za isti faktor.

*) Prim. prevodilaca: Ovaj tip epigrama u stihu poznat je pod nazivom limerin (limerien). Jednostavan u izrazu, limerin se sastoji od pet stihova i obično počinje rečima »Bio jednom ...«

Nije potrebno i, zapravo, nema nikakvog fizikalnog smisla upoređivanje koji se od ova dva sistema »stvarno« nalazi u kretanju. Važno je samo to da se oni kreću jedan prema drugom. I tako, ako se dve putničke rakete nekakve buduće »kompanije za interplanetarne letove« susretnu negde u prostoru između Zemlje i Saturna, krećući se vrlo velikom brzinom, putnici svake rakete biće u stanju da vide kroz prozore na strani broda da je druga raketa znatno smanjena, dok neće primetiti nikakvo smanjenje svog sopstvenog broda. I bilo bi sasvim nepotrebno raspravljati koja je raketa »zaista« smanjena, jer je svaki brod smanjen s tačke gledišta putnika drugog broda, a nijedan nije smanjen s tačke gledišta putnika koji se nalaze u njemu.[5])

»Četvorodimenzionalno razmišljanje« nam omogućuje takođe, da razumemo zašto relativističko smanjenje predmeta u kretanju postaje primetno tek onda kad se njihove brzine približe brzini svetlosti. Ustvari, ugao za koji se okrene sistem koordinata prostor-vreme određen je odnosom između pređene razdaljine prema vremenu potrebnom da se razdaljina pređe. Ako merimo razdaljinu u metrima a vreme u sekundima, ovaj odnos neće biti ništa drugo do obična brzina izražena u metrima po sekundi. Pošto su, međutim, intervali vremena u četvorodimenzionalnom svetu pretstavljeni običnim vremenskim intervalom pomnoženim brzinom svetlosti, odnos koji određuje ugao rotiranja je ustvari odnos između brzine u metrima po sekundi podeljene brzinom svetlosti izraženom istim jedinicama. Na taj način ugao rotacije i njegov uticaj na merenje razdaljine postaju znatni tek onda kad se relativna brzina dvaju sistema u kretanju približi brzini svetlosti.

Isto onako kao što okretanje koordinatnog sistema vreme-prostor utiče na merenje dužina ono utiče i na merenje vremenskih intervala. Može se dokazati, međutim, da će usled specifične imaginarne prirode četvrte koordinate[6]), vremenski intervali porasti dok se prostorne razdaljine smanju-

[5]) Tako to izgleda čisto teoriski. Ustvari pak, kad bi se dva raketna broda razminula pri tako velikim brzinama kao što su ove o kojima je reč, putnici jednog broda ne bi uopšte bili u stanju da vide drugi brod, — isto onako kao što ni vi ne možete da vidite metak koji je ispaljen iz puške, kako je brzina metka manja od one kojom bi se kretao brod.

[6]) Ili ako želite usled činjenice da je Pitagorina formula u četvorodimenzionalnom prostoru modificirana u odnosu na vreme.

ju. Ako pričvrstite jedan sat na auto koji se brzo kreće, on će ići nešto sporije od sličnog časovnika na zemlji, tako da će vremenski interval između dva otkucaja biti produžen. Baš kao i smanjenje dužine u jednom slučaju, usporavanje jednoga sata u pokretu opšti je efekat koji zavisi samo od brzine kretanja. Moderni ručni časovnik, staromodni časovnik sa klatnom, ili klepsidra sa peskom biće podjednako usporeni ukoliko se kreću istom brzinom. Ovaj efekat, razume se, nije ograničen samo na mehaničke uređajčiće koje mi zovemo »časovnici« ili »satovi«; ustvari, svi fizički, hemiski i biološki procesi biće usporeni u istoj meri. Stoga kad kuvate jaja za doručak u jednom raketnom brodu koji se brzo kreće, nema opasnosti da ćete ih prekuvati zato što vaš sat ide suviše sporo. Procesi u vašem jajetu biće usporeni u odgovarajućoj meri: držite li to jaje u ključaloj vodi pet minuta po vašem časovniku, vi ćete dobiti ono što ste uvek smatrali »petminutnim jajima«. Mi ovde uzimamo kao primer raketni brod umesto vagon-restorana jer, kao i u slučaju smanjenja dužine, proširenje vremena postaje primetno samo pri brzinama koje su blizu brzine svetlosti. Ovo proširenje vremena određeno je istim faktorom

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

kao i suženja prostora, s tom razlikom što ga u ovom slučaju ne upotrebljavate kao množitelj nego kao delitelj. Ako se krećete tako brzo da se dužine smanje za polovinu, vremenski intervali postaju dvaput duži.

Usporavanje brzine vremena za sisteme u kretanju ima jednu interesantnu posledicu u pogledu međuzvezdanih putovanja. Pretpostavimo da ste odlučili da posetite jedan od Sirijusovih satelita, koji se nalazi na razdaljini od 9 svetlosnih godina od sunčanog sistema, i da ćete putovati jednim raketnim brodom koji može da se kreće skoro brzinom svetlosti. Prirodno bi bilo da zaključite da će vam za kružno putovanje do Sirijusa i nazad biti potrebno bar 18 godina, pa biste bili skloni da ponesete sa sobom vrlo veliku količinu hrane. Ova predostrožnost bila bi, međutim, potpuno nepotrebna ako bi mehanizam vašeg raketnog broda bio takav da vam omogući da putujete skoro brzinom svetlosti. I ustvari ako biste se vi, naprimer, kretali brzinom od 99,999999999 brzine svetlosti, vaš časovnik, vaše srce, pluća, varenje, vaši umni procesi bili bi usporeni faktorom od 70.0000. Osamnaest godina (potrebnih s gledišta onih koji ostaju na Zemlji da pređete razdaljinu od Zemlje do Sirijusa i nazad) izgledale bi vam kao nekoliko sati. I zaista kad biste pošli za Zemlje odmah posle doručka, vi biste stigli na jednu od Sirijusovih planeta tačno za ručak. Ako vam se žuri, pa pođete kući odmah posle ručka, vi ćete se, sasvim verovatno, vratiti na Zemlju na vreme za večeru. Ali tu vas čeka jedno ogromno iznenađenje ukoliko ste zaboravili zakone teorije relativiteta: po povratku kući otkrićete da su vas vaši prijatelji i rodbina već prežalili kao iščezlog u međuzvezdanom prostoru i da su već pojeli 6750 večera bez vas! Pošto ste putovali brzinom koja je vrlo blizu brzine svetlosti, osamnaest zemaljskih godina izgledale su vam dugačke svega jedan dan.

A šta će biti ako pokušate da se krećete brže od svetlosti? Odgovor na ovo pitanje može se delimično naći u jednoj drugoj relativističkoj pesmici:

Bila jednom lepota devojka
Što hitrije neg' svetlosti let
Prelete širom poznati svet.
Al' gle sad čudnog jada,
Kući se vrati k'o beba mlada!

Očevidno je: ako brzine koje se približuju brzini svetlosti prouzrokuju da vreme u jednom sistemu kretanja teče sporije, onda će brzina veća od brzine svetlosti prouzrokovati da vreme teče unazad. Pored toga će, usled promene algebarskog znaka pod Pitagorinim korenom, vremenska koordinata postati realna i na taj način će obeležiti razdaljinu u prostoru isto kao što će sve dužine u sistemu gde je brzina veća od brzine svetlosti proći kroz nulu i postati imaginarne, pretvarajući se time u vremenske intervale.

Kad bi sve ovo bilo moguće, onda bi slika 33 koja nam prikazuje Ajnštajna kako pretvara jedan metar u budilnik odgovarala stvarnosti ukoliko bi se za vreme te priredbe on kretao brzinom većom od brzine svetlosti.

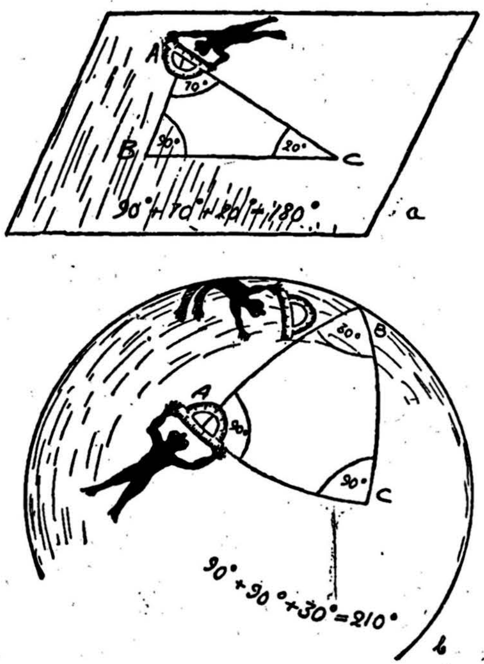
Ali ma koliko bio **šašav** fizički svet, on ipak nije **toliko** šašav, i očigledna nemogućnost da se vrše takvi magiski tri-

kovi može se jednostavno podvesti pod pravilo da se nijedno materijalno telo ne može kretati brzinom jednakom brzini svetlosti ili većom od nje.

Fizička osnova ovog temeljnog zakona prirode leži u činjenici, dokazanoj bezbrojnim neposrednim eksperimentima, da se tzv. **inercijalna masa tela u kretanju, koja izražava njihov mehanički otpor daljem ubrzanju, povećava iznad svake granice kad se brzina kretanja približuje brzini svetlosti.** Tako, naprimer, kad bi se jedan kuršum iz revolvera kretao brzinom od 99,999999999% brzine svetlosti, njegov otpor daljem ubrzanju bio bi ekvivalentan otporu jedne granate od 25 cm. A pri brzini od 99,99999999999999% brzine svetlosti naš mali kuršum imao bi isti inercijalni otpor kao jedan teško natovareni teretni vagon. Bez obzira na to koliko napora mi uložili u odnosu na naš kuršum, nikad nećemo moći da savladamo ovaj poslednji decimal i da damo kuršumu brzinu jednaku gornjoj granici brzine za sva kretanja u vasioni!

3. Krivi prostor i zagonetka gravitacije

S izvinjenjem i žaljenjem pozivamo sad našeg jednog čitaoca, koji se u toku čitanja ovih poslednjih 17 stranica morao da oseća kao da se sapliće o sve četiri koordinatne ose, da pođe u šetnju po **krivom prostoru.** Svako zna šta je to kriva linija ili kriva površina. Ali šta može da znači izraz »krivi prostor«? Teškoća u zamišljanju takve pojave leži ne toliko u neobičnosti samoga pojma koliko u činjenici da dok mi možemo da gledamo na krive linije i krive površine spolja, krivina trodimenzionalnog prostora mora se posmatrati **iznutra** pošto mi živimo u tom prostoru. U pokušaju da razumemo kako jedno trodimenzionalno ljudsko biće može da shvati krivinu prostora u kome živi, razmotrimo prvo hipotetičko stanje dvodimenzionalnih stvorenja koja žive na jednoj površini. Na slici 39a i 39b mi vidimo naučnika ravnog i krivog (sferičnog) »površinskog sveta« kako izučavaju geometriju svojih dvodimenzionalnih prostora. Najjednostavnija geometriska figura za izučavanje je, kao što je poznato, trougao, tj. figura koju obrazuju tri prave koje spajaju tri geometriske tačke. Kao što će se svako setiti iz gimnaziske geometrije, zbir tri ugla makog trougla nacrtanog na ravni uvek je jednak 180 stepeni. Lako se, međutim, uveriti da gornji teorem ne važi za trouglove nacrtane na površini sfere. I zaista, jedan sferični trougao, formiran od delova dvaju geografskih meridijana koji polaze sa pola i delom uporednika — opet u geografskom smislu — koji ih seče, ima dva



Sl. 39 — Dvodimenzionalni naučnici ravnog i krivog »površinskog sveta« proveravaju Euklidov teorem o sumi uglova trougla

prava ugla na svojoj osnovi i može da ima makakav ugao između 0^0 i 360^0 pri vrhu. U konkretnom slučaju koji ispituju dva pljosnata naučnika na slici 39b, zbir tri ugla iznosi 210 stepeni. Vidimo da naučnici-senke mogu na taj način merenjem geometriskih figura u svom dvodimenzionalnom svetu da otkriju njegovu krivinu, nemajući potrebe da svoj prostor posmatraju spolja.

Primenom gornjih posmatranja na svet koji ima jednu dimenziju više, doći ćemo do zaključka da **naši naučnici koji**

žive u trodimenzionalnom prostoru mogu da utvrde krivinu svoga prostora ne odlazeći u četvrtu dimenziju, prosto merenjem uglova između pravih koje vezuju tri tačke u našem prostoru. Ako je zbir triju uglova jednak 180^0 prostor je ravan, ako nije, mora biti kriv.

Ali pre nego što iznesemo dalje argumente, moramo do u detalje raspraviti pitanje šta podrazumevamo pod pojmom **prava linija.** Posmatrajući dva trougla na slikama 39a i 39b, čitalac će možda reći da su strane trougla na ravni (sl. 39) zaista prave linije, dok su strane trougla na sferi (sl. 39). krive, pošto su to segmenti velikih krugova na sferičnoj površini[7]).

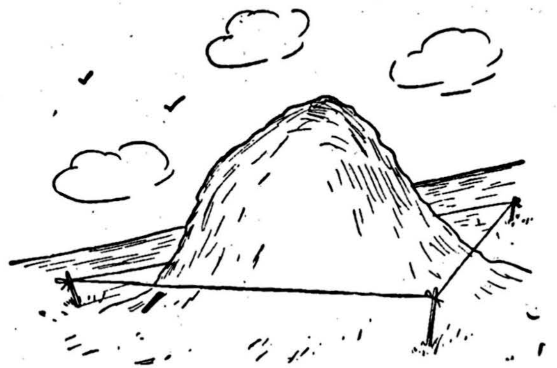
Takva tvrdnja zasnovana na našim običnim geometriskim pojmovima, poricala bi dvodimenzionalnim naučnicima svaku mogućnost da razviju geometriju svog dvodimenzionalnog prostora. Pojam prave linije iziskuje jednu opštu matematičku definiciju koja će važiti ne samo za Euklidovu geometriju, već koja će se tako proširiti da uključi linije na površinama i u komplikovanijim prostorima. Takva generalizacija može se dobiti ako definišemo **»pravu liniju« kao liniju koja pretstavlja najmanju razdaljinu između dve tačke, saobražujući se površini ili prostoru u kome je povučena.** U geometriji ravni gornja definicija se podudara, razume se, sa uobičajenim pojmom prave linije, dok u komplikovanijim slučajevima krivih površina dovodi do precizno definisane porodice linija, koje ovde igraju istu ulogu kao »prave linije« u geometriji Euklida. Da bismo izbegli nesporazum, linije koje pretstavljaju najkraću razdaljinu na krivim površinama zovu se obično **geodetske linije** ili **geodetike** jer je ovaj pojam prvo uveden u geodeziji tj. nauci o merenjima na površini zemlje. I doista, kad govorimo o pravoj liniji između Njujorka i San Franciska, mi mislimo »pravo kao što ptica leti« sledeći krivu površinu Zemlje, a ne na pravac koji bi označila jedna ogromna rudarska bušilica koja bi prodirala pravo kroz telo Zemlje.

Gornja definicija »uopštene prave« ili »geodetike« kao najkraće razdaljine između dve tačke sugerira kao fizički metod konstrukcije takvih linija prosto zatezanje jednoga konca između dve date tačke. Ako to uradite na jednoj ravni, dobićete uobičajenu pravu. Ako to učinite na sferi, vide-

[7]) Veliki krugovi su krugovi koje seče na površini sfere jedna ravan koja prolazi kroz centar sfere. Ekvator i meridijani su takvi veliki krugovi.

ćete da se konac proteže duž luka velikog kruga što odgovara geodetici jedne sferične površine.

Na sličan način bilo bi moguće utvrditi da li je trodimenzionalni prostor u kome živimo ravan ili kriv. Sve što je potrebno to je da se rastegne konac između tri tačke u prostoru i da se izmeri da li je ili nije zbir tako formiranih uglova jednak 180^0. Smišljajući takav eksperimenat, moramo, međutim, imati na umu dve stvari. Neophodno je da se taj eksperimenat izvrši u velikim razmerama pošto mali deo krive površine ili prostora može da nam izgleda kao sasvim ravan; očevidno mi ne možemo da utvrdimo krivinu zemaljske površine merenjem izvršenim u našem dvorištu.

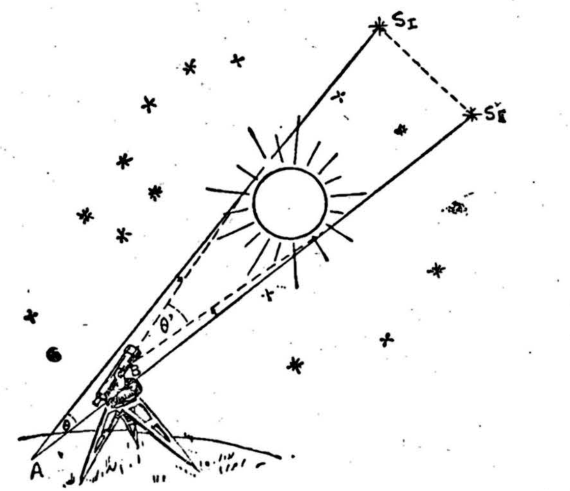


Sl. 40 a — Merenje iskrivljenog prostora

Dalje, prostor ili površina može da bude ravan na izvesnim područjima, a iskrivljen na drugima, tako da je neophodno izvršiti jedno potpuno ispitivanje.

Velika ideja koju je Ajnštajn uključio u svoju opštu teoriju krivoga prostora sastoji se u pretpostavci da se **fizički prostor iskrivljuje u blizini velikih masa.** Što su veće mase to je veća krivina. Pokušavajući da proverimo tu hipotezu eksperimentima, mi bismo mogli da vežemo konac za tri koca pobodena u zemlju oko nekog lepog brda (sl. 40a), pa da izmerimo uglove između konaca na trima tačkama gde se seku. Uzmite najveće brdo koje možete da nađete — uključivši tu i Himalaje — i vi ćete naći, kad eliminišete sve moguće izvore grešaka u vašim merenjima, da će

zbir tri ugla koje konci obrazuju biti jednak 180^0. Ovaj rezultat ipak ne bi značio da Ajnštajn nema pravo, i da velike mase ne iskrivljuju prostor oko sebe. Može biti da čak i Himalaji ne iskrivljuju prostor oko sebe u toj meri da bi se to moglo utvrditi čak i našim najpreciznijim instrumentima. Dovoljno je da se setite šta se dogodilo Galileu kad je pokušao da meri brzinu svetlosti pomoću svoga fenjera sa poklopcem (sl. 31).



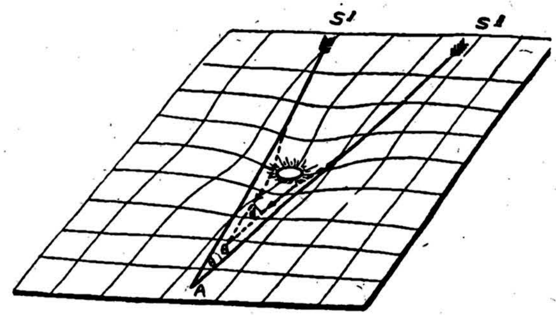
Sl. 40 b — Merenje uglova stvorenih snopom svetlosti

I zato ne treba da se obeshrabrite, već treba da pokušate sa još većom masom, naprimer Suncem.

I eto tu ćete doći do rezultata. Ako rastegnete konac sa neke tačke na Zemlji do neke zvezde, zatim do jedne druge zvezde, a onda nazad na polaznu tačku na Zemlji, birajući zvezde tako da se Sunce nalazi u trouglu koji sačinjavaju konci, utvrdićete da će se zbir triju uglova znatno razlikovati od onog od 180^0. Ako nemate konca dovoljno dugačkog za ovaj eksperimenat, zamenite konac jednim zrakom svetlosti, koji je isto tako dobar pošto nas optika uči da svetlost uvek ide **najkraćim mogućim putem.**

Takav eksperimenat u merenju uglova pomoću snopova svetlosti shematski je prikazan na slici 40b. Svetlosni zraci dveju zvezda S_1 i S_2 koje se nalaze u momentu posmatranja na suprotnim stranama sunčanoga koluta konvergiraju u jedan teodolit, koji meri ugao između njih. Eksperimenat se zatim ponavlja kad nema više Sunca između zvezda i teodolita, i upoređuju se ta dva ugla. Ako su ova dva ugla različita, imamo dokaz da sunčeva masa menja krivinu prostora oko sebe i na taj način iskrivljuje prvobitnu putanju svetlosti. Ajnštajn je sugerirao jedan takav eksperimenat da bi se proverila njegova teorija. Čitalac će malo bolje razumeti situaciju ako je uporedi sa dvodimenzionalnom analogijom prikazanom na sl. 41.

Očevidno je da bi pod redovnim uslovima postojala jedna praktična teškoća da se sprovede Ajnštajnov predlog:



Sl. 41 — Dvodimenzionalna analogija Ajnštajnove teorije iskrivljenog prostora

usled jake svetlosti sunčeve lopte, vi ne biste mogli da vidite zvezde oko nje. Ali za vreme punog pomračenja Sunca zvezde se jasno vide preko dana. Koristeći tu okolnost, ovaj eksperimenat je 1919 godine izvršila jedna britanska astronomska ekspedicija na Prinčevskim Ostrvima (Zapadna Afrika), pošto se te godine puno pomračenje Sunca moglo najbolje posmatrati s tog mesta. Utvrđeno je da razlika u ugaonim razdaljinama između dveju zvezda, onda kada je Sunce između njih i kada nije, iznosi 1,61" ± 0,30", dok je Ajnštajnova teorija predvidela 1,75. Docnije su druge ekspedicije dobile slične rezultate.

Razume se, jedan i po sekund ugaonog merenja nije veliki ugao, ali je dovoljan da dokaže da masa Sunca iskrivljuje prostor oko sebe.

Ako bismo na mesto Sunca mogli da upotrebimo mnogo veću zvezdu, Euklidov teorem o zbiru uglova jednog trougla pokazao bi se pogrešan za minute i čak stepene.

Potrebno je izvesno vreme i puno mašte da se čovek navikne na pojam krivog trodimenzionalnog prostora posmatranog od strane jednog posmatrača koji se nalazi unutar tog prostora. Ali kad vam to jedanput pođe za rukom, biće vam jasan i određen taj pojam kao makoji pojam klasične geometrije.

Sad je potrebno da izvršimo samo još jedan važan korak da bismo potpuno razumeli Ajnštajnovu teoriju krivoga prostora i njen odnos prema osnovnom problemu opšte gravitacije. Da bismo ovo učinili, moramo zapamtiti da trodimenzionalni prostor o kome smo diskutovali pretstavlja samo deo četvorodimenzionalnog prostor—vreme sveta koji služi kao pozadina za sve fizičke pojave. Na taj način krivina samog prostora mora biti odraz opšte četvorodimenzionalne krivine prostor—vreme sveta, a **četvorodimenzionalne svetske linije, koje pretstavljaju kretanje svetlosnih zrakova i materijalnih predmeta u ovome svetu, moraju biti posmatrane kao krive linije u ovom super prostoru.**

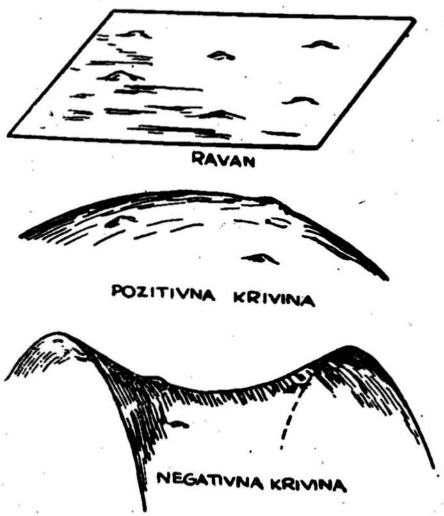
Ispitujući čitavu stvar s ove tačke gledišta Ajnštajn je došao do značajnog zaključka da **pojava gravitacije nije ništa drugo do efekat krivine četvorodimenzionalnoga prostor-vreme sveta.** I tako, sad možemo da odbacimo kao neadekvatnu staru tvrdnju da Sunce izvesnom snagom deluje direktno na planete usled čega one vrše kružno kretanje oko Sunca. Bilo bi mnogo tačnije da kažemo da sunčana masa iskrivljuje vreme-prostor svet oko sebe i da svetske linije planeta izgledaju onako kao na slici 30 samo zato jer pretstavljaju geodetske linije koje se kreću kroz krivi prostor.

Na taj način pojam gravitacije kao nezavisne sile potpuno iščezava iz našeg razmišljanja, a zamenjuju ga pojmovi čiste geometrije prostora u kome se svi materijalni predmeti kreću po »najpravijim linijama« ili geodetikama, sledeći krivinu prouzrokovanu prisustvom velikih masa.

4. Zatvoreni i otvoreni prostori.

Ne možemo zaključiti ovo poglavlje bez kratkog osvrta na jedan drugi važan problem Ajnštajnove geometrije prostor-vremena: dilemu o konačnoj ili beskonačnoj vasioni.

Dosada smo raspravljali o mestimičnim krivinama prostora u blizini velikih masa, o nekoj vrsti »prostornih bubuljica« koje su razasute po ogromnom licu vasione. Ali ostavimo li po strani ova lokalna iskrivljavanja, postavlja se pitanje da li je lice vasione ravno ili krivo; ako je krivo, na koji način? Na slici 42 mi dajemo dvodimenzionalnu ilustraciju ravnog prostora sa »bubuljicama« i dve moguće vrste krivih prostora. Tzv. »pozitivno krivi« prostor odgovara površini sfere ili makoje druge zatvorene geometriske figure, i krivi se »u istom smeru« bez obzira na pravac. Suprotni tip — »negativno krivi« prostor — krivi se nagore



Sl. 42 — Ravan prostor i iskrivljeni prostor

u jednom pravcu, a nadole u drugom pravcu i liči na krivinu sedla. Razlika između ova dva tipa krivine može se jasno uočiti ako isečete dva komada kože, jedan iz nekog fudbala, drugi iz kakvog sedla, i ako pokušate da ih izravnate na jednom stolu. Primetićete da se nijedan od ovih komada ne može ispraviti bez rastezanja ili skupljanja. Ali dok se ivica komada od fudbala mora rastegnuti, ivica komada sedla mora se skupiti. Komad kože od fudbala nema dovoljno materijala oko centra da bi se mogao izravnati, a

komad kože od sedla ima premnogo, pa se nabira kad god pokušamo da ga izravnamo.

Sve ovo možemo pretstaviti još na jedan način. Pretpostavimo da brojimo bubuljice koje se nalaze udaljene jedan, dva ili tri cm. od izvesne tačke na površini. Na ravnoj, neiskrivljenoj površini broj bubuljica rašće s kvadratom razdaljine, tj. kao jedan, 4, 9, itd. Na sferičnoj površini broj bubuljica rašće sporije a na »sedlastoj površini« rašće brže. Na taj način dvodimenzionalni naučnici koji žive kao sastavni deo površine, što znači da nemaju nikakve mogućnosti da je posmatraju spolja da bi primetili njen oblik, ipak će biti u stanju da otkriju krivinu brojanjem bubuljica koje spadaju u krugove raznih poluprečnika. Takođe se može primetiti da se razlika između pozitivne i negativne krivine ispoljava i pri merenju uglova odgovarajućih trouglova. Kao što smo videli u pređašnjem odeljku zbir uglova u trouglu nacrtanom na površini sfere uvek je veći od 180°. Ako pokušate da nacrtate trougao na sedlastoj površini videćete da je zbir uglova uvek manji od 180°.

Gornji rezultati dobiveni za krive površine mogu biti generalisani za trodimenzionalne krive prostore na način kako to pokazuje sledeća tabela:

Tip prostora	Ponašanje na velikoj razdaljini	Zbir uglova u trouglu	Zapremina sfere raste
Pozitivno iskrivljeni (analog sfere)	Zatvara se sam u sebe	$>180^0$	Sporije od kuba poluprečn.
Ravan (analog ravni)	Prostire se u beskonačnost	$=180^0$	Kao kub poluprečnika
Negativno iskrivljen (analog sedla)	Prostire se u beskonačno	$<180^0$	Brže od kuba poluprečnika

Ovu tabelu možemo koristiti da bismo došli do praktičnog odgovora na pitanje da li je prostor u kome živimo konačan ili beskonačan. A to je pitanje o kome se diskutuje u desetom poglavlju, gde se razmatra veličina vasione.

DEO III

MIKROKOSMOS

Poglavlje VI

SILAZNO STEPENIŠTE

1) Grčka ideja

Pri analizi svojstava materijalnih tela treba poći od nekih poznatih predmeta »normalne veličine«, pa ići korak po korak u njihovu unutarnju strukturu gde se nalaze, sakriveni od ljudskog oka, konačni uzroci svih materijalnih svojstava. Stoga počnimo naše razmatranje s činijom papazjanije na našem stolu u trpezariji. Izabrali smo papazjaniju ne toliko što je hranljiva i ukusna, koliko zato što pretstavlja jedan lep primer onog što se naziva **heterogeni** materijal. I bez mikroskopa možete da vidite da se sastoji iz velikog broja raznih sastojaka: malih komada mesa, komadića luka, paradajsa, komadića krompira, bibera, grumuljica masti, sve dobro izmešano u rastvoru slane vode.

Najveći broj supstanci, naročito organskih, koje susrećemo u običnom životu heterogene su iako nam je u mnogim slučajevima potreban mikroskop da bismo to uvideli. Čak i mali stepen povećavanja pokazaće vam, naprimer, da mleko nije ništa drugo do fina emulzija formirana od kapljica putera razmućenih u beličastoj tečnosti.

Zemlja u vašoj bašti je fina mešavina mikroskopskih čestica krečnjaka, kaolina, kvarca, oksida gvožđa i drugih minerala i soli pomešanih sa raznim organskim supstancama koje su nastale raspadanjem biljne i životinjske materije. Uglačamo li površinu kakve granitne stene, odmah ćemo vi-

deti da se ovaj kamen sastoji iz malih kristalića triju raznih supstanci (kvarca, feldspata i liskuna) čvrsto slepljenih zajedno u tvrdo telo.

U našem izučavanju unutarnje strukture materije sastav heterogenih materija pretstavlja prvi stepenik ili, bolje rečeno, gornje odmorište naših silaznih stepenica. U svakom takvom slučaju mi možemo da nastavimo s direktnim ispitivanjem individualnih homogenih sastojaka te mešavine. Kod stvarno homogenih supstanci kao što su komad bakarne žice, čaša vode ili vazduh kojim je ispunjena soba (razume se ako izostavimo prašinu koja lebdi u vazduhu) nikakvo nam ispitivanje neće pokazati ni najmanji trag sastavnih delova, a materijal će nam izgledati kao da je skroz neprekidan. Ustvari, u slučaju bakarne žice kao i u slučaju skoro svakog čvrstog tela — izuzev onih koja se sastoje iz staklenastih materijala koji ne kristališu — jako uveličavanje uvek će pokazati tzv. mikrokristalnu strukturu. Ali odvojeni kristali koje vidimo u homogenim materijalima uvek su iste prirode — kristali bakra u bakarnoj žici, kristali aluminijuma u aluminijumskim loncima itd. — isto kao što ćemo i u pregršti kuhinjske soli naći samo kristale natrium hlorida. Pomoću specijalne tehnike (»spore kristalizacije«) možemo da povećamo veličinu kristala soli, bakra, aluminijuma ili makoje druge homogene supstance do željene veličine i komad takve »monokristalne supstance« biće skroz homogen kao voda ili staklo. Da li je opravdano da na osnovu ovih posmatranja, kako golim okom tako i najboljim mogućim mikroskopom, pretpostavimo da će supstance koje nazivamo homogenim izgledati potpuno istovetne, ma koliki stepen povećavanja mi koristili? Drugim rečima, možemo li verovati da će bakar, so, voda i u ma kako malim količinama uvek imati ista svojstva kao i u velikim količinama i da ćemo ih uvek moći da delimo na još manje delove?

Čovek koji je prvi formulisao ovo pitanje i pokušao da odgovori na njega je grčki filozof Demokrit, koji je živeo u Atini pre oko dvadeset tri veka. Njegov odgovor na ovo pitanje bio je negativan. On je bio sklon da veruje da se bez obzira na to koliko homogena jedna supstanca izgledala, ipak mora smatrati da se ona sastoji iz velikog broja (kolikog, on nije znao) odvojenih sitnih čestica (koliko sitnih, takođe nije znao). Tim česticama on je dao naziv »atomi« ili »nedeljivi«. Ovi su se »atomi« razlikovali po količini u kojoj su se nalazili u raznim supstancama, ali njihove razlike po kvalitetu bile su samo prividne, a ne stvarne. Atomi vatre i vode bili su ustvari istovetni, razlikujući se samo po obliku. Doista, po njemu se materijali sastoje od istih večnih atoma.

Nešto drukčije od ovoga gledišta bilo je shvatanje Empedokla, savremenika Demokritovog. On je verovao da postoji nekoliko različitih vrsta atoma, koji, izmešani u raznim odnosima, sačinjavaju svu množinu raznih supstanci.

Razmišljajući na osnovu rudimentarnih činjenica tadašnje hemije, Empedokle je priznavao četiri različite vrste atoma koji odgovaraju ovim tobožnjim elementarnim supstancama: kamenu, vodi, vazduhu i vatri.

Prema ovim gledištima, zemlja se sastoji iz kombinacije kamenih i vodenih atoma međusobno izmešanih — što bolja mešavina to bolja zemlja. Biljka koja raste iz zemlje kombinuje atome kamena i vode sa atomima vatre koji su dolazili iz sunčevih zrakova da bi se napravili složeni molekuli drvne materije. Sagorevanje suvog drveta, iz koga je nestalo vodenog elementa, smatralo se kao raspadanje ili razaranje drvnih molekula u prvobitne atome vatre, koji odlaze kroz plamen, i atome kamena, koji ostaju u pepelu.

Sada nam je poznato da je ovo tumačenje rašćenja biljki i sagorevanja drveta, koje je moralo biti izgledalo sasvim logično u ono rano doba detinjstva nauke, ustvari pogrešno. Mi znamo da biljke uzimaju veći deo materijala za porast svojih tela ne iz zemlje, kao što su to verovali u starini i kao što i vi možda verujete ako vam niko nije ništa drugo rekao, već iz vazduha. Sama, pak, zemlja, sem što služi kao oslonac za biljku dok raste i što deluje kao rezervoar u kome se nalazi voda potrebna biljci, doprinosi samo jedan mali deo izvesnih soli neophodnih za porast biljke. Stoga je i moguće odnegovati vrlo veliku biljku kukuruza sa količinom zemlje koju možete da stavite u jedan naprstak.

Tajna je u tome što atmosferski vazduh, koji pretstavlja mešavinu azota i kiseonika — a nije jednostavni elemenat kao što se to verovalo nekad — sadrži takođe izvesnu količinu ugljendioksida, čiji se molekuli sastoje iz atoma kiseonika i atoma ugljenika. Usled dejstva sunčane svetlosti, zeleni listovi biljke apsorbuju atmosferski ugljendioksid, a njegove reakcije sa vodom koju biljka upija kroz korenje daju razne organske sastojke za izgradnju biljnog tela. Kiseonik

se delimično vraća u atmosferu, i taj proces prouzrokuje pojavu da nam biljka u sobi »osvežava vazduh«.

Kad drvo gori, molekuli drvne materije sjedinjuju se ponovo sa kiseonikom iz vazduha, opet se pretvaraju u ugljendioksid i vodenu paru koja odlazi kroz vrući plamen.

Što se tiče »atoma vatre«, za koje se u starini verovalo da ulaze u materijalnu strukturu biljke, oni uopšte ne postoje. Sunčana svetlost daje samo **energiju** potrebnu da bi se razbili molekuli ugljendioksida, delujući tako da ova atmosferska hrana postane svarljivom za biljku koja raste. A pošto atomi vatre ne postoje, to se ni vatra očevidno ne može objasniti njihovim »bežanjem«. Plamen nije ništa drugo već struja ugrejanih gasova koji su postali vidljivi usled energije oslobođene u tom procesu.

Uzmimo jedan drugi primer koji ilustruje slične razlike u gledištima između starog i modernog gledanja na hemiske transformacije. Vi znate da se razni metali dobijaju iz ruda na taj način što ove bivaju podvrgnute visokim temperaturama u visokim pećima. Većina se ruda na prvi pogled ne razlikuje mnogo od običnih stena, pa nije ni čudo što su naučnici u starini verovali da se rude sastoje od iste »kamene materije« kao makoja druga stena. Ipak, kad su stavili jedan komad gvozdene rude u jaku vatru, otkrili su da se iz nje dobija nešto sasvim različito nego iz obične stene — jedna tako sjajna supstanca od koje se mogu praviti dobri noževi i vrhovi kopalja. Najjednostavniji način da se ova pojava rastumači bio je da se kaže da se metal obrazuje sjedinjenjem kamena i vatre, ili, drugim rečima, da molekuli metala pretstavljaju kombinaciju atoma kamena i vatre.

Pošto su na taj način rastumačili metal uopšte, oni su različita svojstva pojedinih metala — gvožđa, bakra i zlata — tumačili govoreći da u svakom od njih postoje atomi kamena i vatre u različitim odnosima. Nije li očigledno da sjajno zlato sadrži više vatre nego tamnije, sivo gvožđe?

Ako je to tako, zašto ne dodati vatre gvožđu, ili još bolje bakru, i na taj način ga pretvoriti u skupoceno zlato. Ubeđeni u to, praktični alhemičari srednjega veka provodili su dobar deo svog života nad zadimljenim pećima pokušavajući da prave »sintetičko zlato« iz jevtinih metala.

S njihove tačke gledišta njihov rad je bio isto toliko logičan kao i rad modernog hemičara koji stvara metod za proizvodnju sintetičke gume. Osnovna greška njihove teorije i prakse leži u njihovom uverenju da su zlato i drugi metali složene, a ne elementarne supstance. Ali kako će neko da zna, ukoliko ne proba, koja je supstanca elementarna a koja je složena? Da nije bilo ovih uzaludnih pokušaja ranih hemičara da pretvore gvožđe ili bakar u zlato ili srebro, mi nikada ne bismo naučili da su metali elementarne hemiske supstance, a da su metalne rude složena tela koja se sastoje iz kombinacija atoma metala i kiseonika — metaloksida kako bi to rekao moderni hemičar.

Pretvaranje gvozdene rude u metalno gvožđe pod dejstvom žestoke vatre kakve visoke peći, ne pretstavlja jedinjenje atoma (atoma kamena i vatre) kao što su to verovali stari alhemičari, već je to, nasuprot, rezultat odvajanja atoma, tj. odvajanja atoma kiseonika iz složenih molekula oksida gvožđa. Rđa koja se pojavljuje na površini gvozdenih predmeta izloženih vlazi ne sastoji se iz atoma kamena koji ostaju kad atomi vatre iščeznu prilikom razlaganja gvozdene materije. Rđa se stvara obrazovanjem složenih molekula oksida gvožđa u procesu jedinjenja atoma gvožđa i atoma kiseonika iz vazduha ili vode.[1])

Na osnovu gornjeg razmatranja vidi se da su shvatanja starih naučnika o unutarnjoj strukturi materije i prirodi hemiske transformacije bila u osnovi pravilna. Njihova zabluda sastojala se u pogrešnom shvatanju pojma elementa. I zaista nijedna od četiri vrste materija koje je Empedokle nazvao elementima ustvari nije elemenat: vazduh je mešavina nekoliko raznih gasova; molekuli vode se sastoje iz atoma vodonika i kiseonika; stene imaju vrlo složen sastav uključujući

[1]) I tako dok bi alhemičar opisao tehnološki proces topljenja rude pomoću formule:

$$\underbrace{(\text{atom kamena}) + (\text{atom vatre})}_{\text{ruda}} \rightarrow (\text{molekul gvožđa})$$

a rđanje gvožđa:

$$(\text{molekul gvožđa} \rightarrow \underbrace{(\text{atomi kamena})}_{\text{rđa}} + (\text{atomi vatre})$$

mi bismo za te iste procese napisali:

$$(\text{molekul oksida gvožđa}) \rightarrow (\text{atomi gvožđa}) + (\text{atomi kiseonika})$$

gvozdena ruda

i

$$(\text{atomi gvožđa}) + (\text{atomi kiseonika}) \quad \underbrace{(\text{molekul oksida gvožđa})}_{\text{rđa}}$$

i mnoštvo raznih elemenata; i konačno, atomi vatre uopšte ne postoje.[2])

Ustvari, u prirodi postoje ne četiri već 92 vrste hemiskih elemenata, tj. 92 različite vrste atoma. Neki od ova 92 elementa, kao kiseonik, ugljenik, gvožđe i silicijum (glavni sastojci većine stena) prilično su rasprostranjeni po zemlji i svi znaju za njih; drugi elementi su vrlo retki. Vi verovatno nikad niste čuli o takvim elementima kao što su: prazeodijum, disprozijum ili lantan. Pored prirodnih elemenata moderna nauka je uspela da veštački napravi nekoliko potpuno novih hemiskih elemenata, o kojima ćemo govoriti malo docnije u knjizi. Jedan od tih elemenata, nazvan **plutonijum**, igraće važnu ulogu u oslobođenju energije iz jezgra atoma kako u ratne tako i mirnodopske svrhe. Kombinujući se u međusobno različitim proporcijama, atomi 92 osnovna elementa čine neograničeni broj raznih kompleksnih hemiskih materija, kao što su voda, puter, nafta i zemlja, kosti i korenje, čaj i T.N.T, i mnoge druge supstance kao: trifenil, propiliumhlorid i metilizopropilcikloheksan, izraze koje jedan dobar hemičar treba da zna napamet, ali koje većina ljudi čak ne bi ni pokušala da izusti, a da ne zastane dva-tri puta. I desetine knjiga, hemiskih priručnika, objavljuje se takoreći svakodnevno da bi se sumirala svojstva, metodi spravljanja, itd. ovog neograničenog niza atomskih kombinacija.

2. Koliki su atomi?

Kad su Demokrit i Empedokle govorili o atomima, oni su uglavnom zasnivali svoje dokaze na maglovitim filozofskim idejama o nemogućnosti da se zamisli proces po kome bi se materija delila na sve manje i manje komadiće a da se nikad ne dođe na jedan nedeljiv komadić.

Kad moderni hemičar govori o atomima, on pod tim podrazumeva nešto mnogo određenije, jer je precizno znanje elementarnih atoma i njihove kombinacije u složenim molekulima neophodno da bi se razumeo osnovni zakon hemije prema kome se razni hemiski elementi sjedinjuju samo u tačno određenim srazmerama po težini, srazmerama koje treba da odražavaju relativne težine atoma ovih supstanci. Na taj na-

[2]) Kao što ćemo videti docnije u ovom poglavlju, ideja atoma vatre delimično je obnovljena u teoriji kvanta svetlosti.

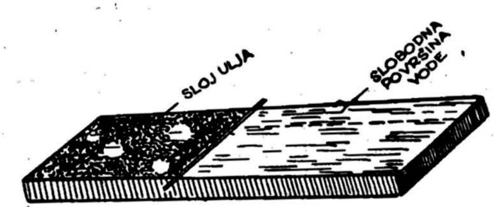
čin hemičar zaključuje naprimer da atomi kiseonika, aluminijuma i gvožđa moraju biti šesnaest, dvadeset sedam, odnosno pedeset šest puta teži od atoma vodonika. Ali dok **relativna atomska težina** raznih elemenata pretstavlja najvažniji podatak osnovnog hemiskog znanja, stvarne težine atoma, izražene u gramima, nemaju nikakve važnosti za rad hemičara. Poznavanje ovih tačnih težina neće imati nikakvog efekta u odnosu na druge hemiske činjenice ili primenu zakona i metoda hemije.

Međutim, kad jedan fizičar posmatra atome, on će prvo postaviti pitanje: »Kolika je stvarna veličina atoma izražena u santimetrima, koliko grama oni teže i koliko atoma ili molekula ima u jednoj određenoj količini materije? Postoji li ikakav način da se atomi posmatraju, da se prebrojavaju ili da se rukuje atomima i molekulima pojedinačno?«

Ima mnogo načina da se proceni veličina atoma i molekula, a najjednostavniji od tih načina je **tako** jednostavan da su Demokrit i Empedokle mogli da se njim posluže bez ikakvog modernog laboratoriskog uređaja da su ga se setili. Ako je atom najmanja jedinica u sastavu nekog predmeta, recimo bakarne žice, očevidno je nemoguće da se od ovog materijala napravi list tanji od prečnika takvog atoma. Prema tome, mi možemo da rastežemo bakarnu žicu sve dok ona najzad ne bude pretstavljala lanac pojedinačnih atoma, ili je možemo čekićem tanjiti sve dok ne dobijemo list bakra debeo jedan atomski prečnik. Ovaj eksperimenat je skoro nemoguće izvesti s bakrenom žicom ili ma kojim drugim čvrstim predmetom, jer će se predmet svakako slomiti pre nego što dostignemo željenu minimalnu debljinu. Ali tečna materija, takva kao što je tanak sloj ulja na površini vode, može se lako proširiti u jedan sloj koji se sastoji samo iz jednog, da se tako izrazimo, filma molekula, tj. sloja u kome su »pojedini« molekuli povezani jedni s drugim horizontalno, a u kome nemamo vertikalnog gomilanja molekula jednog na drugom. Sa strpljenjem i pažnjom čitalac može i sam da obavi ovaj eksperimenat, i da na taj način jednostavno izmeri veličinu molekula ulja.

Uzmite jedan plitak i dugačak sud (sl. 43), stavite ga na sto ili pod tako da leži potpuno vodoravno, napunite ga vodom do vrha i stavite preko njega jednu žicu koja će dodirivati površinu vode. Ako sada sa jedne strane žice kanete malu kap nekog čistog ulja, ono će se razliti preko čitave

površine vode sa one strane žice gde ste kanuli ulje. Ako sad pomerate vašu žicu po ivici suda udaljujući je od mesta gde ste kanuli ulje, sloj ulja će se širiti kako se žica pomera i postajaće sve tanji dok na kraju ne postane po debljini jednak prečniku jednog jedinog molekula ulja. Kad dođemo do te debljine, onda će svako dalje kretanje žice dovesti do cepanja neprekidne površine ulja i do obrazovanja vodenih rupa. Ako znate količinu ulja koju ste stavili na vodu i naj-



Sl. 43 — Tanki sloj ulja na površini vode cepa se kada se suviše zategne

veću površinu na koju se to ulje može rasprostrti a da se sloj ne pocepa, možete lako da izračunate prečnik jednog jedinog molekula.

Dok vršite ovaj eksperimenat, primetićete jednu drugu interesantnu pojavu. Kad kanete ulje na slobodnu površinu vode, prvo ćete primetiti dugine boje na površini ulja kao što ste to videli mnogo puta na vodi u pristaništima gde često stoje lađe. Ovo obojenje prouzrokovano je dobro poznatom pojavom interferencije svetlosti zrakova koji su reflektovani sa donje i gornje površine uljanog sloja. Razlika, pak, u boji na raznim mestima potiče od toga što uljani sloj šireći se od tačke gde ste kanuli kap, ima različitu debljinu na raznim tačkama površine. Sačekate li dok debljina sloja postane ravnomerna, čitava površina uljanog sloja dobiće istu boju. Kako sloj ulja postaje tanji, obojenje će se postepeno menjati od crvenog u žuto, od žutog u zeleno, od zelenog u plavo, od plavog u ljubičasto, saglasno smanjenju talasne dužine svetlosti. Ako nastavimo da proširujemo površinu uljanog sloja, boje će sasvim iščeznuti. To ne znači da uljani sloj ne postoji, već prosto da je njegova debljina postala manja od najmanje talasne dužine koja se može videti. I boje prosto »iščezavaju« jer ih ne možemo videti. Ali vi ćete biti ipak u stanju da razlikujete uljanu površinu od čiste površine vode, pošto će dva snopa svetlosti, jedan reflektovan od gornje, a drugi od donje površine vrlo tankog sloja, interferisati jedan s drugim tako da će biti umanjen celokupni intenzitet svetla. Na taj način, kad nestane obojenja, uljana površina će se razlikovati od čiste površine vode time što će izgledati nekako sivkasta pri reflektovanoj svetlosti.

Ako stvarno izvršite ovaj eksperimenat, vi ćete utvrditi da 1 mm^3 ulja može da pokrije 1 m^2 površine vode i da će svaki daljni pokušaj proširenja uljanog filma dovesti do stvaranja mesta na kojima uopšte nema ulja.[3])

3. Snopovi molekula

Postoji jedan drugi interesantan metod za demonstraciju molekularne strukture materije, naime: metod posmatranja isparavanja gasova i para kroz male otvore u okolni prazan prostor.

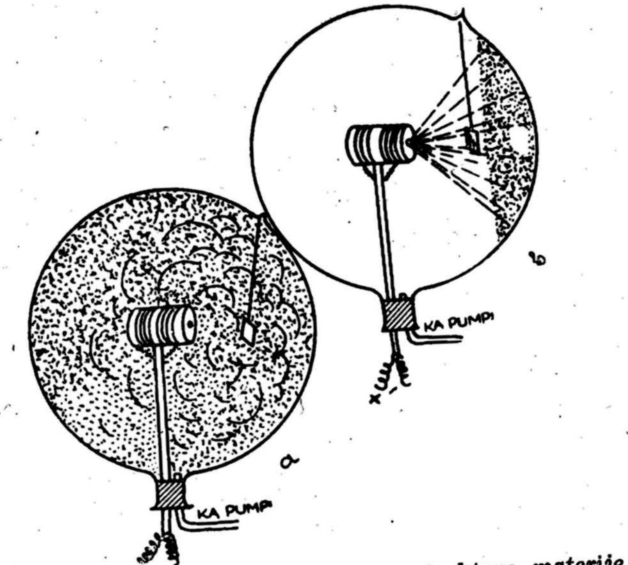
Pretpostavimo da imamo jedan veliki, dobro ispražnjen stakleni sud (sl. 44) u kome se nalazi jedna mala električna peć. Ova se peć sastoji iz jednog cilindra od gline sa malom rupicom u zidu, dok je cilindar omotan električnom žicom visokog otpora koja služi za zagrevanje. Ako u peć stavimo komadić metala koji se topi na niskoj temperaturi, naprimer natrijuma ili kalijuma, unutrašnjost cilindra napuniće se metalnom parom koja će curiti u okružavajući prostor kroz malu rupicu u zidu cilindra. Dolazeći u dodir sa hladnim zidovima staklenog suda, para će se prilepiti za njih i tanak talog koji se u vidu ogledala obrazuje na raznim delovima stakla jasno će nam pokazati način na koji materijal putuje pošto izađe iz peći.

Primetićemo, dalje, da će raspodela filma na staklu zavisiti od temperature peći. Kad je peć vrlo topla, tako da je

[3]) Koliko je, prema tome, tanak naš uljani sloj taman pre nego što se procepi? Da bismo izvršili potrebna izračunavanja, zamislimo kapljicu koja sadrži 1 mm^3 ulja kao jednu kockicu čija je strana 1 mm^2. Da bismo proširili naš prvobitni 1 mm^3 ulja na površinu od 1 m^2, površina naše uljane kocke koja je u dodiru sa vodenom površinom mora biti povećana za faktor 1.000 (od 1 mm^2 do 1 m^2). To znači da vertikalna dimenzija prvobitne kocke mora bit smanjena faktorom od $1000 \times 1000 = 10^6$ da bi celokupna zapremina ulja ostala ista. Ovo nam daje kao graničnu debljinu sloja, a prema tome i stvarnu veličinu naših molekula ulja, vrednost od 0,1 cm $\times 10^{-6} = 10^{-7}$ cm. Pošto se molekul ulja sastoji od nekoliko atoma, veličina atoma je nešto manja.

gustina metalne pare u peći vrlo velika, ova pojava će biti slična onoj koja se vidi kada para izbija iz jednog čajnika ili iz lokomotive. Izlazeći kroz otvor, para će se proširiti u svim pravcima (sl. 44a), ispunjujući čitavu zapreminu suda i taložeći se manje-više ravnomerno po čitavoj unutarnjoj površini suda.

Pri nižoj temperaturi, međutim, kad je gustina pare u peći vrlo mala, pojava se odigrava na sasvim drugi način.

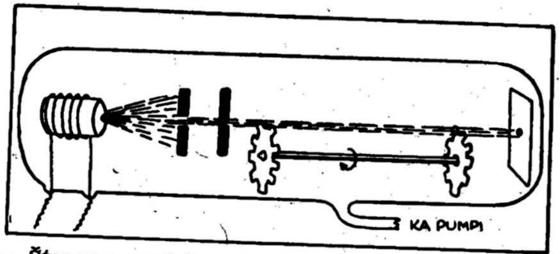


Sl. 44 — Demonstracija molekularne strukture materije

Umesto da se širi u svim pravcima, supstanca koja izbija kroz rupicu daje utisak da se kreće u pravoj liniji, i najveći deo nje se istaloži na staklenom zidu tačno nasuprot otvoru peći. Ova činjenica može se potencirati ako se ispred otvora stavi neki mali predmet (sl. 44b). Na zidu iza predmeta neće se izvršiti nikakvo taloženje, ostaće dakle jedna čista površina, koja će imati tačan oblik geometriske senke predmeta koji se nalazi ispred rupice.

Razlika u ponašanju gasova, onih koji izlaze pri visokim i onih pri niskim gustinama, može se lako razumeti ako se ima na umu da se para sastoji iz vrlo velikog broja odvojenih molekula koji se kreću kroz prostor u svim pravcima i stalno se sudaraju jedan s drugim. Kad je gustina pare velika, gas koji izlazi kroz otvor može se uporediti sa uzbuđenom masom naroda koja juri kroz izlaze jednog zapaljenog pozorišta. Pošto izlete kroz vrata, ljudi se još uvek sudaraju dok se razleću u raznim pravcima na ulici. Kad je gustina mala, međutim, to je isto kao kad kroz vrata prolazi jedna po jedna osoba, pa stoga svi mogu da idu pravo bez ikakvog guranja.

Struja materije koja pri niskoj gustini pare prolazi kroz otvor na peći zove se »snop molekula«, a obrazuje ga veliki broj slobodnih molekula koji se kreću kroz prostor jedan pored drugog. Takvi molekularni snopovi su vrlo korisni za izučavanje individualnih svojstava molekula. Oni se mogu



Sl. 45 — Šternov uređaj za izučavanje brzine snopa molekula

vrlo korisno upotrebiti, naprimer, za merenje termičkog kretanja.

Prvi uređaj za proučavanje brzine takvih molekularnih snopova konstruisao je Oto Štern (O. Stern). Taj uređaj je praktično identičan s onim što ga je Fizo upotrebio za merenje brzine svetlosti (sl. 31). Uređaj se sastoji iz dva zupčanika na zajedničkoj osovini, tako podešenoj da dozvole prolaz snopa molekula kroz njih samo onda kad je brzina rotacije zupčanika dovoljna (sl. 45). Hvatajući pomoću jedne dijafragme jedan tanak molekularni snop iz toga uređaja, Štern je uspeo da dokaže da je brzina molekularnog kretanja uglavnom vrlo visoka (1,5 km na sec. za atome natrijuma pri temperaturi od 200°C) i da brzina raste porastom temperature gasa. Ovo pretstavlja direktni dokaz kinetičke teorije toplote, po kojoj povećanje toplote jednog tela nije ništa drugo do povećanje haotičnog termalnog kretanja njegovih molekula.

4. Atomska fotografija

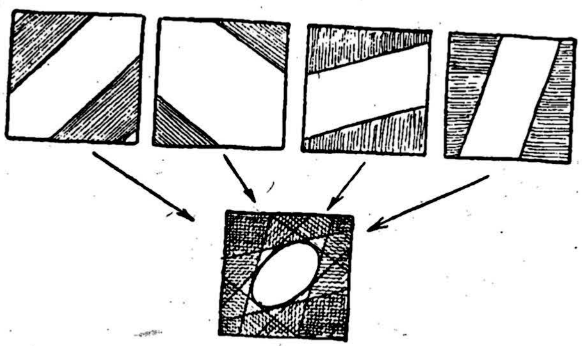
Iako napred navedeni primeri teško mogu da ostave i najmanju sumnju u ispravnost atomske hipoteze, ipak i tu važi istina da »videti znači verovati«. I zato bi najubedljiviji dokaz za postojanje atoma i molekula bio u tome da ih vidimo svojim očima. Takvu vizuelnu demonstraciju postigao je tek nedavno engleski fizičar Brag (W.L. Bragg), koji je razradio metod za dobijanje fotografije slobodnih atoma i molekula u raznim supstancama kristalne strukture.

Ali ne treba misliti, međutim, da je fotografisanje atoma lak posao, jer pri fotografisanju takvih malih predmeta treba uzeti u obzir činjenicu da će slika biti potpuno nejasna ako je talasna dužina svetlosti kojom osvetljavamo atome veća od veličine predmeta koji fotografišemo. Nemoguće je naslikati jednu persisku minijaturu sa četkom za bojenje zidova. Biolozi koji rade sa malim mikroorganizmima poznaju vrlo dobro ovu teškoću, pošto je veličina jedne bakterije (oko 0,0001 cm) približno jednaka talasnoj dužini vidljive svetlosti. Da bi poboljšali oštrinu slike, oni snimaju bakterije pomoću ultraljubičaste svetlosti, i na taj način dobijaju nešto bolje rezultate. Ali veličina molekula i njihove razdaljine u kristalnoj strukturi tako su male (0,00000001 cm) da su i vidljiva i ultravioletna svetlost potpuno beskorisne kad zamolimo molekule da sednu da ih slikamo. Da bismo mogli da vidimo izdvojene molekule, moramo da koristimo zračenje čija je talasna dužina hiljadu puta manja od vidljive svetlosti; drugim rečima, moramo da koristimo zračenje poznato pod imenom zraci X. Ali ovde ćemo naići na prvi pogled na nepremostivu teškoću: zraci X proći će kroz makoju supstancu skoro bez refrakcije, tako da neće moći da se napravi ni sočivo niti mikroskop koji bi omogućili upotrebu zraka X. Ovo svojstvo, zajedno sa velikom prodornom moći zraka X, vrlo je korisno u medicinskoj nauci, pošto bi refrakcija zrakova koji prolaze kroz ljudsko telo potpuno zamaglila sve rentgentske snimke. Ali to isto svojstvo izgleda da isključuje svaku mogućnost da se dobiju povećane fotografije pomoću zraka X.

Na prvi pogled situacija izgleda beznadežna, ali je V. Brag našao vrlo duhovit izlaz iz ove teškoće. On je zasnovao svoja razmatranja na matematičkoj teoriji mikroskopa koju je razvio Abe (A. Abé). Prema toj teoriji, svaka mikroskopska slika može se smatrati kao nadopunjavanje velikog broja odvojenih slika, s tim što svaku od njih pretstavljaju paralelni tamni snopovi koji protiču pod jednim izvesnim uglom kroz polje mikroskopa. Jedan jednostavni primer koji ilustruje gornju tvrdnju može da se vidi na slici 46. Taj primer pokazuje kako slika jednog osvetljenog eliptičnog polja u centru tamnoga polja može biti napravljena superpozicijom četiri odvojena sistema snopova.

Prema Abeovoj teoriji funkcionisanje jednog mikroskopa sastoji se iz: 1) razbijanja prvobitne slike u veliki broj odvojenih snopova; 2) povećanja svakog pojedinog snopa i 3) ponovne superpozicije snopova da bi se dobila povećana slika.

Ova procedura može se uporediti s metodom štampanja obojenih slika upotrebom izvesnog broja jednobojnih ploča.



Sl. 46 — Abeova matematička teorija mikroskopa

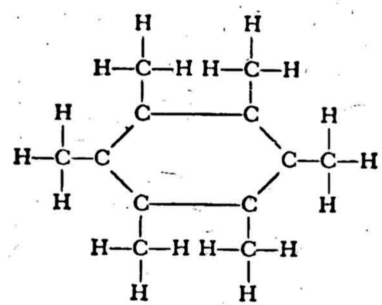
Gledajući na svaki otisak u jednoj datoj boji, vi nećete moći da kažete šta će slika da pretstavlja, ali čim se svi ti snimci superponiraju na jedan određen način, čitava slika se jasno i oštro vidi.

Pošto je nemoguće da se konstruiše jedno sočivo za zrake X koje bi moglo da obavi sve te operacije automatski, to ćemo morati da postupamo korak po korak: moraćemo da pod raznim uglovima snimamo veliki broj odvojenih slika kristala pomoću snopova X- zrakova, a zatim ćemo te slike superponirati na jedan određen način na jednom komadu fotografske hartije. I tako ćemo postupiti tačno onako kao što bi se to uradilo pomoću jednoga sočiva za zrake X, s tom razlikom

što bi sočivo čitav ovaj proces obavilo trenutno, dok bi jednom vrlo iskusnom eksperimentatoru trebalo nekoliko časova da ovo izvrši. Stoga se pomoću Bragove metode mogu snimiti kristali u kojima se molekuli ne kreću, ali se ne mogu snimiti molekuli u tečnostima ili gasovima, gde se oni kreću kao u divljoj igri.

Iako fotografije snimljene Bragovim metodom ustvari nisu dobivene jednim snimkom, one su dobre i korektne koliko god se to može postići jednom složenom fotografijom. Niko neće staviti primedbu na fotografiju neke katedrale koja se sastoji iz nekoliko fotografija ako zbog tehničkih razloga nismo u stanju da fotografišemo čitavu strukturu na jednoj ploči.

Na fotografiji 1 vidimo takvu sliku, dobivenu pomoću X-zrakova molekula heksametilbenzola, za koju hemičari imaju sledeću formulu:

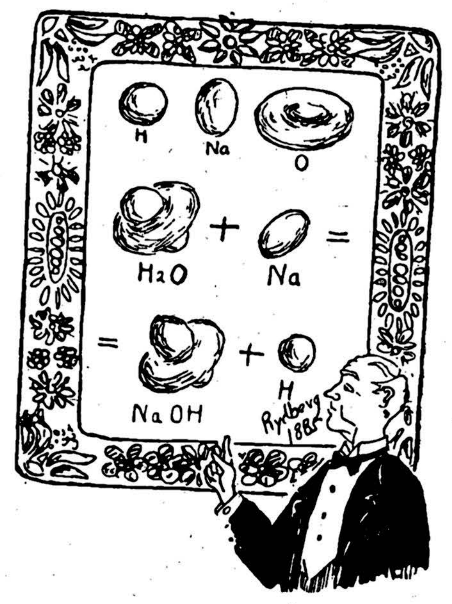


Prsten koji se sastoji iz 6 atoma ugljenika i 6 drugih atoma ugljenika vezanih za njega jasno se vidi na slici, dok se lakši atomi vodonika tek jedva naziru.

Kad jednom vide ovakve fotografije svojim sopstvenim očima, neverne Tome će se, besumnje, složiti da je dokazano postojanje atoma i molekula.

5) Disektiranje atoma

Kad je Demokrit krstio atom imenom koje na grčkom znači »nedeljiv«, on je hteo da kaže da te čestice pretstavljaju krajnju granicu do koje se može sprovesti deljenje materije na sastavne delove. Drugim rečima, on je hteo da kaže da su atomi najmanji i najjednostavniji delovi iz kojih se sastoje sva tela. Kad je, hiljade godina docnije, ta prvobitna filozofska ideja »atoma« uključena u egzaktnu nauku o materiji, i kada je ta ideja dobila svoju krv i meso na osnovu činjeničnog dokaznog materijala, verovanje u nedeljivost atoma bilo je uključeno u nauku, a različita svojstva atoma ovih ili onih elemenata bila su hipotetično pripisivana njihovim geometriskim oblicima. Tako se, naprimer, smatralo da su atomi vodonika skoro specifični, dok se dr-



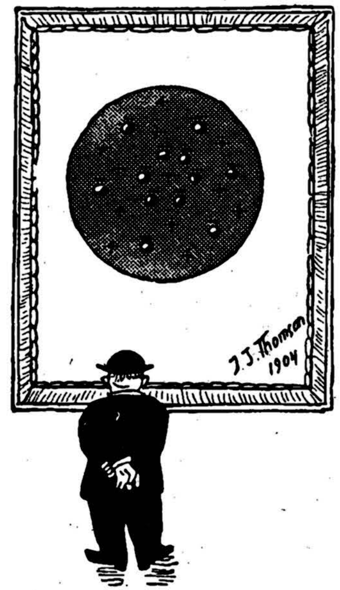
Sl. 47 — Molekul vode

žalo da atomi kalijuma i natrijuma imaju oblik izduženih elipsoida.

Atomu kiseonika, međutim, pripisivan je oblik jednog prstena sa skoro sasvim zatvorenom rupom, tako da bi se molekul vode (H_2O) mogao napraviti stavljanjem dva sferična atoma vodonika u rupe na obema stranama kiseoničkog kolača (sl. 47). Zamena vodonika u molekulu vode kalijumom i natrijumom bila je onda protumačena tvrdnjom da bi izduženi atomi kalijuma i natrijuma bolje odgovarali otvoru u atomu kiseonika nego sferični atomi vodonika.

Na osnovu ovih pogleda, razlika u optičkim spektrima koje emituju razni elementi bila je pripisivana razlikama u vibracionim frekvencijama atoma raznih oblika. Držeći se toga shvatanja, fizičari su uzalud pokušavali da dođu do zaključaka o oblicima raznih atoma koji sačinjavaju elemente koji emituju svetlost, a na osnovu posmatranja frekvencija svetlosti koju oni emituju i na potpuno isti način kao što mi u akustici tumačimo razlike u zvucima koje proizvodi violina, crkveno zvono ili saksofon.

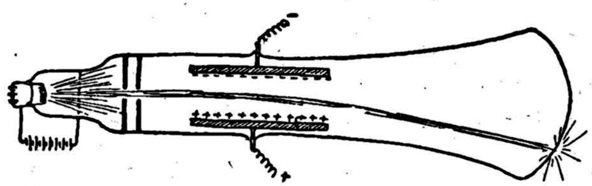
Međutim, nijedan od ovih pokušaja da se rastumače hemiska i fizička svojstva raznih atoma isključivo na osnovu



Sl. 48 — Tomsonova koncepcija atoma

njihovog geometriskog oblika nije doveo ni do kakvih rezultata. I prvi stvarni korak napred u razumevanju atomskih svojstava učinjen je onda kad se shvatilo da atomi nisu elementarna tela raznih geometriskih oblika, već, naprotiv, složeni mehanizmi sa velikim brojem nezavisnih pokretljivih delova.

Čast da je učinio prvi ubod noža u komplikovanoj operaciji disekcije delikatnog tela atoma pripada čuvenom engleskom fizičaru Đ. Đ. Tomsonu (J. J. Thomson), koji je uspeo da dokaže da se atomi raznih hemiskih elemenata sastoje iz pozitivno i negativno naelektrisanih delova, povezanih međusobno silom električne atrakcije. Tomson je zamislio atom kao manje-više ravnomerno raspodeljen pozitivan električni naboj u kome pliva veliki broj negativnih naelektrisanih čestica (sl. 48). Kombinovani električni naboj negativnih čestica, ili **elektrona** kako ih je on nazvao, jednak je celokupnom pozitivnom naboju, tako da je atom u celini električno neutralan. Međutim, kako se pretpostavljalo da su elektroni vezani za telo atoma prilično labavo, jedan ili



Sl. 49 — Tomsonov uređaj za merenje odnosa naboj-masa u atomu

više njih bi se mogli odvojiti od atoma, ostavljajući za sobom pozitivno naelektrisani ostatak poznat pod imenom **pozitivni jon**. S druge strane, atomi koji prime u svoju strukturu nekoliko elektrona, pa time steknu višak negativnog naboja, zovu se **negativni joni**. Proces kojim se atomu daje pozitivni ili negativni višak elektriciteta zove se proces **jonizacije**. Tomson je zasnovao svoje gledište na klasičnom radu Majkela Faradeja, koji je dokazao da je svaki električni naboj koji nosi jedan atom uvek množitelj jedne elementarne količine elektriciteta koja je jednaka $4{,}8 \times 10^{-10}$ elektrostatičkih jedinica. Ali Tomson je otišao mnogo dalje od Faradeja time što je pripisao ovim električnim nabojima prirodu individualnih čestica, time što je razvio metode za njihovu ekstrakciju iz tela atoma i time što je izučavao snopove slobodnih elektrona kako lete velikom brzinom kroz prostor.

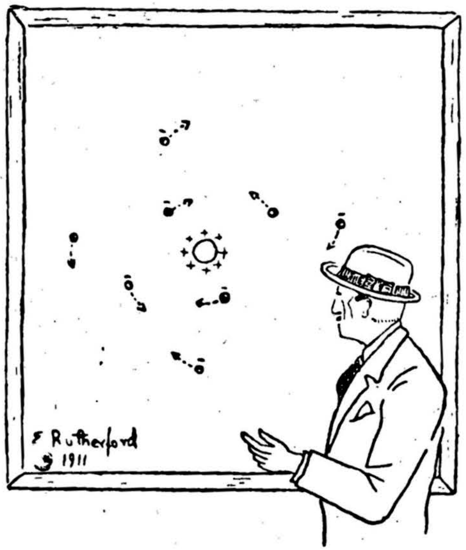
Jedan naročito važan rezultat Tomsonovih studija snopa elektrona bila je procena njihove mase. U prostor između dve ploče jednog naelektrisanog kondenzatora (sl. 49) on je pustio jedan snop elektrona koji je ekstrahovao iz takvog ma-

terijala kao što je zagrejana električna žica, a pomoću jednog vrlo jakog električnog polja. Pošto nose negativni elektricitet, ili tačnije, pošto su to sami negativni naboji, elektroni ovoga snopa privučeni su pozitivnoj a odbijaju se od negativne elektrode.

Menjanje pravca snopa usled tog električnog efekta može se lako primetiti ako dozvolimo da snop padne na jednu fluorescentnu površinu stavljenu iza kondenzatora. Znamo li naboj jednog elektrona i njegovo pomeranje u jednom datom električnom polju, onda možemo proceniti njegovu masu, koja se pokazuje kao vrlo mala. Tomson je stvarno utvrdio da je masa jednog elektrona 1840 puta manja od mase atoma vodonika, ukazujući time na to da se glavnina atomske mase nalazi u njenim pozitivno naelektrisanim delovima.

Iako je bio potpuno u pravu u pogledu roja negativnih elektrona koji se kreću u atomu, Tomson je bio međutim daleko od istine sa svojom tvrdnjom da je pozitivni naboj ravnomerno raspodeljen u telu atoma. Razerford (Ratherford) je dokazao 1911 godine da je pozitivni naboj atoma kao i najveći deo njegove mase koncentrisan u neobično malom **jezgru** koje se nalazi u samom centru atoma. On je došao do ovog zaključka posle niza svojih čuvenih eksperimenata rasejavanja tzv. »alfa (α) čestica« pri njihovom prolasku kroz materiju. Ove alfa-čestice su mali, neobično brzi projektili, emitovani pri spontanom raspadanju atoma izvesnih teških nestabilnih elemenata (naprimer urana i radijuma). Pošto se dokazalo da su njihove mase uglavnom slične masama atoma, a njihov naboj pozitivan, moralo se smatrati da pretstavljaju deliće prvobitnog pozitivnog tela atoma. Dok jedna α -čestica prolazi kroz atome materijala iz koga se sastoji meta, nju privlače elektroni, a odbijaju pozitivni delovi atoma. Kako su, međutim, elektroni vrlo laki, oni nisu u stanju da utiču na kretanje α-čestice, kao što ni roj komaraca ne može da utiče na juriš jednog uplašenog slona. S druge strane, odbijanje između teških pozitivnih delova atoma i pozitivnog naboja upadne α-čestice mora da bude u stanju da skrene α-čestice sa svoje putanje i da ih raseje u svim pravcima, ukoliko one prolaze jedna kraj druge.

Izučavajući rasejavanje jednog snopa α-čestica pri prolazu kroz jedan vrlo tanki sloj aluminijuma, Razerford je došao do iznenađujućeg zaključka: da bi rastumačio svoje rezultate, morao je da pretpostavi da razdaljina između upadnih α-čestica i pozitivnoga naboja atoma mora biti manja od jednog hiljaditog dela prečnika atoma. To je, razume se, moguće samo pod pretpostavkom da su i alfa čestice i pozitivni deo atoma na hiljade puta manji od samoga atoma. Na taj način je Razerfordovo otkriće svelo prvobitnu rasprostranjenost pozitivnog naboja preko celog Tomsonovog modela atoma na jedno malo **atomsko jezgro** u samom centru atoma, dok je roj negativnih elektrona kružio oko jezgra. I tako, umesto da bude slična jednoj lubenici u kojoj elektroni



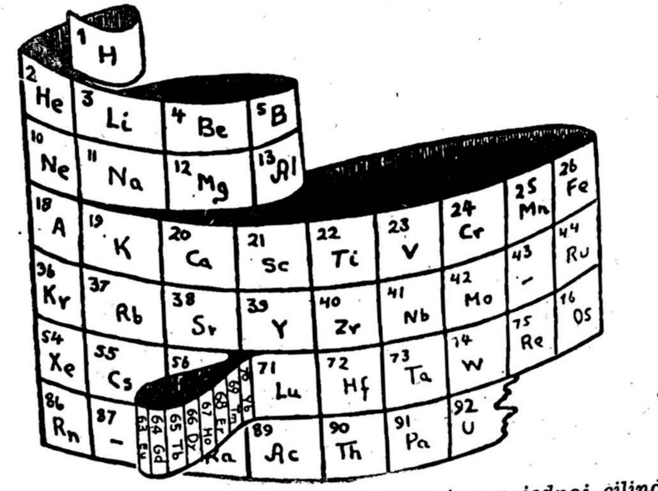
Sl. 50 — Razerfordova slika atoma

pretstavljaju semenke, slika atoma počela je da liči sve više na jedan minijaturni sunčani sistem, u kome atomsko jezgro zamenjuje Sunce, a elektroni planete (sl. 50).

Analogija sa planetarnim sistemom još je uverljivija usled sledećih činjenica: atomsko jezgro sadrži 99,97% celokupne atomske mase, dok je 99,87% mase sunčanog sistema koncentrisano u Suncu. U isto vreme razdaljine između planetarnih elektrona prevazilaze njihove prečnike otprilike za isti faktor (nekoliko hiljada puta) koji nalazimo pri upoređenju međuplanetarnih razdaljina sa prečnikom planeta.

Najvažnija analogija međutim je u tome što su privlačne električne sile između atomskog jezgra i elektrona podvrgnute istom matematičkom zakonu obrnute kvadratne proporcionalnosti[4]) kao i gravitacione sile između Sunca i planeta. Usled ovoga, elektroni opisuju kružne i eliptične putanje oko jezgra, slične onima po kojima se kreću planete i komete u sunčanom sistemu.

Prema toj teoriji unutarnje strukture atoma, razliku između atoma raznih elemenata treba pripisati različitom broju elektrona koji kruže oko jezgra. Pošto je atom kao celina



Sl. 51 — LICE: Periodični sistem elemenata na jednoj cilindričnoj površini — vide se periodi 2, 8 i 18. Ona »izraslina« na šestoj periodi odgovara elementima (retke zemlje) koje odudaraju od normalne periodičnosti usled rekonstrukcije atomskih ljuski.

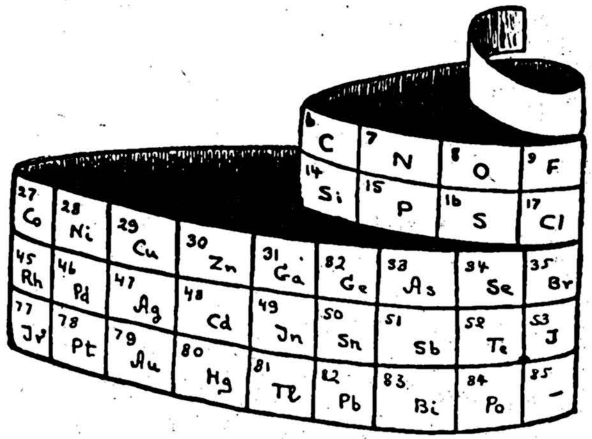
električno neutralan, broj elektrona koji kruži oko jezgra mora biti određen brojem elementarnih pozitivnih naboja u samom jezgru. A taj broj može biti određen direktnim posmatranjem rasejavanja α-čestica koje skreću sa svojih putanja električnom interakcijom sa jezgrom. Razerford je utvrdio da **u prirodnom redu hemiskih elemenata, raspoređenih po težini, svaki elemenat ima po jedan elektron više.** Tako, naprimer, atom vodonika ima jedan elektron, atom he-

[4]) Tj. sile su obrnuto proporcionalne kvadratu rastojanja između dva tela.

lijuma dva, litijuma tri, berilijuma četiri, itd. do najtežeg prirodnog elementa, urana, koji ima 92 elektrona.[5])

Ovaj brojni red atoma poznat je pod imenom **atomski broj** nekog elementa, a odgovara onom broju kojim se obeležava njegov položaj u klasifikaciji elemenata koju su, na osnovu hemiskih svojstava elemenata, izgradili hemičari.

Prema tome, sva fizička i hemiska svojstva jednog datog elementa mogu se okarakterisati jednostavno jednom jedinom cifrom koja označava broj elektrona koji se kreću oko centralnog jezgra.

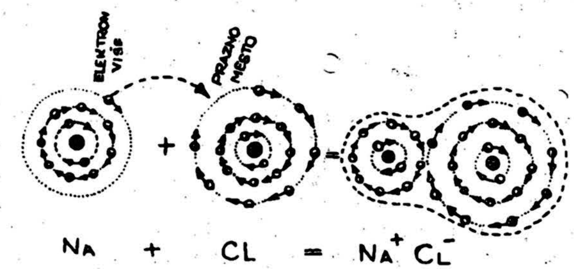


Sl. 51 — NALIČJE

Krajem prošlog veka ruski hemičar D. Mendeljev otkrio je značajnu periodičnost hemiskih svojstava elemenata kad su oni poređani prirodnim redom. On je utvrdio da se svojstva elemenata počinju da ponavljaju u jednom određenom intervalu. Ova regularnost grafički je pretstavljena na slici 51, na kojoj su simboli sva 92 prirodna elementa raspoređeni duž jedne spirale na površini cilindra tako da elementi sličnih svojstava leže u istom stupcu. Mi vidimo da se prva grupa sastoji samo iz dva elementa: vodonika i helijuma. Zatim

[5] Pošto smo izučili veštinu alhemije — vidi docnije poglavlje — mi smo u stanju da izgrađujemo još složenije atome. Tako, naprimer, veštački element p l u t o n i j u m, koji se upotrebljava u atomskoj bombi, ima 94 elektrona.

imamo dve grupe od po 8 elemenata; i konačno, svojstva se ponavljaju posle svakih 18 elemenata. Ako se potsetimo da svaki korak u ovom nizu elemenata odgovara jednom više elektronu u atomu, moramo bezuslovno zaključiti da ova regularnost hemiskih svojstava potiče usled ponovnog formiranja izvesnih stabilnih konfiguracija atomskih elektrona ili »elektronskih ljuski«. Prva ljuska mora da se sastoji od dva elektrona. Iduće dve ljuske svaka od po 8 elektrona, a sve ostale ljuske od po 18. Takođe vidimo na slici 51 da se pred kraj prirodnog niza ova regularnost u pogledu svojstava malo gubi, i da je onda potrebno staviti izvestan broj elemenata (tzv. retke zemlje) na jednu pantljiku koja štrči sa



Sl. 52 — Ova shematska slika pokazuje jedinjenje atoma natrijuma i hlora u molekul natrijum-hlorida.

cilindrične površine. Ova anomalija potiče usled činjenice da ovde nailazimo na izvesnu unutrašnju rekonstrukciju strukture elektronskih ljuski, što dovodi do nereda u hemiskim svojstvima te vrste atoma.

Sad, pošto smo izgradili sliku atoma, možemo da pokušamo da odgovorimo na pitanje o silama koje povezuju atome raznih elemenata u složenim molekulima bezbrojnih hemiskih supstanci. Zašto se, naprimer, atomi natrijuma i hlora vezuju da bi obrazovali molekul kuhinjske soli? Na slici 52, koja pretstavlja strukturu ljuske ova dva atoma, vidimo da atomu hlora nedostaje jedan elektron da bi popunio treću ljusku, dok atom natrijuma ima jedan elektron više po popunjavanju svoje druge ljuske. Stoga mora da postoji tendencija da ekstra elektron natrijuma uđe u atom hlora i kompletira nedovršenu ljusku. Usled toga prelaza elektrona, atom natrijuma postaje pozitivno naelektrisan — jer je izgubio jedan negativni elektron, dok atom hlora dobija jedan negativni elektron. Pod uticajem snaga električnog privlačenja između njih, ova dva naelektrisana atoma (ili **jona**, kako se zovu) držaće se jedan drugoga čineći molekul natrijumhlorida ili, prosto rečeno, kuhinjske soli. Na isti način jedan atom kiseonika kome nedostaju dva elektrona u njegovoj spoljnoj ljusci »ukrašće« od dva atoma vodonika njihove elektrone i na taj način obrazovaće se jedan molekul vode (H_2O). S druge strane, nećemo imati tendenciju kombinovanja između atoma kiseonika i hlora ili vodonika i natrijuma, jer u prvom slučaju oba imaju želju da prime, a neće da daju, dok u drugom slučaju ni jedan, ni drugi, neće da prime.

Atomi popunjenih elektronskih ljuski, kao oni helijuma, argona, neona i ksenona, potpuno su samozadovoljeni, i njima nije potrebno niti da daju niti da primaju elektrone. Oni više vole da ostanu slavno usamljeni, što čini da odgovarajući elementi, tzv. »retki gasovi«, budu hemiski neaktivni.

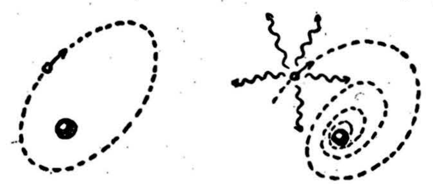
Završićemo ovaj odeljak o atomima i njihovim elektronskim ljuskama osvrtom na važnu ulogu koju elektroni igraju u supstancama opšte poznatim pod imenom »metali«. Metalne supstance razlikuju se od svih ostalih činjenicom da su spoljne ljuske njihovih atoma prilično labavo vezane što često dopušta da se jedan od njihovih elektrona kreće slobodno. Stoga je unutrašnjost metala puna velikog broja nevezanih elektrona, koji putuju bez cilja kao gomila raseljenih lica. Kad podvrgnemo električnoj sili dva kraja jedne metalne žice, ovi slobodni elektroni jurnu u pravcu ove sile, što sačinjava ono što mi zovemo električna struja.

Prisustvo slobodnih elektrona takođe je uzrok visoke sprovodljivosti toplote kod metala, ali mi ćemo se vratiti na ovaj predmet u jednom od idućih poglavlja.

6) Mikromehanika i princip neodređenosti

Pošto je, kao što smo videli u prethodnom odeljku, atom sa svojim sistemom elektrona koji kruže oko centralnog jezgra sličan planetarnom sistemu, prirodno bi bilo očekivati da je on podvrgnut istim, dobro utvrđenim astronomskim zakonima, koji vrede za kretanje planeta oko Sunca. Pogotovu sličnost između zakona električnog i gravitacionog privlačenja — u oba slučaja privlačna sila je obrnuto proporcio-

nalna kvadratu rastojanja — trebalo bi da sugerira da se elektroni atoma kreću po eleptičkim putanjama oko jezgra kao žiže (sl. 53a). Međutim, svi pokušaji da se izgradi jedna strogo određena slika kretanja elektrona, slična onoj upotrebljenoj za pretstavljanje kretanja planetarnog sistema, vodili su sve doskora neočekivanoj katastrofi takvih srazmera da je za neko vreme izgledalo kao da su ili fizičari ili sama fizika potpuno poludeli. Teškoća je uglavnom proistekla iz činjenice što su, za razliku od planeta sunčanog sistema, atomski elektroni naelektrisani, pa je, kao što je to slučaj kod svih električnih naboja koji trepere ili kruže, njihovo kružno kretanje oko jezgra trebalo da prouzrokuje vrlo intenzivno elektromagnetsko zračenje. Usled gubitka energije koja ne-



Sl. 53 — Električno i gravitaciono privlačenje

staje zračenjem, logično je bilo očekivati da će se elektroni atoma približavati jezgru po jednoj spiralnoj putanji (sl. 53b), i da će konačno pasti na jezgro kada kinetička energija njihovog kružnog kretanja bude potpuno iscrpljena. Poznavajući električni naboj elektrona i frekvenciju kruženja atomskih elektrona, bilo je prilično lako izračunati vreme potrebno za taj proces. Nije potrebno mnogo više od sto mikrosekundi da elektroni izgube svu svoju energiju i padnu na jezgro. Na taj način, na osnovu sveukupnog znanja i verovanja fizičara sve doskora, planetarne atomske strukture ne bi trebalo da postoje duže od jednog zanemarljivo malog dela sekunde i bile bi osuđene da nestanu skoro čim se izgrade.

Ipak, uprkos ovih mračnih predviđanja fizičke teorije, eksperimenti su pokazali da su atomski sistemi vrlo stabilni i da atomski elektroni veselo kruže oko svojih centralnih jezgara bez ikakvog gubitka energije, i ikakvog znaka sklonosti da padnu na jezgro.

Kako je to moguće? Kako može primena starih i dobro utvrđenih zakona mehanike na atomske elektrone dovesti do zaključaka tako protivurečnih činjenicama? Da bismo odgovorili na ovo pitanje moramo se vratiti na osnovni problem nauke: problem prirode same nauke. Šta je »nauka«, i šta mi podrazumevamo pod »naučnim tumačenjem« prirodnih činjenica?

Uzmimo jedan jednostavan primer: kao što znamo, stari Grci su verovali da je Zemlja ravna. Teško ih je optuživati za takvo verovanje, jer ako dođete na otvoreno polje ili plovite brodom po vodi, vi ćete i sami »videti« da je to tačno; izuzimajući brda i planine, površina Zemlje **izgleda ravna.** Greška starih Grka nije ležala u tvrdnji »da je Zemlja ravna dokle god može da se vidi sa jedne tačke posmatranja«, već se greška nalazi u **ekstrapolaciji** ove tvrdnje preko granica stvarnog posmatranja. I doista, posmatranja koja su prevazišla uobičajene granice, kao naprimer izučavanje oblika zemljine senke na Mesecu za vreme pomračenja ili Magelanovo čuveno putovanje oko sveta, odmah su dokazali grešku takve ekstrapolacije. Mi kažemo sada da Zemlja **izgleda** ravna samo zato što onaj deo zemaljske površine koji mi možemo da vidimo pretstavlja veoma mali deo zemaljskog globusa. Slično tome, što smo uostalom raspravili u petom poglavlju, prostor vasione može biti i kriv i konačan po veličini uprkos činjenici što izgleda ravan i naizgled beskonačan s tačke gledišta ograničenih posmatranja.

Ali kakve veze sve to ima sa protivrečnošću do koje smo došli izučavajući mehaničko ponašanje elektrona u jednom atomu?

Greška je u tome što smo u ovoj studiji implicitno pretpostavili da mehanika atoma sledi tačno iste zakone koji vrede za kretanje velikih nebeskih tela ili tela »normalne veličine« s kojima imamo posla u svakodnevnom životu, i da ih na taj način možemo opisati istim terminima. Ustvari, klasični zakoni i pojmovi mehanike uspostavljeni su empirički za tela veličine približne ljudskim telima. Ti isti zakoni docnije su korišćeni za tumačenje kretanja mnogo većih tela, takvih kao što su planete i zvezde. I uspeh nebeske mehanike, koja nam omogućuje da s najvećom preciznošću izračunamo razne astronomske pojave udaljene vremeski na milione godina u budućnost i milone godina u prošlost, nije ostavljao nikakvu sumnju u pravilnost ekstrapolacije uobičajenih mehaničkih zakona pri tumačenju kretanja velikih nebeskih tela.

Ali kakvu garanciju imamo da se isti zakoni mehanike koji tumače kretanje ogromnih nebeskih tela kao i kretanje artiljeriskih granata, klatna časovnika i dečje čigre, mogu takođe da primene na kretanje elektrona koji su za milijarde i milijarde puta manji i lakši od najmanjeg mehaničkog uređaja koji smo ikad imali u rukama?

Razume se, **nije bilo nikakvog razloga da se unapred pretpostavi da zakoni uobičajene mehanike neće biti u stanju da rastumače kretanje sastavnih delića atoma; ali, s druge strane, ne bi trebalo da bude jako iznenađujuće ako dođe do takve pojave.**

Prema tome, paradoksalni zaključci do kojih se došlo pokušajem da se utvrdi kretanje atomskih elektrona na isti način na koji astronom tumači kretanje planeta u sunčanom sistemu, moraju se pre svega razmotriti u svetlosti mogućih promena osnovnih pojmova i zakona klasične mehanike i njihove primene na čestice tako male veličine.

Pojam putanje koji opisuje jedna čestica u kretanju i brzine kojom se ta čestica kreće duž putanje — to su osnovni pojmovi klasične mehanike. Postavka da svaka **materijalna čestica u kretanju zauzima u jednom određenom trenutku određeni položaj u prostoru i da svi uzastopni položaji čestice sačinjavaju jednu neprekidnu krivu poznatu kao putanju,** uvek je smatrana kao očigledna i sačinjavala je osnovu za opis kretanja makojeg materijalnog tela. Razdaljina između položaja jednog datog predmeta u raznim trenucima podeljena odgovarajućim vremenskim intervalom dovela je do definicije **brzine.** I upravo na ovim dvama pojmovima, položaju i brzini, izgrađena je sva klasična mehanika. Sve doskora verovatno nije nikad nijednom naučniku palo na pamet da bi ova dva pojma, osnovna za opis svih pojava kretanja, mogla biti iole netačna, a među filozofima je bilo uobičajeno da se ovi pojmovi smatraju kao »a priori dati«.

Međutim, potpuni fiasko pokušaja da se primene zakoni klasične fizike na opis kretanja unutar malenih atomskih sistema pokazao je da je nešto u ovom slučaju potpuno pogrešno. A to je dovelo do čvršćeg uverenja da se ova »pogrešnost« proteže sve do osnovnih ideja na kojima se zasniva klasična mehanika.

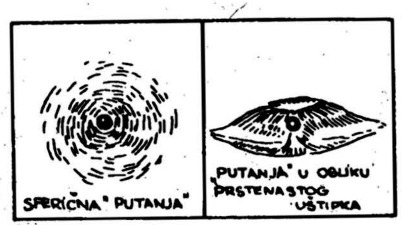
Osnovni pojmovi kinematike o jednoj neprekidnoj putanji predmeta u kretanju i njegovoj precizno definisanoj brzini za makoji trenutak vremena izgledaju suviše grubi kad se primene na male deliće unutarnjeg mehanizma atoma. Ukratko, pokušaj ekstrapolacije ideja klasične mehanike u oblast veoma malih masa pokazao je definitivno da se te ideje moraju promeniti na korenit način. Ali, ako stari pojmovi klasične mehanike ne važe u svetu atoma, oni ne mogu biti apsolutno ispravni ni u pogledu kretanja velikih materijalnih tela. Tako smo došli do zaključka da se **principi koji ulaze u osnovu klasične mehanike imaju smatrati samo kao dobre aproksimacije »realnih stvari«**, i da te aproksimacije vrlo malo vrede čim pokušamo da ih primenimo na sisteme koji su mnogo delikatniji od onih kojima su ti principi bili prvobitno namenjeni.

Osnovni novi elemenat koji je unesen u nauku o strukturi materije izučavanjem mehaničkog ponašanja atomskih sistema i formulacijama takozvane kvantne fizike sastojao se u otkriću činjenice da **postoji izvesna donja granica za svaku moguću interakciju između dva materijalna tela.** To otkriće pogađa i ruši klasičnu definiciju putanje jednog predmeta u kretanju. Ustvari, tvrdnja da postoji nešto što bi trebalo da izgleda kao matematički tačna putanja jednog tela u kretanju pretpostavlja **mogućnost da se ta putanja** obeleži pomoću nekakvog specijalnog fizičkog uređaja. Ne treba, međutim, zaboraviti da se pri obeležavanju putanje kog bilo tela u kretanju mora uznemiriti prvobitno kretanje. Ako naše telo u kretanju deluje na izvestan način na uređaj za merenje, koji registruje uzastopne položaje toga tela u prostoru, sam uređaj deluje na predmet u kretanju prema Njutnovom zakonu o jednakosti akcije i reakcije. Ako se, kao što je pretpostavljeno u klasičnoj fizici, interakcija između dva tela (u ovom slučaju između tela u kretanju i uređaja koji obeležava njegov položaj) može da podesi da bude mala koliko se god želi, onda je moguće zamisliti jedan idealni uređaj tako osetljiv da obeležava jedan za drugim položaje tela u kretanju praktično bez poremećaja njegovog kretanja.

Postojanje **donje granice fizičkih interakcija** menja situaciju na korenit način pošto mi ne možemo da smanjimo na beznačajno malu meru poremećaj kretanja prouzrokovan uređajem za obeležavanje. Stoga **poremećaj kretanja prouzrokovan posmatranjem toga kretanja postaje sastavni deo samog kretanja.** Dakle umesto da govorimo o beskonačno tankoj matematičkoj liniji koja pretstavlja putanju, prisi-

ljeni smo da je zamenimo jednom difuznom pantljikom konačne debljine. Matematički oštre putanje klasične fizike postaju široke difuzne pantljike u očima nove mehanike.

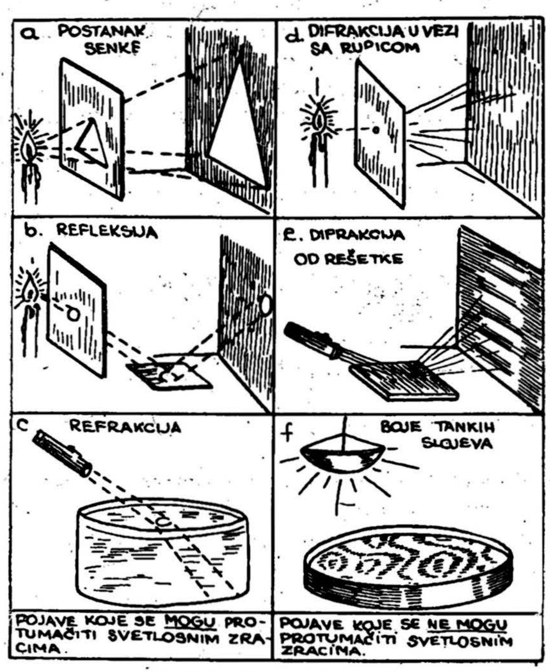
Minimalna količina fizičke interakcije, poznata obično pod nazivom **kvantum akcije**, ima, međutim, veoma malu numeričku vrednost i postaje važna samo kad izučavamo kretanje vrlo malih predmeta. Tako, naprimer, iako je istina da putanja revolverskog metka nije matematički oštra linija, »debljina« ove putanje je mnogo puta manja nego veličina jednog jedinog atoma materijala iz koga se metak sastoji, pa se stoga može pretpostaviti da je praktično nula. Kad se osvrnemo na lakša tela koja su znatno podložnija uznemirenju usled merenja njihovog kretanja, videćemo da u tim slučajevima »debljina« putanja postaje sve važnija. **Kad su u**



Sl. 54 — Mikromehaničke slike kretanja elektrona u atomu

pitanju elektroni koji rotiraju oko centralnog jezgra, debljina putanje postaje uporediva sa njihovim prečnikom, pa njihovo kretanje ne možemo da pretstavimo jednom linijom kao na slici 53, već smo prisiljeni da ga zamislimo na način koji je prikazan na slici 54. U takvim slučajevima se kretanje čestica ne može opisati uobičajenim jezikom klasične mehanike, već su i položaj i brzina tih čestica podvrgnuti izvesnoj neodređenosti (Hajzenbergovi (Heisenberg) odnosi neodređenosti i Borov (Bohr) princip komplementarnosti). Ovaj iznenađujući razvoj fizike, koji baca u koš tako odomaćene pojmove kao što su putanja kretanja i tačni položaj i brzina jedne čestice u kretanju, izgleda kao da nam izvlači tle ispod nogu. Ako u izučavanju elektrona ne možemo da koristimo i dalje one ranije usvajane osnovne principe, na čemu ćemo onda zasnovati naše razumevanje njihovog kretanja? Kakav matematički aparat mora doći u zamenu za metode klasične mehanike da bismo shvatili neodređenost položaja, brzine, energije i svega što iziskuju činjenice nove kvantne fizike?

Odgovor na ova pitanja može se naći posmatranjem sličnog stanja koje je postojalo na području klasične teorije svetlosti. Znamo da se u običnom životu većina svetlosnih pojava može protumačiti na osnovu pretpostavke da se svetlost prostire u pravim linijama poznatim pod nazivom **svetlosni zraci.** Oblici senki neprozirnih predmeta, formiranje slika u ravnim i krivim ogledalima, funkcionisanje sočiva i



Sl. 55 — Refleksija i refrakcija svetlosti

drugih komplikovanih optičkih sistema mogu se lako protumačiti na osnovu elementarnih zakona koji važe za refleksiju i refrakciju svetlosnih zrakova. (Sl. 55 a, b, c).

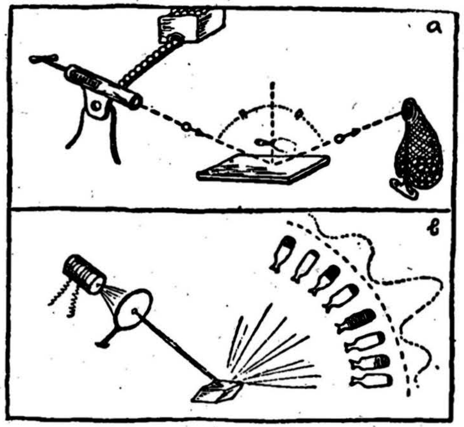
Ali mi znamo da su se metodi geometriske optike, koji pokušavaju da dokažu klasičnu teoriju prostiranja svetlosti pomoću svetlosnih zrakova, pokazali vrlo loše u slučajevima gde su geometriske srazmere otvora u optičkim sistemima

bile približno jednake talasnim dužinama svetlosti. Pojave koje se odigravaju u ovim slučajevima poznate su pod imenom **»pojave difrakcije«** i leže potpuno van područja geometriske optike. Snop svetlosti koji prolazi kroz veoma mali otvor (reda veličine 0,0001 cm) ne širi se u pravoj liniji, već se prostire na jedan poseban lepezast način (sl. 55d). Kad snop svetlosti padne na ogledalo pokriveno velikim brojem uskih paralelnih linija ucrtanih na njegovoj površini (difrakciona rešetka) taj se snop ne ponaša po poznatim zakonima refleksije, već se rastura u više različith pravaca. Ti pravci su određeni razdaljinama između ucrtanih linija i talasnom dužinom upadne svetlosti (sl. 55e). Takođe je poznato da svetlost koja se odbija od tankih slojeva ulja na površini vode stvara jedan poseban sistem svetlih i tamnih područja (sl. 55).

U svim ovim slučajevima, uobičajeni pojam »svetlosnog zraka« ne govori nam više ništa o pojavama koje posmatramo, pa smo stoga prinuđeni da umesto tog pojma pretpostavimo neprekidnu raspodelu svetlosne energije na čitavom prostoru našeg optičkog sistema.

Lako se može uočiti da je neprimenljivost pojma svetlosnog zraka na pojave optičke difrakcije slična neprimenljivosti pojma mehaničke putanje u pojavama kvantne fizike. Isto kao što u optici ne možemo ostvariti jedan beskonačno tanak snop svetlosti, kvantni principiti mehanike sprečavaju nas da govorimo o beskonačno tankim putanjama čestica u kretanju. U oba slučaja treba da napustimo sve pokušaje opisivanja pojava time što ćemo reći da se nešto (svetlost ili čestice) prostire po izvesnim matematičkim linijama (optički zraci ili mehaničke putanje); prisiljeni smo, dakle, da okarakterišemo posmatrane pojave kao »nešto« što je u kontinuitetu prošireno na čitav prostor. U odnosu na svetlost, ovo »nešto« je intenzitet svetlosnih vibracija u raznim tačkama; u odnosu na mehaniku, ovo »nešto« je novouvedeni pojam neodređenosti položaja, verovatnoća da će jedna čestica u kretanju u datom trenutku biti ne u jednoj predodređenoj tački, već na jednom od nekoliko mogućih mesta. Više nije moguće reći **tačno** gde se neka čestica u kretanju nalazi u jednom određenom trenutku iako se granice u kojima takva tvrdnja važi mogu izračunati pomoću formula o »odnosima neodređenosti«. Odnos koji postoji između zakona talasne optike, koji se odnose na difrakciju svetlosti, i zakona nove »mikromehanike« ili »talasne mehanike« (koju su razvili de Brolji (L. de Broglie) i Šredinger (E. Schrödinger), koji se odnose na kretanje mehaničkih čestica, može se istaći eksperimentima koji pokazuju sličnost između ovih dveju vrsta pojava.

Na slici 56 pokazujemo uređaj koji je upotrebljavao O. Štern u svom izučavanju difrakcije atoma. Snop atoma natrijuma, proizveden metodom ranije opisanim u ovom poglavlju, reflektovan je sa površine jednog kristala. Pravilni slojevi atoma iz kojih se sastoji kristalna mreža deluju u



Sl. 56 — a. Pojava koja se može protumačiti pojmom putanje: refleksija čeličnih kuglica od metalne ploče; b. Pojava koja se ne može protumačiti pojmom putanje: refleksija atoma natrijuma od kristala.

ovom slučaju kao difrakciona rešetka za upadni snop čestica. Upadni atomi natrijuma reflektovani s površine kristala, skupljaju se u niz malih flašica razmeštenih pod raznim uglovima, a broj atoma skupljenih u svakoj flašici precizno je izmeren. Tačkasta linija na slici 56 pokazuje rezultat eksperimenta. Vidimo da atomi natrijuma nisu reflektovani u jednom određenom pravcu,kao što bi to bio slučaj s čeličnim kuglicama ispaljenim iz jednog topčića na feder na neku metalnu ploču nego su raspodeljeni po tačno utvrđenim uglovima, stvarajući time sliku vrlo sličnu onoj dobivenoj pri difrakciji zrakova X.

Eksperimenti ove vrste ne mogu biti protumačeni na osnovi klasične mehanike, koja opisuje kretanje pojedinih atoma po određenim putanjama, ali su potpuno razumljivi s tačke gledišta nove mikromehanike, koja tretira kretanje čestica na isti način kao što moderna optika tretira rasprostiranje svetlosnih talasa.

Poglavlje VII

MODERNA ALHEMIJA

1. Elementarne čestice

Pošto smo saznali da atomi raznih hemiskih elemenata pretstavljaju složene mehaničke sisteme s velikim brojem elektrona koji kruže oko centralnog jezgra, mi se pitamo da li su atomska jezgra konačne, nedeljive jedinice materije, ili se i ona mogu dalje deliti u još manje i jednostavnije delove. Je li moguće svesti sve 92 razne atomske vrste na možda par zaista jednostavnih čestica?

Još polovinom prošlog veka ova želja za jednostavnošću navela je engleskog hemičara V. Prauta (William Prout) da iznese hipotezu po kojoj su **atomi raznih hemiskih elemenata iste prirode, a pretstavljaju samo razne stepene »koncentracije« atoma vodonika.** Praut je zasnovao svoju hipotezu na činjenici da hemiski utvrđene atomske težine raznih elemenata u odnosu na vodonik u većini slučajeva mogu biti pretstavljene celim brojevima. Tako se, prema Prautu, atomi kiseonika, koji su 16 puta teži od vodonika, mogu smatrati kao 16 atoma vodonika slepljenih ujedno. Atomi joda, čija je atomska težina 127, mogu se smatrati kao skup 127 atoma vodonika itd.

Ipak, činjenice koje su hemičari tada utvrdili bile su protivne ovoj smeloj hipotezi. Bilo je dokazano, preciznim utvrđivanjem atomskih težina, da se taj odnos ne može izražavati precizno celim brojevima, već u većini slučajeva samo brojevima koji su vrlo blizu celih brojeva, a u nekoliko slučajeva brojevima koji nisu ni blizu celim brojevima. (Hemiska atomska težina hlora, naprimer, jednaka je 35.5). Ove činjenice, prividno u potpunoj suprotnosti sa Prautovom hipotezom, dovele su do toga da je ona pala u zaborav, i Praut je umro ne znajući koliko je bio u pravu.

Tek 1919 godine njegova se hipoteza ponovo pojavila otkrićem engleskog naučnika F.W. Astona, koji je dokazao da obični hlor pretstavlja **mešavinu** dve različite vrste hlora koje imaju identična hemiska svojstva, ali različite atomske težine: 35 i 37. Poluceli broj 35.5 koji su hemičari dobili pretstavlja samo srednju vrednost mešavine[1]).

Dalje izučavanje raznih hemiskih elemenata utvrdilo je čudnu činjenicu da većina elemenata pretstavlja mešavinu od nekoliko komponenata identičnih po hemiskim svojstvima, ali različitih u pogledu atomske težine. Te razne vrste nazvane su **izotopi,** to jest supstance koje zauzimaju isto mesto u periodničnom sistemu elemenata.[2]) Činjenica da mase raznih izotopa alikvotno sadrže masu atoma vodonika vaskrsla je Prautovu zaboravljenu hipotezu. Pošto je, kao što smo videli u prethodnom odeljku, glavna masa atoma koncentrisana u njegovom jezgru, Prautova hipoteza može biti ponovo formulisana modernim jezikom na sledeći način: **jezgra raznih atomskih vrsta sastoje se iz različitog broja elementarnih jezgara vodonika, koji su, zbog svoje uloge u strukturi materije, dobili specijalno ime »protoni«.**

Međutim, u gornjoj postavci treba izvršiti jednu važnu ispravku. Razmotrimo jezgro atoma kiseonika. Pošto je kiseonik osmi elemenat u prirodnom nizu, njegov atom mora da sadrži osam elektrona, a njegovo jezgro mora da ima osam pozitivnih elementarnih naboja. Ali atomi kiseonika su 16 puta teži od atoma vodonika. Na taj način, ako pretpostavimo da se jezgro atoma sastoji od osam protona, dobili bismo tačan naboj, ali pogrešnu masu (obe 8); pretpostavimo li 16 protona, dobili bismo tačnu masu, ali pogrešan naboj (oba 16).

Jedini izlaz iz teškoće je očevidno u pretpostavci **da je izvestan broj protona koji sačinjavaju složena atomska jezgra izgubio svoje prvobitne pozitivne naboje i da je električno neutralan.**

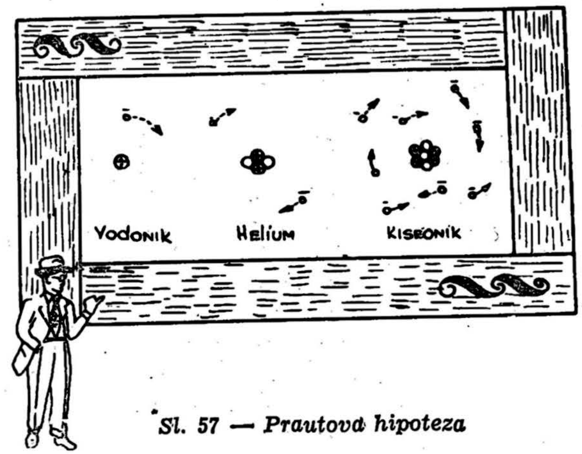
Postojanje takvih protona bez naboja, ili »neutrona« kako se sada zovu, nagovestio je Razerford još 1920 godine, ali je prošlo dvanaest godina pre nego što su oni eksperimentalno utvrđeni. Treba podvući da se protoni i neutroni

1) Pošto teže vrste hlora ima samo 25%, a lakše u iznosu od 75%, srednja atomska težina mora biti: $25 \times 37 + 75 \times 35 = 35.5$, što je tačno onaj broj koji su hemičari prošlog veka utvrdili.

2) Od grčkog ισος što znači jednako i τοπος što znači mesto.

ne mogu smatrati kao dve potpuno različite vrste čestica, već kao dva električna stanja jedne osnovne čestice poznate pod imenom »nukleona«. Ustvari poznato je da se protoni mogu pretvoriti u neutrone gubitkom svog pozitivnog naboja, a neutroni se mogu pretvoriti u protone dobijajući naboj.

Uvođenjem neutrona kao sastavnih jedinica atomskih jezgara otklonjena je teškoća o kojoj smo diskutovali na prethodnim stranicama. Da bismo razumeli činjenicu da jezgro kiseonika ima 16 jedinica mase, ali samo 8 jedinica naboja, moramo prihvatiti zaključak da se sastoji iz osam protona i osam neutrona. Jezgro joda, čija je atomska težina 127, a atomski broj 53, sastoji se iz 53 protona i 74 neutrona, dok se teško jezgro urana (atomska težina: 238, atomski broj: 92) sastoji iz 92 protona i 146 neutrona.[3])



Sl. 57 — Prautova hipoteza

I tako, skoro stotinu godina pošto je objavljena, smela Prautova hipoteza konačno je dobila dužno priznanje. Sad dakle možemo reći da se beskrajna raznovrsnost poznatih supstanci sastoji iz različitih kombinacija samo dveju vrsta fundamentalnih čestica: 1) **nukleona,** osnovnih čestica materije, koje mogu biti neutralne ili imati pozitivni električni

3) Ako pogledate na tabelu atomskih težina, videćete da su u početku periodičnog sistema atomske težine dvaput veće od atomskog broja, što znači da jezgra sadrže jednak broj protona i neutrona. Za teže elemente atomske težine rastu brže, što pokazuje da ima više neutrona od protona.

naboj i 2) **elektrona**, slobodnih naboja negativnog elektriciteta. (Sl. 57).

Ovde iznosimo, na osnovu gornjeg saznanja, nekoliko recepata iz »kompletnog kuvara Materije« koji pokazuju da je svako jelo pripremljeno u kosmičkoj kuhinji iz ostave dobro snabdevene nukleonima i elektronima:

VODA. Pripremite veliki broj atoma kiseonika, praveći svaki kombinacijom 8 neutralnih nukleona i 8 nukleona s nabojem i okružujući tako dobiveno jezgro jednom ljuskom od osam elektrona. Pripremite duplo više atoma vodonika dodajući jedan elektron nukleonima sa jednim nabojem. Dodajte dva atoma vodonika svakom atomu kiseonika: izmešajte molekule vode tako dobivene... i služite hladne u velikoj čaši.

KUHINJSKA SO. Pripremite atome natrijuma na taj način što ćete sastavljati 12 neutralnih nukleona i 11 nukleona s nabojem i što ćete dodavati svakom od tako formiranih jezgara po 11 elektrona. Pripremite jednak broj atoma hlora kombinujući po 18 ili 20 neutralnih nukleona i 17 nukleona s nabojem (izotopa). Dodajte svakom jezgru 17 elektrona. Rasporedite atome natrijuma i hlora u obliku trodimenzionalne šahovske table da biste dobili pravilne kristale soli.

TNT. Pripremite atome ugljenika kombinujući po 6 neutralnih nukleona i 6 neuklona s nabojem. Svakom jezgru dodajte po 6 elektrona. Pripremite atome azota od po 7 neutrona i 7 nukleona s nabojem. Svaki atom mora biti sa 7 elektrona oko jezgra. Pripremite atome kiseonika i vodonika po receptu gore iznetom (vidi: Voda). Sredite 6 atoma ugljenika u prsten sa sedmim atomom ugljenika izvan prstena. Prikačite tri para atoma kiseonika za tri atoma ugljenika u prstenu stavljajući uvek po jedan atom azota između kiseonika i ugljenika. Prikačite tri atoma vodonika ugljeniku izvan prstena i jedan vodonik za svaka od dva prazna mesta ugljenika u prstenu. Poređajte tako dobivene molekule u pravilan oblik da se napravi veliki broj malih kristala, pa ih presujte. Sa ovom smesom treba postupati pažljivo jer je nestabilna i jako eksplozivna.

Iako, kao što smo videli, neutroni, protoni i negativni elektroni pretstavljaju jedine potrebne »građevinske jedinice« za konstrukciju makoje materijalne supstance, ovaj spisak osnovnih čestica izgleda donekle nepotpun. Ustvari, elektroni pretstavljaju slobodne naboje negativnog elektriciteta; zašto ne možemo imati i slobodne naboje pozitivnog elektriciteta, to jest pozitivne elektrone?

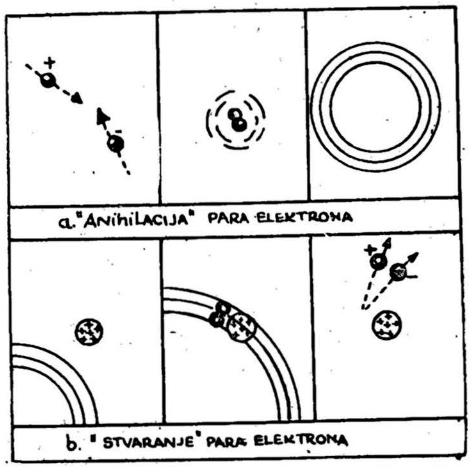
Ako neutron, koji pretstavlja osnovnu jedinicu materije, može da se jedinjenjem sa pozitivnim električnim nabojem pretvori u proton, zašto neutron ne može da postane i negativno naelektrisan i da na taj način obrazuje negativni proton?

I doista odgovor na gornje pitanje je sledeći: pozitivni elektroni, koji su vrlo slični običnim negativnim elektronima, sem u pogledu znaka njihovog naboja, ustvari postoje u prirodi. Ne može se poricati ni izvesna mogućnost postojanja negativnih protona iako eksperimentalna fizika još nije uspela da ih detektuje.

Uzrok što pozitivni elektroni i negativni protoni (ukoliko postoje) nisu tako obilni u našem fizičkom svetu kao što je to slučaj sa negativnim elektronima i pozitivnim protonima leži u tome što su ove dve grupe čestica, tako da kažemo, antagonističke jedna prema drugoj. Svako zna da se ove dve vrste elektriciteta, pozitivna i negativna, potiru ako ih spojimo. Na taj način, budući da dve vrste elektrona ne pretstavljaju ništa drugo do slobodne naboje pozitivnog i negativnog elektriciteta, ne treba očekivati da će postojati uporedo u istom predelu prostora. Ustvari, čim jedan pozitivni elektron susretne jedan negativni elektron, njihovi se naboji odmah neutrališu, i dva elektrona prestaju da postoje kao individualne čestice. Takav proces uzajamnog uništenja dvaju elektrona dovodi do stvaranja vrlo intenzivnog elektromagnetskog zračenja (gama (γ) zraci), koje se širi od tačke susreta i nosi sa sobom energiju dveju nestalih čestica. Prema jednom osnovnom zakonu fizike, energija se ne može niti stvoriti niti uništiti, i mi ovde vidimo samo pretvaranje elektrostatičke energije slobodnih električnih naboja u elektrodinamičku energiju zračnog talasa. Pojavu koja nastaje susretom pozitivnog i negativnog elektrona nazvao je profesor Born »divljim brakom«, a mnogo pesimističkiji profesor Braun (Brown) »uzajamnim samoubistvom« dvaju elektrona. Slika 58a grafički pretstavlja jedan takav susret.

Proces »uništenja« elektrona suprotnog naboja, ima i svoju suprotnost: »nastajanje parova«. To je proces u kome se formira jedan pozitivan i jedan negativan elektron prividno ni iz čega, kao rezultat jakog gama zračenja. Kažemo »prividno« ni iz čega jer svaki od ova dva novorođena elektrona nastaje na račun energije gama zrakova. I količina energije koju gama zraci moraju izgubiti da bi se formirao par elektrona sasvim je jednaka energiji oslobođenoj pri procesu anihilizacije (uništenja elektrona). Proces nastajanja parova, koji se pretežno odigrava kad upadno zračenje prolazi blizu atomskog jezgra pretstavljen je shematski na slici 58b.[4])

Ovde imamo primer formiranja dveju suprotnih vrsta elektriciteta tamo gde pre uopšte nije bilo naboja. Ovaj proces, međutim, ne treba smatrati ništa više iznenađujućim



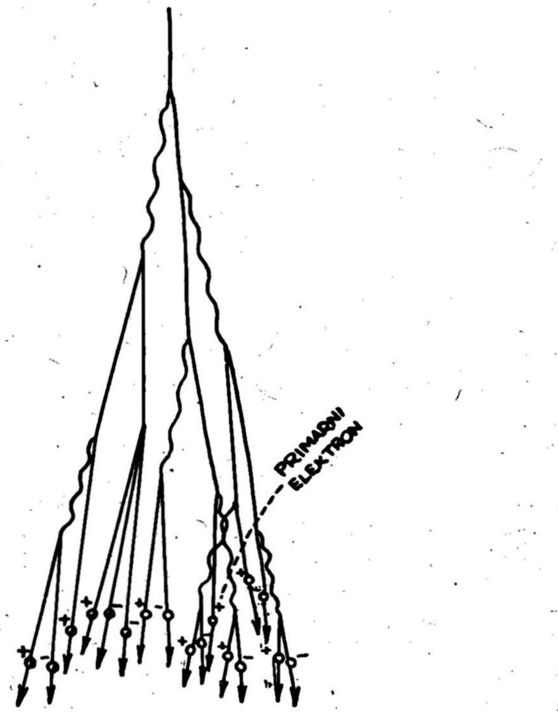
Sl. 58 — Shematska slika procesa »anihilacije« dva elektrona i stvaranja elektromagnetskog talasa kao i »stvaranja« para elektrona prolazom jednog talasa blizu jezgra atoma.

nego što je poznati eksperiment u kome jedan komadić ebonosa i komad vunene krpe postaju naelektrisani suprotnim elektricitetom kad se taru jedan o drugi. Pošto imamo dovoljno energije, u stanju smo da stvorimo koliko god želimo parova pozitivnih i negativnih elektrona, shvatajući, međutim, da će oni nestati u procesu uzajamne anihilacije »isplaćujući« nam svu količinu energije koju smo prvo utrošili.

Pojava »kosmičkih pljuskova« pretstavlja zanimljiv primer takve »masovne proizvodnje« elektronskih parova. Ti

[4]) Iako se, u principu, nastajanje para elektrona može dogoditi u potpuno praznom prostoru, proces nastajanja parova je znatno olakšan prisustvom električnog polja koje okružuje atomska jezgra.

pljuskovi nastaju u zemljinoj atmosferi pod uticajem snopova čestica visoke energije koji stižu na Zemlju iz međuzvezdanog prostora. Iako je poreklo ovih zrakova koji se pro-



Sl. 59 — Začetak jednog pljuska u vezi sa kosmičkim zrakom

stiru u svim pravcima ogromne praznine vasione još uvek jedna od nerešenih tajni prirode,[5]) ipak imamo prilično jasnu pretstavu o tome šta se događa kad elektroni koji se kreću

[5]) Najprostije, ali izgleda i najverovatnije tumačenje porekla ovih visokoenergetskih čestica koje se kreću brzinom od 99.9999999999999% brzine svetlosti je ono koje polazi od pretpostavke da su te čestice ubrzane vrlo visokim električnim potencijalima koji verovatno postoje između ogromnih maglina gasa i prašine što plove u kosmičkom prostoru. Ustvari, može se očekivati da takve međuzvezdane magline nagomilavaju električne naboje na sličan način kao što to čine obični oblaci u našoj atmosferi, i da su razlike u električnom potencijalu koje tako nastanu mnogo veće od onih koje prouzrokuju pojavu munja između oblaka za vreme atmosferskih bura.

ogromnom brzinom udare u više slojeve naše atmosfere. Prolazeći blizu jezgara atoma koji sačinjavaju atmosferu, primarni brzi elektron postepeno gubi svoju prvobitnu energiju, koja je emitovana u vidu gama zraka duž čitave njegove putanje (sl. 59). Ovo zračenje prouzrokuje brojne procese stvaranja parova i novostvoreni pozitivni i negativni elektroni kreću se munjevito po putanji primarne čestice. Kako sadrže vrlo veliku energiju, ovi sekundarni elektroni prouzrokuju dalje gama zračenje, koje, zatim, proizvodi nove parove elektrona. Ovaj se proces umnožavanja ponavlja mnogo puta za vreme prolaska kroz atmosferu, tako da primarni elektron konačno stigne do zemljine površine praćen rojem sekundarnih elektrona, od kojih su polovina pozitivni, a polovina negativni. Takvi isti kosmički pljuskovi mogu se proizvesti kad brzi elektroni prolaze kroz čvrsta materijalna tela, gde se, usled veće gustine, ovi procesi rakljanja događaju mnogo češće (vidi fotografiju IIA).

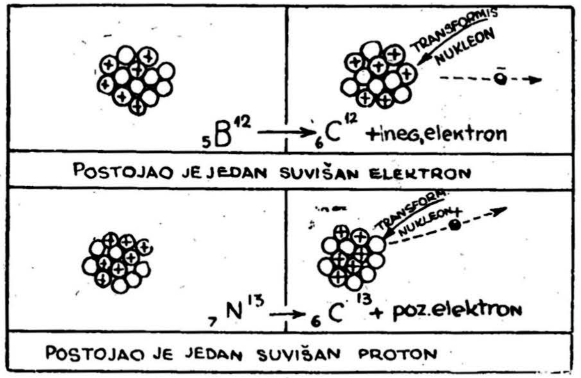
Razmotrimo sada malo mogućnost postojanja negativnih protona. Moglo bi se očekivati da će ovakva čestica nastati tako što će se neutron sjediniti sa negativnim nabojem ili, što je isto, izgubiti pozitivni. Lako je razumeti, međutim, da takav negativan proton, kao god i pozitivan elektron, ne bi mogao da postoji vrlo dugo u materiji. Oni bi, ustvari, bili odmah privučeni i apsorbovani od najbližeg pozitivno naelektrisanog jezgra atoma i najverovatnije bili pretvoreni u neutrone pošto uđu u strukturu jezgra. Ako takvi protoni, dakle, stvarno postoje, a oni bi doprineli simetriji današnje tabele elementarnih čestica, ne bi bilo lako utvrditi njihovo postojanje. Ne treba zaboraviti da su pozitivni elektroni otkriveni skoro pola veka pošto je pojam običnog negativnog elektrona uveden u nauku. Pretpostavljajući da postoje negativni protoni, mogli bismo zamisliti atome i molekule koji bi, da se tako izrazimo, pretstavljali premetnute slike u odnosu na one postojeće. Njihova jezgra, sastavljena iz običnih neutrona i negativnih protona, morala bi biti okružena ljuskama pozitivnih elektrona. Ovi »obrnuti« atomi imali bi svojstva potpuno identična sa svojstvima običnih atoma i bilo bi nemoguće utvrditi razliku između »obrnute« vode, »obrnutog« putera itd. i običnih supstanci s tim imenom. I ne bi bilo načina da se utvrdi razlika među njima sem kad bismo te dve vrste materijala izmešali. A kad bismo te dve suprotne vrste supstanci izmešali, proces uzajamnog uništenja suprotno naelektrisanih elektrona jednovremeno sa uzajamnom neutralizacijom suprotno naelektrisanih nukleona doveli bi do eksplozije koja bi bila daleko većih razmera od atomske bombe. Može biti da postoje zvezdani sistemi koji su izgrađeni od takvog suprotnog materijala. U tom slučaju jedan običan kamen bačen sa našeg sistema na taj koji je izgrađen na drugi način, i obratno, pretvorio bi se odmah u atomsku bombu čim tamo stigne.

Sad ćemo napustiti ova donekle fantastična razmatranja o obrnutim atomima i proučiti još jednu vrstu elementarnih čestica, koja — ništa manje neobična — igra stvarnu ulogu u raznim merljivim fizičkim procesima. To su tzv. »neutrini«, koji su ušli u fiziku takoreći »na zadnja vrata« i, uprkos vike koja se čuje protiv njih s mnogih strana, danas zauzimaju nepoljuljani položaj u porodici elementarnih čestica. Utvrđivanje tih čestica i njihov pronalazak pretstavljaju jednu od najuzbudljivijih detektivskih priča moderne nauke.

Otkriće neutrina izvršeno je metodom koji bi matematičari nazvali »reductio ad absurdum«. Ovo uzbudljivo otkriće počelo je ne činjenicom da se utvrdilo da nešto postoji, već da nešto nedostaje. Ono što je nedostajalo bila je energija. Pa kako se energija, na osnovu jednog od najstarijih i najstabilnijih zakona fizike, ne može ni stvoriti ni untištiti, otkriće da energije nema u jednom procesu u kome bi je moralo biti ukazalo je da mora da postoji neki lopov, ili banda lopova koja je tu energiju odnela. I tako su detektivi nauke, čiji mozgovi i inače vole da daju imena stvarima čak i kad ih ne mogu da vide, nazvali ove lopove energije »neutrinima«.

Ali ovo je već malo preuranjeno istrčavanje. Vratimo se malo početnim činjenicama velikog »skandala krađe energije«: Kao što smo ranije videli, jezgro atoma sastoji se iz nukleona, od kojih je po prilici polovina neutralnih (neutrona) a ostatak naelektrisanih pozitivnim elektricitetom. Ako se poremeti ravnoteža između relativnog broja neutrona i protona u jezgru — dodatkom jednog ili više neutrona ili protona, mora neophodno doći do električnog uravnoteženja. Bude li previše neutrona, izvestan broj njih će se pretvoriti u protone, emitujući jedan negativni elektron koji napušta jezgro. Bude li pak premnogo protona, izvestan broj njih će se pretvoriti u neutrone, emitujući jedan pozitivni elektron. Dva procesa ove vrste ilustrovana su na slici 60.

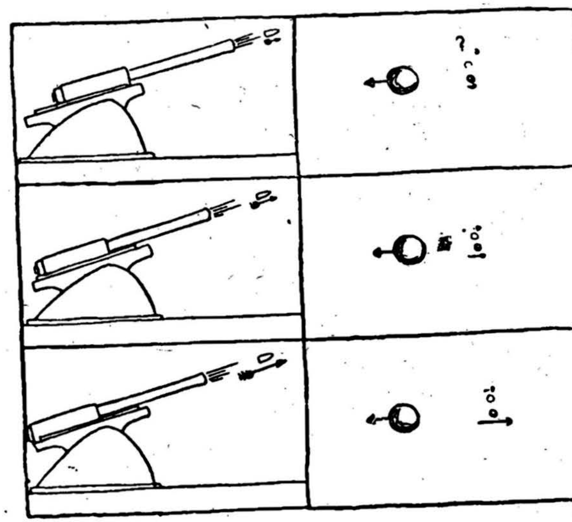
Takva električna uravnoteženja atomskog jezgra poznata su pod imenom proces beta-raspadanja, a elektroni koje jezgro emituje zovu se beta (β)-čestice. S obzirom da je unutarnji preobražaj jezgra dobro definisan proces, taj proces mora biti povezan sa oslobođenjem određene količine energije, koju odnosi emitovani elektron. Stoga bi se moglo očekivati da će elektroni koje emituje jedna supstanca imati svi istu brzinu. Ali eksperimentalne činjenice u vezi s procesima beta-raspadanja bili su u direktnoj protivrečnosti s ovakvim očekivanjem. Utvrđeno je da elektroni koje emituje jedna određena supstanca imaju različite kinetičke energije: od nule do iz-



Sl. 60 — Shema negativnog i pozitivnog beta raspada (radi jednostavnijeg pretstavljanja svi su neukloni nacrtani u jednoj ravni).

vesne gornje granice. Kako nisu bile detektovane nikakve druge čestice u takvom procesu i nikakva zračenja koja bi uravnotežila ovo pomanjkanje energije, »skandal nestale energije« u procesima beta-raspadanja postao je sasvim ozbiljan. Verovalo se neko vreme da se ovde radi o prvom eksperimentalnom dokazu da čuveni zakon konservacije energije više ne vredi, što bi bilo katastrofalno za svu velelepnu zgradu fizičke teorije. Ali postojala je još jedna mogućnost: možda je nestalu energiju odnela neka nova vrsta čestica, koje nisu bile primećene nijednim od eksperimentalnih metoda. Pauli je sugerirao da bi ulogu takvog »Bagdadskog lopova« nuklearne energije mogle da igraju hipotetične čestice nazvane **neutrini,** koje nemaju električnog naboja i čija masa ne prevazilazi masu običnog elektrona.

Moglo bi se stvarno zaključiti na osnovu poznatih činjenica o uzajamnom delovanju brzih čestica i materije, da se tako neutralne, lake čestice ne bi mogle primetiti nijednim postojećim fizičkim uređajem, i da bi prošle bez ikakve teškoće kroz ogromne debljine materije. Tako, dok bi vidljiva svetlost bila potpuno zaustavljena jednim tankim listićem metala, visoko prodorni X i gama zraci bi prodrli kroz desetinu santimetara olova pre nego što bi bili znatno umanjeni po intenzitetu, snop neutrina bi lako prošao bez ikakve teškoće kroz sloj olova debeo nekoliko svetlosnih godina. Nije stoga nikakvo čudo da se neutrini ne daju podrvći bilo kakvom posmatranju i da se njihovo postojanje može utvrditi samo pomanjkanjem energije prouzrokovanim njihovim bekstvom.



Sl. 61 — Problem trzaja u artiljeriji i nuklearnoj fizici

Ali iako je nemoguće uhvatiti ove neutrine pošto jednom već napuste jezgro, ima načina da se izučava jedan sekundarni efekat prouzrokovan njihovim odlaskom. Kad opalite pušku, ona vas udari u rame, a veliki top se trgne unazad na točkovima kad izbaci veliku granatu. Sličan efekat mehaničkog uzmaka može se očekivati od atomskih jezgara koja izbacuju brze čestice, i ustvari primećeno je da jezgra koja izbacuju beta-čestice dobiju izvesnu brzinu u pravcu suprotnom od izbačenog elektrona. Čudna pojava pri ovom trzaju jezgra je u tome, što je njegova brzina otprilike uvek ista (slika 61) bez obzira na to da li je izbačeni elektron brz ili spor. Ovo je zaista čudno jer bi se moglo očekivati da će brzi projektili proizvesti jači trzaj topa nego spori. Ova zagonetka tumači se činjenicom da jezgro zajedno sa elektronom uvek emituje i neutrino koji odnosi ostatak energije. Ako se elektron kreće brzo, noseći sa sobom većinu raspoložive energije, neutrino se kreće sporo i obratno. Zato je mereni uzmak jezgra uvek jak usled kombinovanog efekta obeju čestica. Ako ovaj efekat ne dokazuje postojanje neutrina, onda ga ništa neće dokazati.

Sad ćemo sumirati rezultate čitavog ovog razmatranja i izneti potpunu listu elementarnih čestica koje učestvuju u srukturi vasione i odnose koji postoje među njima.

Pre svega imamo nukleone koji pretstavljaju osnovne materijalne čestice. Nukleoni su, sudeći na osnovu dosada poznatih činjenica, ili neutralni ili pozitivno naelektrisani, ali je moguće da neki imaju i negativni naboj.

Zatim imamo elektrone koji pretstavljaju slobodne naboje bilo pozitivnog bilo negativnog elektriciteta.

Postoje takođe i tajanstveni neutrini, koji nemaju naelektrisanja i koji su, pretpostavlja se, lakši od elektrona.[6])

I konačno imamo elektromagnetne talase, koji igraju ulogu u širenju električnih i magnetskih sila kroz prazan prostor.

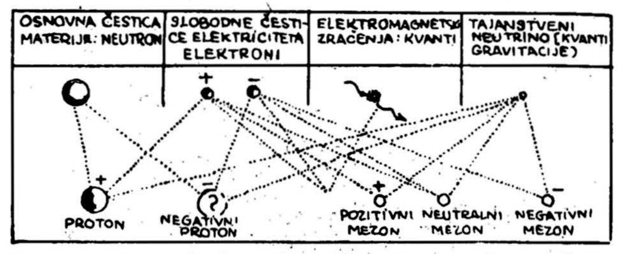
Svi ovi osnovni sastojci fizičkog sveta zavisni su jedan od drugog i mogu se kombinovati na razne načine. Tako, naprimer, neutron se može pretvoriti u proton i emitovati jedan negativni elektron i neutrino (neutron → proton + neg. elektron + neutrino); a proton se može ponovo pretvoriti u neutron emitujući pozitivni elektron i neutrino (proton → neutron + pozitivni elektron + neutrino). Dva elektrona sa suprotnim električnim nabojima mogu se transformisati u elektromagnetno zračenje (pozitivni elektron + negativni elektron → zračenje) ili suprotno tome mogu nastati iz zračenja (zračenje → pozitivni elektron + negativni elektron). Konačno, neutrini se mogu komibnovati sa elektronima, stvarajući nestabilne jedinice koje se primećuju u kosmičkim zra-

[6]) Najnoviji eksperimentalni materijal ukazuje na to da neutrino nije teži od jedne desetine jednog elektrona.

cima a poznate su kao **mezoni**, ili prilično netačno, »teški elektroni« (neutrino + pozitivni elektron → pozitivni mezon; neutrino + negativni elektron → negativni mezon; neutrino + pozitivni elektron + negativni elektron → neutralni mezon).

Kombinacije neutrina sa elektronima pretovarene su unutarnjom energijom što ih čini oko sto puta težim od kombinovanih masa njihovih sastavnih delova.

Slika 62 pokazuje shematsku tabelu elementarnih čestica koje učestvuju u strukturi vasione.

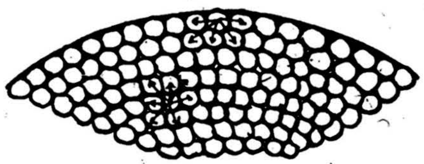


Sl. 62 — Tabela elementarnih čestica moderne fizike i raznih kombinacija između njih

»Ali, je li ovo kraj?«, možda ćete pitati. »Kakvo pravo imamo da pretpostavimo da su nukleoni, elektroni i neutrini zaista elementarni i da se ne mogu deliti u još manje sastavne delove? Zar pre samo pola veka nije važila pretpostavka da su atomi nedeljivi? A kako je komplikovana slika atoma danas!« Tu je odgovor sledeći: iako se ne može predvideti budući razvitak nauke o materiji, mi imamo danas mnogo temeljitije razloge za ubeđenje da su naše elementarne čestice zaista osnovne jedinice i da se one više ne mogu deliti. Dok su tobožnji nedeljivi atomi ispoljavali veliku raznovrsnost u priličnom broju složenih hemiskih, optičkih i drugih svojstava, svojstva elementarnih čestica moderne fizike su neobično jednostavna ustvari; u svojoj jednostavnosti ona mogu biti upoređena sa svojstvima geometriskih tačaka. Pored toga, umesto velikog broja »nedeljivih atoma« klasične fizike, mi sada raspolažemo sa svega tri u osnovi različite jedinice: nukleoni, elektroni i neutrini. I uprkos velike želje i napora da se svede sve na najjednostavniji oblik, ipak nešto se ne može svesti na ništa. Na taj način izgleda da smo zaista došli do kraja u našoj potrazi za osnovnim elementima iz kojih se sastoji materija.

2. Srce atoma

Pošto smo se temeljito upoznali sa prirodom i svojstvima elementarnih čestica koje učestvuju u strukturi materije, možemo se pozabaviti malo detaljnijim izučavanjem srca svakog atoma, to jest njegovog jezgra. Dok se struktura spoljnjeg dela atoma može u izvesnoj meri uporediti s jednim minijaturnim planetarnim sistemom, struktura samog jezgra pretstavlja sasvim drugačiju sliku. Očevidno je pre svega da sile koje važe unutar jezgra ne mogu biti čisto električne prirode, jer polovina nuklearnih čestica, neutroni, nemaju električnog naboja, dok je druga polovina tih čestica, protoni, sva pozitivnog naboja i zato se te čestice odbijaju



Sl. 63 — Tumačenje sila površinskog napona u tečnosti

jedna od druge. I nemoguće je dobiti stabilnu grupu čestica ako između njih postoje samo odbojne sile.

Da bi se razumelo zašto se sastavni delovi jezgra drže sjedinjeni, neophodno je pretpostaviti da između njih postoje sile druge vrste, po prirodi privlačne, koje deluju na neutralne nukleone kao god i one s nabojem. Takve sile koje uprkos prirode čestica u pitanju drže te čestice na okupu opšte su poznate pod imenom »kohezione sile« i susreću se, naprimer, u običnim tečnostima gde sprečavaju pojedine molekule da se razlete u svim pravcima.

U atomskim jezgrima deluju slične sile između nukleona, i sprečavaju da se jezgro raspadne pod silom električnog odbijanja među protonima. Na taj način, za razliku od spoljnjeg dela atoma gde postoji dovoljno prostora da se kreću elektroni koji sačinjavaju različite ljuske, u jezgru je veliki broj nukleona tesno spakovan kao sardine u konzervi. Kao što je na to prvi skrenuo pažnju autor ove knjige, može se pretpostaviti da je materijal atomskog jezgra konstruisan otprilike kao i svaka obična tečnost. I kao u slučaju običnih tečnosti, mi i u jezgru imamo važnu pojavu površinskog na-

Sl. 64 — »Deimos«

pona. Pojava površinskog napona u tečnostima stvara se na osnovu činjenice što su čestice na površini podvrgnute silama koje ih privlače u unutrašnjost tečnosti dok čestice u unutrašnjosti privlače jedna drugu podjednako u svim pravcima (slika 63).

Usled ovoga jedna kap tečnosti koja nije podvrgnuta spoljnim silama ima tendenciju da primi sferični oblik, jer je sfera onaj geometriski oblik koji poseduje najmanju površinu za datu zapreminu. To nas vodi zaključku da su **atomska jezgra raznih elemenata prosto kapljice raznih veličina jedne sveopšte »nuklearne tečnosti«.** Ali ne smemo zaboraviti da je nuklearna tečnost, iako kvalitativno vrlo slična običnim tečnostima, kvantitativno sasvim različita. Njena gustina prevazilazi gustinu vode za faktor otprilike 240,000,000,000,000 a njegove sile površinskog napona su za oko 1,000,000,000,000,000,000 puta veće od sličnih sila vode. Da bi ovi ogromni brojevi bili malo razumljiviji razmotrimo sledeći primer. Pretpostavimo da imamo ram od žice oblika sličnog naopako okrenutom velikom slovu U. Taj bi ram bio oko 5 santimetara širok — slika 64 prikazuje ga, dakle, u originalnoj veličini. Krakove ovog rama poklapa komad prave žice, a povrh tako obrazovanog kvadrata razapet je film od sapuna. Površinske sile filma vući će slobodni krak žice na gore. Te sile površinskog napona mogu se uravnotežiti ako obesimo mali teg na poprečnu žicu. Ako je film od obične vode s malo rastvorenog sapuna i ako je, recimo, 0,01 milimetara debeo, težiće oko $1/4$ grama, a celokupna težina koju će moći da održi biće $3/4$ grama.

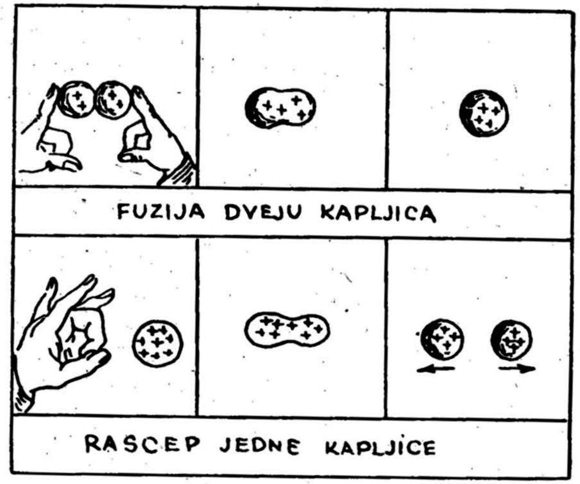
A kada bismo mogli da napravimo sličan film od nuklearne tečnosti, celokupna težina filma iznosila bi oko pedeset miliona tona (približno jednako težini hiljade prekookeanskih brodova); na poprečnu pak žicu mogli bismo obesiti teg od hiljadu milijardi tona, što je, grubo uzeto, jednako masi »Deimosa«, drugog Marsovog satelita. Da bi se naduvao jedan mehurić od nuklearne tečnosti, bio bi potreban zaista jak par pluća.

Ako gledamo na atomska jezgra kao na kapljice nuklearne tečnosti, ne smemo prevideti da su te kapljice naelektrisane, budući da protoni sačinjavaju oko polovinu čestica od kojih se sastoji jezgro. Sile električne repulzije između čestica od kojih se sastoji jezgro, dakle sile koje teže da razbiju jezgro na dva ili više delova, potiru se sa silama površinskog na-

pona koje imaju tendenciju da spreče njegovo raspadanje. U ovome leži glavni uzrok nestabilnosti atomskih jezgara. Ako su površinske sile jače, jezgro se neće nikad raspasti samo od sebe, i dva jezgra koja dolaze u dodir jedno s drugim imaće tendenciju da se spoje, baš kao što je slučaj s dvema kapljicama.

Ako su, obrnuto, električne sile repulzije jače, jezgro će pokazati tendenciju da se spontano raspadne na dva ili više delova, koji će se razleteti velikom brzinom. Takav proces raspadanja obično se naziva rascep ili fisija.

Bor i Viler (Wheeler) (1939) izvršili su tačna računanja o ravnoteži sila površinskog napona i električnih sila u jezgrima za razne elemente. Ti računi su doveli do sledećeg,



Sl. 65 — Rascep i fuzija dveju kapljica

vrlo važnog zaključka: dok su u svim jezgrima u prvoj polovini periodičnog sistema, otprilike do srebra, sile površinskog napona dominantne, električne odbojne sile dominiraju kod svih težih jezgara. Stoga su jezgra svih elemenata težih od srebra uglavnom nestabilna, i pod dejstvom jednog udara spolja moraju se raspasti na dva ili više delova oslobađajući znatnu količinu unutarnje energije jezgra (slika 65a).

Treba imati na umu, međutim, da normalno neće doći ni do fuzije dvaju lakih jezgara, ni do fisije jednog težeg jezgra ako se nešto ne preduzme pre toga. Da bismo doveli do fuzije dva laka jezgra, mi ih moramo zbližiti nasuprot odbojnim silama između njihovog naboja. A da bismo doveli do rascepa jednog težeg jezgra, moramo ga zatreperiti do jedne dovoljno velike amplitude, zadajući mu jak udar.

Stanje u kome jedan određeni proces neće otpočeti bez početnog potsticanja opšte je poznato u nauci pod imenom **stanje metastabilnosti.** Kao primer za takvo stanje može poslužiti makoja stena što visi nad ponorom, šibica u vašem džepu ili punjenje TNT u bombi. U svakom slučaju imamo veliku količinu energije koja čeka da bude oslobođena, ali stena neće krenuti na dole ako se ne gurne, šibica se neće zapaliti ako se ne zagreje trenjem o kutiju, đon ili što slično, a TNT neće eksplodirati bez fitilja. Činjenica da živimo u svetu u kome praktično svaki predmet, izuzev srebrnog[7]) dosvetu u kome praktično svaki predmet, izuzev srebrnog[7]) dolara, pretstavlja potencijalni nuklearni eksploziv a što se nismo razleteli u paramparčad posledica je ogromnih teškoća kojom se otpočinje jedna nuklearna reakcija ili, rečeno naučnim jezikom, krajnje visokim aktivacionim energijama nuklearnih transformacija.

U pogledu nuklearne energije mi živimo (ili bolje reći živeli smo doskora) u svetu sličnom onom u kome boravi Eskim koji živi pod temperaturom ispod temperature smrzavanja i za koga je jedino čvrsto telo led, a alkohol jedina tečnost. Takav Eskim nikad nije čuo za vatru pošto se vatra ne može napraviti trljajući dva komada leda, i smatraće da alkohol nije ništa drugo do prijatno piće, pošto on neće imati nikakvog načina da povisi njegovu temperaturu do tačke zapaljivosti.

I čuđenje čovečanstva koje je izazvao nedavno otkriveni proces oslobađanja u velikim razmerama energije sakrivene u unutrašnjosti atoma može se uporediti sa zapanjenošću našeg Eskima kad mu je prvi put pokazana obična alkoholska lampica.

Kad se jednom započne nuklearna reakcija rezultati su srazmerno veliki prema teškoćama koje smo imali da je započnemo. Uzmite, naprimer, mešavinu atoma ugljenika i kiseonika. Sjedinjujući se hemiski na osnovu jednačine

$$O + C \rightarrow CO + \text{energija}$$

[7]) Treba zapamtiti da jezgro srebra nije podložno ni procesu fuzije ni fisije.

ove će supstance dati 920 kalorija po gramu mešavine.[8]) Ako umesto običnog hemiskog jedinjenja (molekularna fuzija) (slika 66a) između dve atomske vrste imamo alhemisko jedinjenje (nuklearna fuzija) između njihovih jezgara (sl. 66b).

$$_6C^{12} + {_8O^{16}} = {_1}Si^{28} + \text{energija}$$

energija oslobođena po gramu mešavine biće 14,000000000 kalorija, tj. 15 miliona puta više.

Slično tome raspadanje jednog kompleksnog molekula TNT u molekul vode, ugljenik-monoksida, ugljenik-dioksida i azota (molekularna fuzija) oslobađa oko hiljadu kalorija po gramu, dok će nam ista količina recimo žive procesom nuklearnog raspada dati ukupno deset milijardi kalorija. Ne treba, međutim, zaboraviti na to da će se većina hemiskih reakcija lako odigrati na temperaturama od nekoliko stotina stepeni, dok odgovarajuće nuklearne transformacije neće ni otpočeti pre nego što temperature dosegnu nekoliko miliona stepeni. Ova teškoća započinjanja nuklearnih reakcija objašnjava vrlo umirujuću činjenicu da trenutno ne postoji opasnost da se čitava vasiona pretvori u čisto srebro jednom ogromnom eksplozijom.

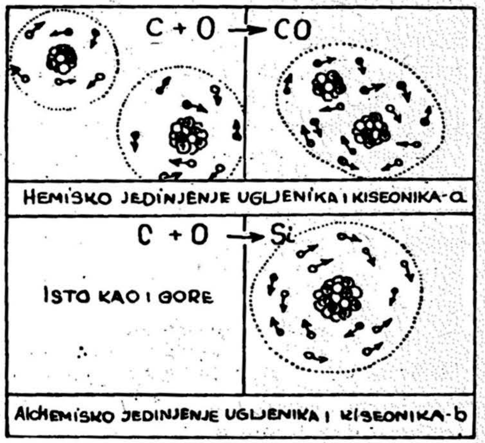
3. Razbijanje atoma

Atomske težine, kao što je rečeno, približno su jednake celim brojevima. Mada ta činjenica pretstavlja jak argumenat u prilog složenosti atomskih jezgara, konačni dokaz takve složenosti može se postići samo direktnim eksperimentalnim dokazima o mogućnosti razbijanja jezgra u dva ili više odvojenih delova.

Prva indicija da može doći do takvoga procesa raspada uočena je pre 50 godina (1896 godine) Bekerelovim (Becquerel) otkrićem radioaktivnosti. Tada je dokazano da vrlo prodorni zraci (slični običnim zracima X) koje spontano emituju atomi elemenata pri kraju periodičnog sistema kao što su uran i torium, dolazi usled sporog spontanog raspada tih atoma. Vrlo pažljivo eksperimentalno izučavanje ove novootkrivene pojave uskoro je dovelo do zaključka da se raspad jednog teškog jezgra sastoji iz njegovog spontanog raspada na dva izričito nejednaka dela: 1) mali deo poznat pod ime-

[8]) Kalorija je jedinica toplote definisana kao energija potrebna da se temperatura 1 gr. vode povisi za jedan stepen C.

nom **alfa čestica**, tj. atomsko jezgro helijuma i 2) ostatak prvobitnog jezgra koji je sad jezgro elementa-kćeri. Kad se prvobitno jezgro urana raspadne emitujući alfa-čestice, novonastalo jezgro elementa-kćeri, poznato kao uran X_1, prolazi kroz proces unutrašnjeg električnog prilagođavanja, emitujući dva slobodna naboja negativnog elektriciteta (obični elektroni) i pretvarajući se u jezgro izotopa urana koje je za četiri jedinice lakše od prvobitnog jezgra urana. Ovome električnom sređivanju sledi serija emisija alfa-čestica, zatim nova električna sređivanja dok konačno ne dođemo do jezgra atoma olova koje je stabilno i ne raspada se.



Sl. 66 — Spoj ugljenika i kiseonika

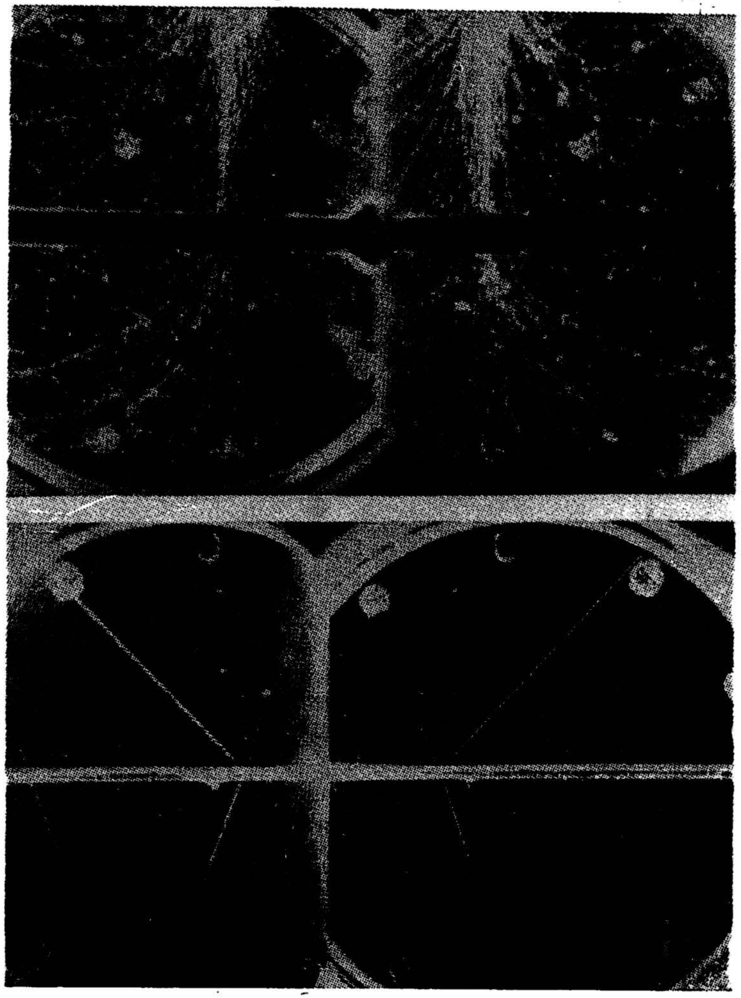
Slična serija radioaktivnih transformacija — s naizmeničnom emisijom alfa-čestica i elektrona — utvrđena je i za druge dve radioaktivne porodice: porodica torijuma, koja počinje s teškim elementom torijumom, i porodica aktinijuma, koja počinje sa elementima poznatim kao aktino-uran. U sve ove tri porodice procesi spontanog raspadanja traju sve dok se ne dostignu tri različita izotopa olova.

Neki ljubopitljivi čitalac verovatno će biti iznenađen upoređenjem gornjeg opisa spontanog radioaktivnog raspadanja sa izlaganjem u prethodnom odeljku. Tamo je, kao što se sećate, rečeno da se **nestabilnost atomskog jezgra može očekivati kod svih elemenata u drugoj polovini periodičnog sistema,** gde su razbijačke električne sile jače od sila povr-

(Snimili: Dr. G. Oster i Dr. W. M. Stenli)

FOTOGRAFIJA VI

Živi molekuli? Virusi Duvanskog mozaika uveličani 34.800 puta. Slika je dobijena pomoću elektronskog mikroskopa

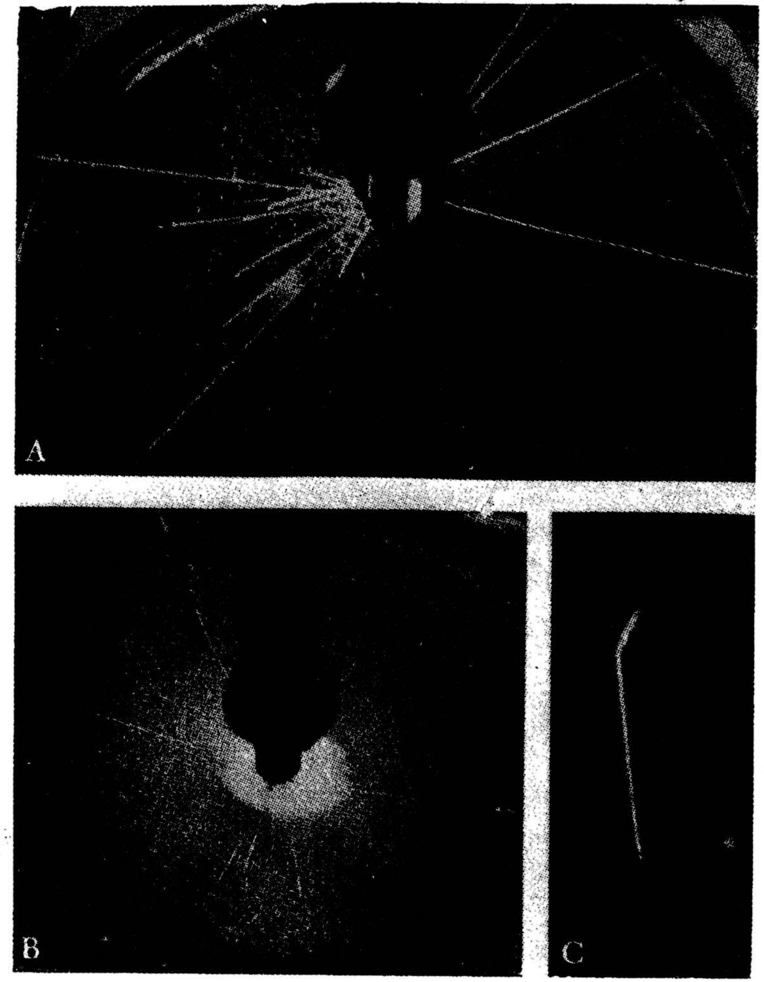


(Foto: Karla Andersona sa Kaliforniskog tehnološkog instituta)

FOTOGRAFIJA II

A. *Kosmički pljusak. Počinje od spoljnjeg zida Vilsonove komore, pa opet od olovne ploče u sredini. Pozitivni i negativni elektroni koji obrazuju pljusak skrenuti su u suprotnim pravcima pomoću magnetnog polja*

B. *Pod uticajem kosmičke čestice raspada se jezgro u srednjoj ploči*



(Fotografija: Drs. Dee i Feather u Kembridžu)

FOTOGRAFIJA III

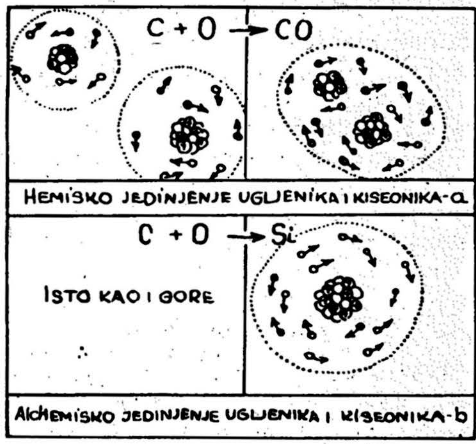
Transformacije atomskog jezgra prouzrokovane veštačkim ubrzanjem projektila

A. *Jedan brzi deutron sudara se s drugim deutronom iz teškog vodonikovog gasa u komori, stvarajući jezgro tritijuma i običan vodonik* (${}_1D^2 + {}_1D^2 \rightarrow {}_1T^3 + {}_1H^1$)

B. *Jedan brzi proton sudara se s jezgrom borona, razbijajući ga u tri jednaka dela* (${}_5B^{11} + {}_1H^1 = 3\,{}_2He^4$)

C. *Jedan neutron koji dolazi s leve strane i koji se ne vidi na fotografiji razbija jezgro nitrogena u jezgro borona (gornji trag) i jezgro helijuma (donji trag)* (${}_7N^{11} + {}_0n^1 \rightarrow {}_5B^{11} + {}_2He^4$)

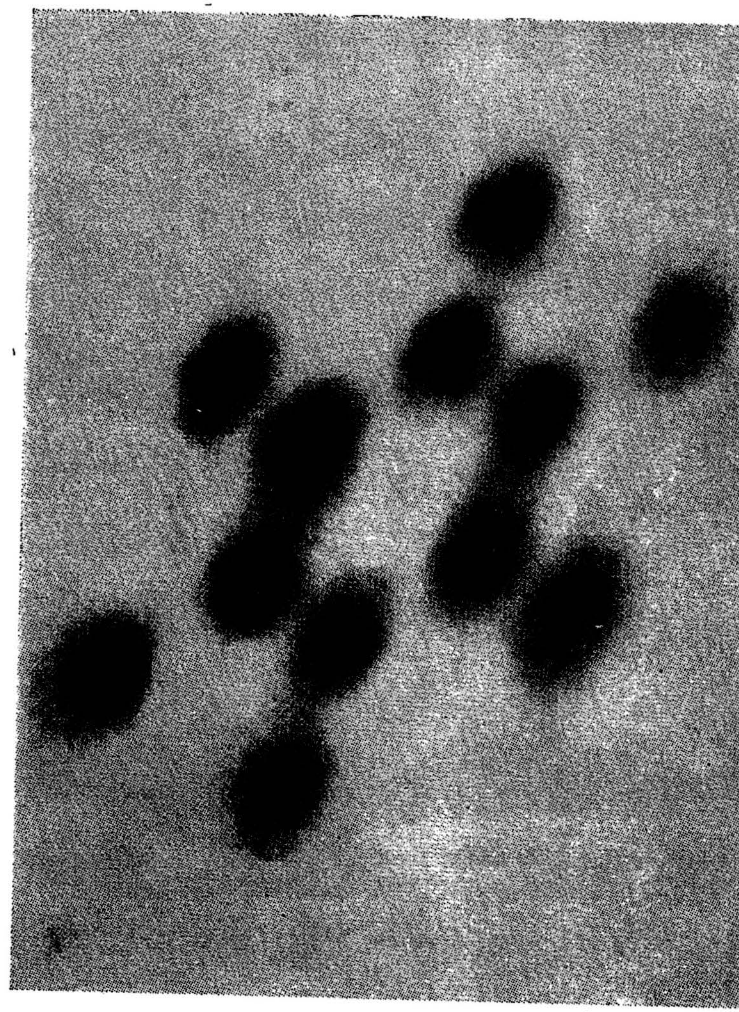
nom **alfa čestica**, tj. atomsko jezgro helijuma i 2) ostatak prvobitnog jezgra koji je sad jezgro elementa-kćeri. Kad se prvobitno jezgro urana raspadne emitujući alfa-čestice, novonastalo jezgro elementa-kćeri, poznato kao uran X_1, prolazi kroz proces unutrašnjeg električnog prilagođavanja, emitujući dva slobodna naboja negativnog elektriciteta (obični elektroni) i pretvarajući se u jezgro izotopa urana koje je za četiri jedinice lakše od prvobitnog jezgra urana. Ovome električnom sređivanju sledi serija emisija alfa-čestica, zatim nova električna sređivanja dok konačno ne dođemo do jezgra atoma olova koje je stabilno i ne raspada se.



Sl. 66 — Spoj ugljenika i kiseonika

Slična serija radioaktivnih transformacija — s naizmeničnom emisijom alfa-čestica i elektrona — utvrđena je i za druge dve radioaktivne porodice: porodica torijuma, koja počinje s teškim elementom torijumom, i porodica aktinijuma, koja počinje sa elementima poznatim kao aktino-uran. U sve ove tri porodice procesi spontanog raspadanja traju sve dok se ne dostignu tri različita izotopa olova.

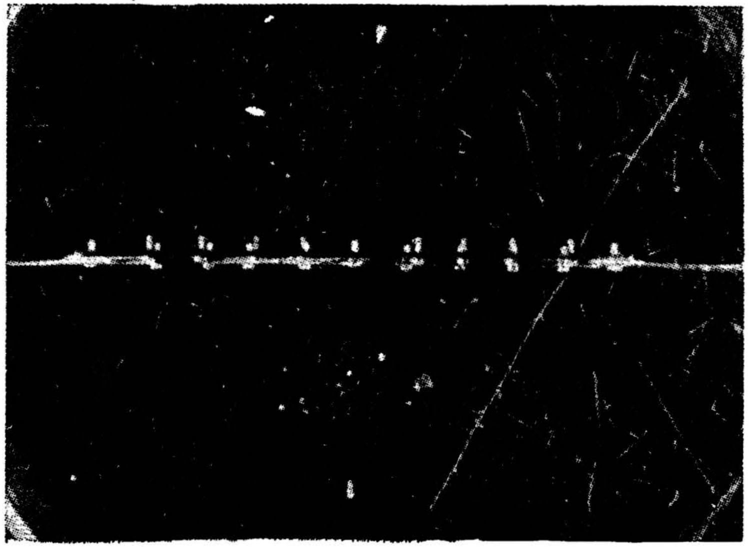
Neki ljubopitljivi čitalac verovatno će biti iznenađen upoređenjem gornjeg opisa spontanog radioaktivnog raspadanja sa izlaganjem u prethodnom odeljku. Tamo je, kao što se sećate, rečeno da se **nestabilnost atomskog jezgra može očekivati kod svih elemenata u drugoj polovini periodičnog sistema,** gde su razbijačke električne sile jače od sila povr-



(Predusretljivošću Dr. M. L. Haginsa, Istman Kodak laboratorija)

FOTOGRAFIJA I

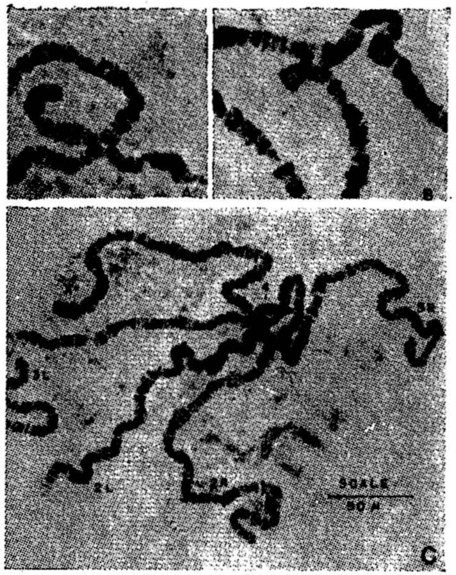
Fotografija molekula heksametilbenzina. Uveličanje: 175,000.000 puta



(Fotografija: T. K. Bogild, K. T. Brostrom i Tom Loricen iz Instituta za teorisku fiziku u Kopenhagenu)

FOTOGRAFIJA IV

Fotografija cepanja jezgra u komori. Neutron (koji se, naravno, ne vidi na fotografiji) sudara se s jednim od uranijumovih jezgra u tankom sloju postavljenom preko cele širine komore. Dva traga pretstavljaju dva delića cepanja, koji odleću energijom od otprilike 100 Mev svaki



(Iz »Drosofila vodič«, od M. Demereka i B. P. Kaufmana, Wašington, Karnedžijeve zadužbine u Vašingtonu, 1945. Upotrebljena s dozvolom g. Demereka)

FOTOGRAFIJA V

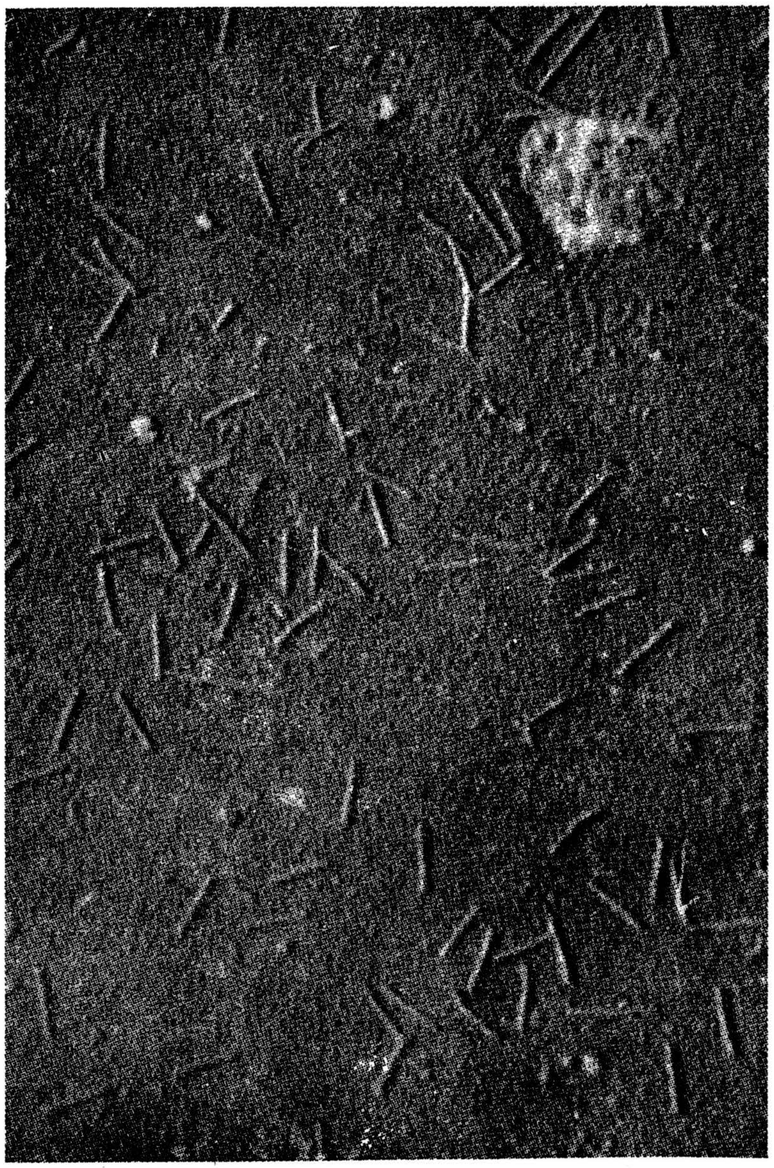
A. i B. *Mikrofotografije hromozoma iz pljuvačne žlezde D. melanogaster-a, koje pokazuju inverziju i recipročnu translokaciju*

C. *Mikrofotografija ženske larve D. melanogaster-a. X+X hromozomi, tesno spareni, strana uz stranu; 2L i 2R — leva i desna noga sparenih drugih hromozoma; 3L i 3R — treći hromozomi; 4 — četvrti hromozomi*

(Snimili: Dr. G. Oster i Dr. W. M. Stenli)

FOTOGRAFIJA VI

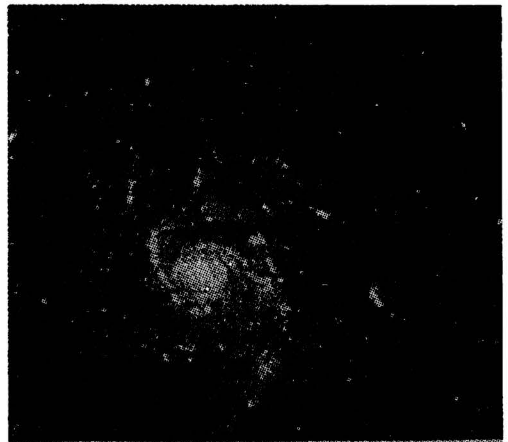
Živi molekuli? Virusi Duvanskog mozaika uveličani 34.800 puta. Slika je dobijena pomoću elektronskog mikroskopa

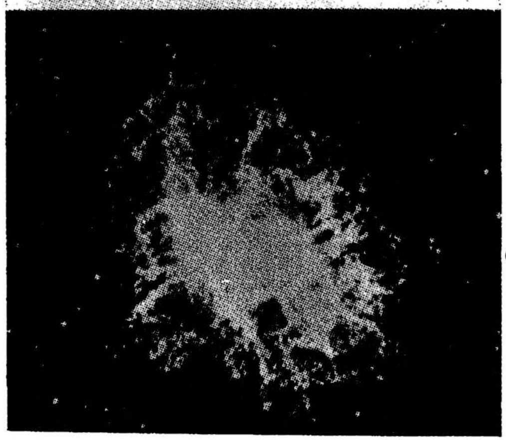


(Snimili: Dr. G. Oster i Dr. W. M. Stenli)

FOTOGRAFIJA VI

Živi molekuli? Virusi Duvanskog mozaika uvelićani 34.800 puta. Slika je dobijena pomoću elektronskog mikroskopa





(Sve tri fotografije snimio W. Bad, opserv. Mt. Vilson)

FOTOGRAFIJA VII

A. *Spiralna maglina u Velikom Medmevu viđena odozgo*

B. *Spiralna maglina u Berenićinoj Kosi, snimljena bočno*

FOTOGRAFIJA VIII

Rak-magline. Gasoviti omotač izbacila je supernova koju su na istom mestu neba primetili kineski astronomi 1054 godine

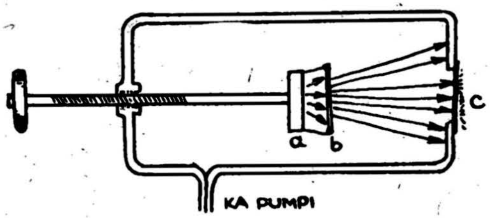
šinsk
koma
je on
kao
vore
radi
ju p
ovo
guće
što s
nom
ro d
men
tano
noj
đe c
rasp
nek
dela
ličir
na a
češć
na
izba
nom
kun
nek
kom

nač
rim
forı
čito
mo
nat
pro

da
bar
rez

sek
11

zgara: Aparat koji je Razerford upotrebio 1919 godine u svojim prvim eksperimentima nuklearnih transformacija (sl. 67) vrhunac je jednostavnosti kad se uporedi sa ogromnim uređajima za razbijanje atoma u današnjim fizičkim laboratorijima. Taj se uređaj sastojao iz jednog ispražnjenog cilindričnog suda s tankim prozorom od nekog fluorescentnog materijala (c) koji deluje kao ekran. Izvor alfa čestica bio je jedan tanak sloj radioaktivne supstance deponovan na jednu metalnu pločicu (a), a elemenat koji je trebalo bombardovati, u ovom slučaju aluminijum, bio je u obliku jednog tankog listića (b) stavljen na malu razdaljinu od izvora. Ovaj listić — meta bio je tako udešen da se sve upadne alfa-čestice zaglave u njemu kad ga jednom udare, tako da bi bilo



Sl. 67 — Kako je prvi put rascepljen atom

nemoguće da one osvetle ekran. Na taj način ekran bi ostao potpuno taman sem ako na njega padnu sekundarni delići jezgra emitovani iz listića aluminijuma kao rezultat bombardovanja.

Stavljajući sve na svoje mesto i gledajući ekran kroz jedan mikroskop, Razerford je video nešto što se nikako nije moglo uzeti za tamu. Ekran je sav vrvio hiljadama malih iskrica koje su se pojavljivale ovde-onde po čitavoj površini. Svaka iskrica bila je proizvedena sudarom jednog protona sa ekranom i svaki proton pretstavljao je jedan delić izbačen iz jednog atoma aluminijuma upadom alfa-čestice. Na taj način je teoriska mogućnost veštačke transformacije elemenata postala naučno utvrđena činjenica[10]).

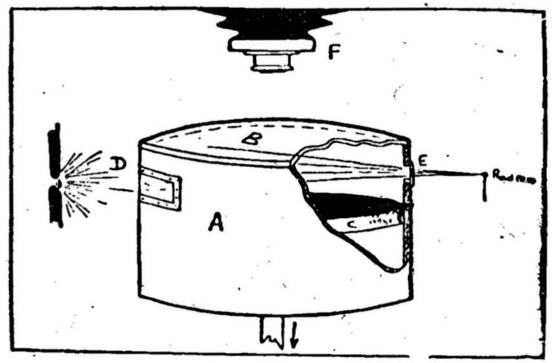
U toku decenija koje su sledile Razerfordovom klasičnom eksperimentu, nauka o transformaciji elemenata postala je jedna od najvećih i najvažnijih grana fizike i postignut

[10]) Gore opisani proces može se pretstaviti formulom:

$$_{13}al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1H^1$$

je ogroman napredak kako u metodima proizvodnje brzih čestica u svrhu nuklearnog bombardovanja, tako i u posmatranju dobivenih rezultata.

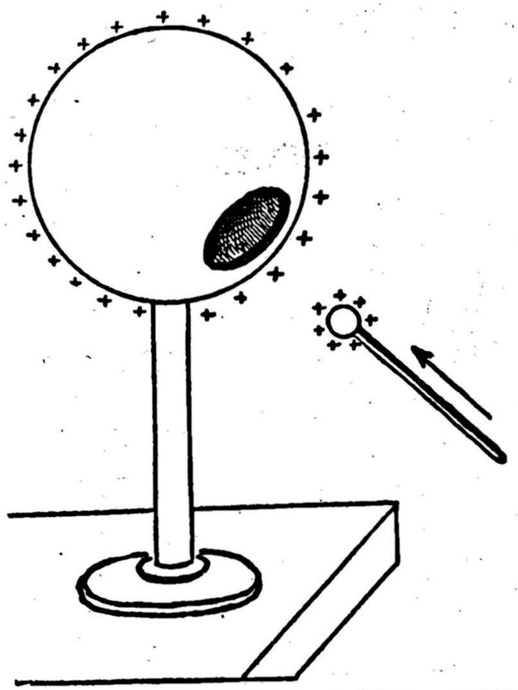
Instrumenat koji nam omogućuje na najprikladniji način da vidimo sopstvenim očima šta se događa kad jedan nuklearni projektil udari u jezgro poznat je, po imenu pronalazača, pod nazivom Vilsonova komora. Shematski se taj aparat vidi na slici 68. Princip na kome se zasniva je sledeći: brze naelektrisane čestice, kao što su alfa-čestice, proizvode duž svoje putanje kroz vazduh ili makoji drugi gas



Sl. 68 — Shema »Vilsonove komore«

izvesno poremećenje atoma. Svojim jakim električnim poljem ti projektili čupaju jedan ili više elektrona iz onih atoma gasa koji se nađu na njihovoj putanji, ostavljajući iza sebe veliki broj jonizovanih atoma. Ovakvo stanje stvari ne traje dugo, jer odmah posle prolaska projektila jonizovani atomi će ponovo zarobiti svoje elektrone i vratiti se u normalno stanje. Ali ako je gas u kome se odigrava ta jonizacija zasićen vodenom parom, na svakom jonu formiraće se kapljice — vodena para ima svojstvo da teži da se akumulira na jonima, česticama prašine itd. — i na taj način će se formirati tanka nit magle duž putanje projektila. Drugim rečima, trag svake naelektrisane čestice koja se kreće kroz gas postaće vidljiv na isti način kao i trag aviona koji pušta dimne signale.

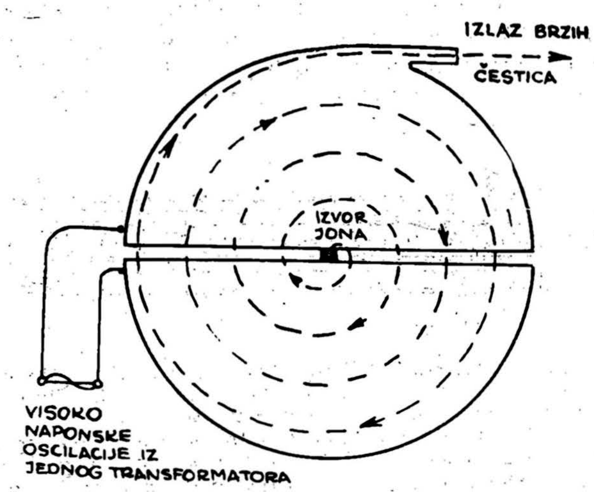
Sa tehničke tačke gledišta, Vilsonova komora je vrlo jednostavan aparat. Sastoji se uglavnom od jednog metalnog cilindra (A) sa staklenim poklopcem (B), sadrži jedan klip (C) koji se može kretati gore dole pomoću uređaja koji nije iznet na slici. Prostor između staklenog poklopca i površine klipa napunjen je vazduhom na atmosferskom pritisku (ili makojim drugim gasom ako se to želi) koji sadrži znatnu ko-



Sl. 69 — PRINCIP ELEKTROSTATIČKOG GENERATORA
Iz elementarne fizike se zna da se električni naboj na jednom sferičnom metalnom sprovodniku raspodeljuje po čitavoj površini. Tako se jedan sprovodnik može naelektrisati do vrlo visokog napona; unošenjem jedno za drugim malih količina elektriciteta u njegovu unutrašnjost, i to pomoću jednog malog naelektrisanog sprovodnika koji se unese kroz rupu u sferi, a koji je dodiruje iznutra. U praksi se upotrebljava jedan neprekidni pojas koji ulazi kroz rupu i pomoću kog se unosi u sferu elektricitet iz nekog malog transformatora.

ličinu vodene pare. Ako se odmah pošto izvestan broj atomskih projektila uleti u komoru kroz prozor (E) klip povuče nadole, vazduh iznad klipa će se rashladiti, a vodena para

počeće da se kondenzuje duž tragova projektila u vidu tankih tragova magle. Ovi tragovi magle osvetljeni jakom svetlošću kroz prozor (D) jasno će se isticati na fonu zacrnjene površine klipa i mogu da se vide golim okom ili da se snime fotografskim aparatom (F) koji snima automatski s kretanjem klipa. Ovaj jednostavan uređaj, jedan od najkorisni-

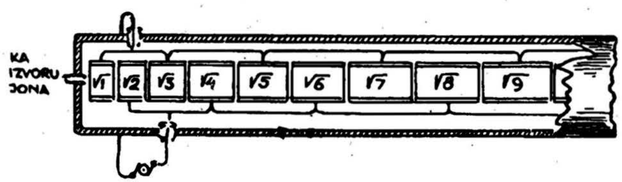


Sl. 70 — PRINCIP CIKLOTRONA.
Ciklotron se uglavnom sastoji iz dve metalne kutije u obliku polupречnika stavljenih u jedno jako magnetsko polje koje je okomito na ravan crteža. Ove dve kutije su povezane sa jednim transformatorom i naizmenično su naelektrisane pozitivno i negativno. Joni koji dolaze iz izvora u centru opisuju u magnetskom polju kružne putanje i ubrzani su svaki put pri prolazu iz jedne kutije u drugu. Krećući se sve brže i brže, joni opisuju jednu rastuću spiralu, da konačno izlete sa vrlo velikom brzinom.

jih u modernoj fizici, omogućuje nam da dobijemo divne fotografije rezultata nuklearnog bombardovanja.

Razume se da bi bilo vrlo poželjno da se razviju metodi kojim bi se mogli proizvesti jaki snopovi atomskih projektila prostim ubrzanjem raznih čestica (jona) u jakim električnim poljima. Pored toga što se na taj način otklanja potreba upotrebe retkih i skupih radioaktivnih supstanci, takvi metodi nam omogućuju upotrebu drugih vrsta atomskih projektila (naprimer protona) kao i da postignemo kinetičke energije veće od onih koje se mogu postići radioaktivnim raspadanjem. Među najvažnije mašine za proizvodnju intenzivnih snopova atomskih projektila spadaju elektrostatički generator, ciklotron i linearni akcelerator. Ti uređaji pretstavljeni su uz kraći opis njihovog funkcionisanja na slikama 69, 70 i 71.

Koristeći gore navedene tipove električnih akceleratora za proizvodnju moćnih snopova raznih atomskih projektila i uperujući ove snopove na mete iz raznih materijala, dobićemo veliki broj nuklearnih transformacija koje možemo



Sl. 71 — PRINCIP LINEARNOG AKCELERATORA
Ovaj uređaj sastoji se iz niza cilindara sve veće dužine koji bivaju pomoću jednog transformatora naelektrisani uzastopno pozitivno i negativno. Prolazeći iz jednog cilindra u drugi, joni se postepeno ubrzavaju usled postojeće razlike u električnom naponu, tako da se njihova energija povećava svaki put za jednu određenu količinu. Pošto je brzina proporcionalna kvadratnom korenu energije, joni će biti u fazi sa naizmeničnim poljem. Ako je dužina cilindra proporcionalna kvadratnom korenu celih brojeva. Izgradnjom dovoljno dugačkog sistema ovakve vrste, joni se mogu ubrzati do željene brzine.

izučavati fotografišući ih u Vilsonovoj komori. Izvestan broj tih fotografija na kojima se vide pojedini procesi nuklearnih transformacija vide se na fotografijama 3 i 4.

Prvu fotografiju takve vrste snimio je P. M. S. Bleket (Blacket) u Kembridžu, i pretstavlja snop prirodnih alfa-čestica pri prolazu kroz komoru napunjenu azotom[11]. Ova fotografija je pokazala pre svega da tragovi imaju jednu određenu dužinu usled toga što čestice, krećući se kroz gas, postepeno gube kinetičku energiju, i konačno se zaustavljaju. Na slici se vide dve grupe tragova različite dužine, što odgo-

[11]) Alhemiska reakcija na Bleketovoj fotografiji (koju nismo izneli u ovoj knjizi) pretstavljena je reakcijom:

$$_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$$

vara dvema grupama alfa-čestica različitih energija koje postoje u izvoru. (To je mešavina dvaju elemenata koji emituju alfa-čestice: ThC i ThC$_1$). Na fotografiji se vidi da tragovi alfa-čestica, iako su uopšte uzevši pravi, pokazuju jasna skretanja pri svome kraju gde su čestice izgubile skoro svu svoju početnu energiju i mogu lako skrenuti indirektnim sudarom sa jezgrima atoma azota na koje naiđu u svome kretanju. Ali glavna privlačnost ove fotografije bila je u onom jednom tragu alfa-čestice koji je pokazivao karakteristično račvanje: jedan joj je krak dugačak i tanak, dok je drugi kratak i debeo. To račvanje je rezultat direktnog čeonog sudara između alfa-čestice i jezgra jednog od atoma azota u komori. Tanki dugački trag pretstavlja putanju protona izbačenog iz jezgra azota silom sudara, dok kratki debeli trag pretstavlja samo jezgro odbačeno ustranu u toku sudara. Činjenica da nema trećeg traga, koji bi odgovarao skrenutoj alfa-čestici, pokazao je da se upadna alfa-čestica slepila s jezgrom i kreće se s njim.

Na fotografiji IIIb vidimo efekat sudara veštački ubrzanih protona sa jezgrima bora. Snop brzih protona koji izleće iz njuške akceleratora (tamna senka u sredini fotografije) udara u jedan sloj bora koji se nalazi pri vrhu njuške, i ti sudari prouzrokuju da se niz nuklearnih delića razleti u svim pravcima kroz vazduh. Jedna interesantna strana fotografije je u tome da se tragovi delića uvek pojavljuju u grupama od po tri (dve takve trostruke račve, jedna obeležena strelom, mogu se videti na fotografiji). To je stoga što se jezgra bora razbijaju na tri jednaka dela kad god u njih udari proton[12]).

Jedna druga fotografija, slika IIIa, pokazuje sudare između brzih deutrona (jezgra teškog vodonika koje sačinjava po jedan proton i neutron) i drugih deutrona u materijalu mete[13]).

Duži tragovi na slici su tragovi protona (jezgra $_1H^1$), dok su kraći tragovi proizvod jezgara trostruko teškog vodonika, poznati pod imenom tritoni.

Jedna galerija fotografija Vilsonove komore ne bi bila kompletna bez nuklearnih reakcija sa neutronima, koji za-

[12]) Jednačina ove reakcije je

$$_5B^{11} + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + {}_2He^4$$

[13]) Jednačina ove reakcije je:

$$_1H^2 + {}_1H^2 \rightarrow {}_1H^3 + {}_1H^1$$

jedno s protonima pretstavljaju glavne građevinske elemente svakog jezgra.

Ali bilo bi sasvim nekorisno tražiti tragove neutrona u fotografijama pomoću Vilsonove komore, jer ovi, budući da nemaju električnog naboja, prolaze kroz materiju ne izazivajući nikakvu jonizaciju. Ali kad vidite kako dim izlazi iz lovčeve puške a divlja patka pada iz vazduha, vi znate da je **postojao** kuršum iako ne možete da ga vidite. Slično tome, gledajući na fotografiju Vilsonove komore, slika IIIc, koja pokazuje jezgro azota kako se raspada u helijum (donji trag) i bor (gornji trag), vi ne možete izbeći osećaju da je jezgro jako udareno jednim nevidljivim projektilom koji dolazi s leve strane. I doista, da bi se dobila takva fotografija treba na levom zidu Vilsonove komore staviti jednu mešavinu radijum-berilijuma, za koju se zna da je izvor brzih neutrona[14]).

Prava linija po kojoj se neutron kretao kroz komoru može se odmah utvrditi povezujući položaj izvora neutrona sa tačkom gde se odigrao raspad atoma azota.

Proces raspadanja uranovog jezgra vidi se na fotografiji IV. Fotografiju su snimili Begild, Brostrom i Lauritsen (Bogild, Brostrom i Lauritsen). Na njoj se vide dva delića iz fisije kako lete u suprotnim pravcima iz jednog tankog listića aluminijuma koji podržava bombardovani sloj urana. Na slici se ne vide ni neutron koji je proizveo rascep, ni neutroni koji su nastali u rascepu. Mi bismo mogli da opisujemo razne tipove nuklearnih transformacija dobivenih metodom nuklearnog bombardovanja pomoću električno ubrzanih projektila, ali ćemo sada da se osvrnemo na važnije pitanje, tj. pitanje **efikasnosti** takvog bombardovanja. Ne treba zaboraviti da slike koje se vide na fotografiji 3 i 4 pretstavljaju individualne slučajeve dezintegracije pojedinih atoma i da bismo potpuno pretvorili recimo, jedan gram bora u helijum, mi bismo morali da razbijemo svaki od 55.000.000.000.000.000.000.000 atoma koji se nalazi u njemu. Ali najmoćniji električni akcelerator proizvodi oko 1,000.000.000.000.000 projektila na sekund, što znači da bi, čak i pod pretpostavkom da svaki projektil razbije po jedno

[14]) Pomoću alhemiskih jednačina procesi koji se ovde odigravaju mogu se napisati u sledećem obliku: a) proizvodnja neutrona: $_4B^9 + {}_2He^4$ (alfa-čestice iz Ra) $\rightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$; b) sudar neutrona sa jezgrom azota: $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_5B^{11} + {}_2He^4$.

jezgro bora, naša mašina morala da radi 55 miliona sekundi, ili oko dve godine dana da bi završila ovaj posao.

Činjenica je međutim, da je efikasnost naelektrisanih nuklearnih projektila koje proizvode razne mašine za ubrzavanje mnogo manja. Obično tek jedan projektil od nekoliko hiljada može da proizvede razbijanje jednog jezgra u bombardovanom materijalu. Tumačenje ove vrlo niske efikasnosti atomskog bombardovanja leži u činjenici da su atomska jezgra opkoljena ljuskama elektrona koje imaju svojstvo da uspore te projektile koji se kreću kroz njih. Kako je površina mete-atomske ljuske mnogo veća od površine mete-jezgra, a pošto mi ne možemo, razume se, da uperimo naše atomske projektile direktno na jezgra, svaki takav projektil mora da prođe kroz mnogo atomskih ljuski pre nego što stekne priliku da zada direktan udarac jednom od jezgara. Stanje je grafički prikazano na slici 72, gde su

Sl. 72 — Atomsko bombardovanje

atomska jezgra pretstavljena malim crnim krugovima, a njihove elektronske ljuske svetlije obojenim senkama. Odnos atomskog prečnika i prečnika jezgra je oko 10.000, tako da su površine meta u odnosu na 100,000.000 : 1. S druge strane mi znamo da jedna naelektrisana čestica koja prolazi kroz elektronsku ljusku atoma gubi oko jedan stoti od jednog procenta svoje energije, tako da će biti potpuno zaustavljena pošto prođe kroz oko 10 hiljada atomskih tela. Na osnovu gornjih cifara može se lako videti da će tek jedan na 10 hiljada projektila imati prilike da se sudari s jezgrom pre nego što se sva njegova prvobitna energija izgubi u atomskim ljuskama. Uzimajući u obzir ovu nisku efikasnost naelektrisanih projektila u razbijanju jezgara materijala mete, može se izračunati da bismo jedan gram bora koji bismo hteli potpuno da transformišemo morali držati u snopu jedne moderne mašine za razbijanje atoma za vreme od najmanje 20 hiljada godina.

4. Nukleonika

Nukleonika je vrlo neadekvatna reč, ali kao i mnoge druge takve reči ona se upotrebljava i tu se ništa ne može promeniti. Kao što se termin elektronika upotrebljava da se označi znanje na širokom području praktične primene snopova slobodnih elektrona, termin nukleonika obeležava nauku o praktičnoj primeni nuklearne energije oslobođene u velikim količinama. Mi smo videli u ranijim odeljcima da su jezgra raznih hemiskih elemenata (sem srebra) puna ogromnih količina unutarnje energije, koja se može osloboditi procesima nuklearne fuzije kad se radi o lakšim elementima i nuklearnog rascepa (fisije) kad se radi o težim elementima. Videli smo takođe da se metod nuklearnog bombardovanja pomoću veštački ubrzanih naelektrisanih čestica, iako od velike važnosti za teorisko izučavanje raznih nuklearnih transformacija, ne može koristiti za praktične svrhe usled svoje vrlo niske efikasnosti.

Neefikasnost običnih nuklearnih projektila kao što su alfa-čestice i protoni itd. uglavnom potiče usled njihovog električnog naboja koji čini da oni gube energiju prolazeći kroz tela atoma i sprečava ih da dođu dovoljno blizu naelektrisanih jezgara materije koja se bombarduje. Možemo, stoga, očekivati da će se postići mnogo bolji rezultati pomoću nenaelektrisanih projektila, bombardujući razna atomska jezgra sa neutronima. Međutim, ovde se krije zamka! Uprkos tome i baš zato što neutroni mogu da prodru bez ikakve teškoće u strukturu jezgra, oni i ne postoje u prirodi u slobodnom obliku. Pa čak i kad se slobodni neutron veštački izbaci iz nekog jezgra jednim projektilom (naprimer neutron iz jezgra berilijuma koji je podvrgnut bombardovanju alfa-česticama), onda će ga neko drugo jezgro vrlo brzo zarobiti.

I tako: da bismo proizveli jake snopove neutrona i s njima izvršili bombardovanje jezgra, mi ćemo morati da izbacimo svaki od tih neutrona iz jezgra nekog elementa. To nas ponovo vraća do niske efikasnosti naelektrisanih projektila koje moramo koristiti u tu svrhu.

Postoji, međutim, izlaz iz ovog začaranog kruga. Kad bi bilo moguće da neutroni izbace neutrone iz jezgra i to na takav način da svaki neutron proizvede više od jednog naslednika, ove čestice bi se umnožavale kao zečevi (uporedi sa slikom 97), ili bakterije u obolelom tkivu, i naslednici jednog jedinog neutrona uskoro bi postali dovoljno brojni da napadnu svako jezgro atoma u jednoj velikoj hrpi materijala.

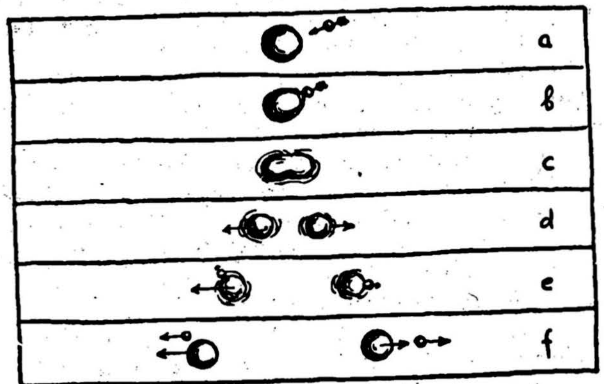
Ogromna konjuktura u nuklearnoj fizici, koja ju je izvela iz tišine i mira čiste nauke, zauzete samo intimnim svojstvima materije, u bučni vrtlog drečećih novinarskih naslova, žučnih političkih diskusija i ogromnih industriskih i vojnih dostignuća, potiče iz otkrića jedne određene nuklearne reakcije koja omogućuje taj proces umnožavanja neutrona. Svako ko čita novine zna da se nuklearna energija, ili atomska energija kako se obično zove, može osloboditi kroz proces fisije jezgara urana, koji su otkrili krajem 1938 godine Han i Štrasman* (Hahn i Strasmann). Ali pogrešno bi bilo misliti da sam rascep, tj. rascep jednog teškog jezgra u dva skoro jednaka dela, može da omogući jednu ovakvu uzastopnu nuklearnu reakciju. Ustvari dva nuklearna delića stvorena pri rascepu nose velika naelektrisanja (oko polovinu naelektrisanja svakog jezgra urana) što ih sprečava da dođu isuviše blizu drugim jezgrima. Gubeći stoga brzo svoju vrlo visoku energiju i predajući je električnim ljuskama susednih atoma, ovi će delići vrlo brzo prestati da se kreću ne proizvodeći druge fisije.

Ono što čini proces fisije tako važnim za razvitak jedne nuklearne reakcije koja se sama od sebe nastavlja to je otkriće da pre nego što se konačno uspori svaki fragment fisije emituje po jedan neutron (slika 73).

Ovaj važni post-efekat fisije potiče iz činjenice da, kao dva komada jednog razbijenog federa, ove dve razbijene polovine jednog teškog jezgra počinju svoj opstanak time što su u stanju vrlo jakog titranja. Ova titranja nisu u stanju da proizvedu novu nuklearnu fisiju (tj. da se svaki fragment rascepi na dva dela), ali su ipak dovoljno jaka da proizvedu izbacivanje iz svakog fragmenta izvesnih strukturnih jedinica. Kad kažemo da svaki fragment emituje jedan

* Tome otkriću je prethodio i doprineo zajednički rad francuske naučnice Žolio Kiri, ćerke čuvene Marije Kiri, i jugoslovenskog naučnika Pavla Savića. — Prim. prev.

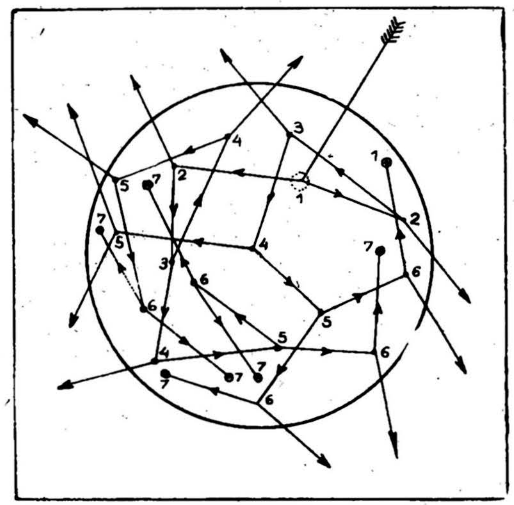
neutron, mi to podrazumevamo samo u statističkom smislu. U izvesnim slučajevima mogu biti emitovana iz jednog jedinog fragmenta dva i tri neutrona, dok u drugim slučajevima nijedan. Prosečan broj neutrona emitovan iz jednog fragmenta fisije zavisi, razume se, od intenziteta njegovih vibracija, što je određeno celokupnom energijom oslobođenom pri prvobitnom procesu rascepa. Pošto energija oslobođena pri fisiji raste sa težinom jezgra, kao što smo gore videli moramo očekivati da će prosečni broj neutrona po jednom deliću fisije takođe rasti sa periodičnim sistemom. Tako, rascep jednoga jezgra zlata (koji još nije eksperimentalno ostvaren usled vrlo visoke energije potrebne da se otpočne takav proces) verovatno bi proizveo manje od jednog neutrona po deliću. Rascep uranovih jezgara daje prosečno jedan neutron na svaki fragment (oko 2 neutrona po rascepu); dok se pri rascepu još težih elemenata (kao naprimer plutonijuma) može očekivati da će prosečni broj neutrona po deliću biti veći od jedan.



Sl. 73 — Etape procesa fisije

Da bismo ispunili uslove potrebne za progresivno umnožavanje neutrona, očevidno je potrebno da od, recimo, sto neutrona koji prodru u jednu supstancu mi treba da dobijemo preko sto neutrona u idućoj generaciji. Mogućnost ispunjavanja ovog uslova zavisi od relativne efikasnosti neutrona pri izazivanju rascepa jednog datog tipa jezgra i od srednjeg broja novih neutrona proizvedenih pri fisiji. Ne treba

zaboraviti međutim ni to da ni efektivnost neutrona u proizvodnji fisije nije stopostotna iako su oni mnogo efektivniji nuklearni projektili od naelektrisanih čestica. Ustvari, postoji uvek mogućnost da će jedan neutron koji prodre u jezgro predati ovome samo deo svoje kinetičke energije, bežeći sa ostalom energijom. U tim slučajevima neutron će rasuti svoju energiju na nekoliko jezgara ne dajući ni jednom od njih dovoljno energije da proizvede rascep.



Sl. 74 — Nuklearna lančasta reakcija započeta dejstvom jednog prolaznog neutrona u jednom sferičnom komadu rascepnog materijala. Iako se mnogi neutroni izgube prolazeći napolje kroz površinu, broj neutrona u naknadnim generacijama stalno raste što dovodi do eksplozije.

Na osnovu opšte teorije nuklearne strukture može se zaključiti da efikasnost neutrona u proizvođenju fisije, raste sa atomskom težinom elemenata i da je za elemente blizu kraja periodičnog sistema ta efikasnost skoro 100%.

Sada ćemo izraditi dva numerička primera, jedan sa povoljnim, drugi sa nepovoljnim uslovima za umnožavanje neutrona. a) Pretpostavimo da imamo elemenat kod koga efikasnost brzih neutrona pri proizvođenju fisije iznosi 35%, a srednji broj neutrona proizvedenih pri fisiji je 1,6.[15]) U tom slučaju sto prvobitnih neutrona proizvešće ukupno 35 fisija, što će dati $35 \times 1{,}6 = 56$ neutrona u sledećoj generaciji. Očevidno je da će u ovom slučaju broj neutrona opadati s vremenom i u svakoj generaciji biće ih za polovinu manje nego u prethodnoj. b) Pretpostavimo sad da imamo teži elemenat u kome efikasnost neutrona za fisiju dostiže 65%, a srednji broj neutrona proizveden na jednu fisiju iznosi 2,2. U ovom slučaju naših 100 prvobitnih neutrona proizvešće 65 fisija, a sve skupa dobićemo $65 \times 2{,}2 = 143$. Sa svakom novom generacijom broj neutrona će porasti za 50%. I za vrlo kratko vreme imaćemo dovoljno neutrona da napadnemo i razbijemo svako jezgro u našem grumenu materije. Mi ovde posmatramo slučaj **račvaste lančane reakcije,** a supstance u kojima do takve reakcije može da dođe nazivamo **fisibilnim ili rascepnim supstancama.**

Pažljivo teorisko i eksperimentalno izučavanje uslova potrebnih za razvitak račvastih lančanih nuklearnih reakcija dovodi do zaključka da među svim nuklearnim vrstama koje postoje u prirodi **postoji svega jedna vrsta jezgara kod kojih je moguća takva reakcija. To su jezgra čuvenog lakog izotopa urana, U235, jedina prirodna rascepna supstanca.**

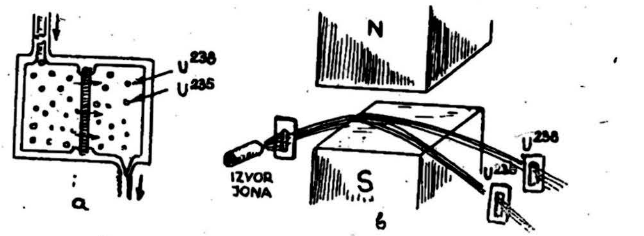
Međutim, U-235 ne postoji u prirodi u čistom obliku, nego je uvek vrlo jako razvodnjen težim izotopom urana koji nije rascepljiv, U-238 (0,7% U-235 i 99,3% U-238), što sprečava razvitak progresivne lančane reakcije u prirodnom uranu na isti način kao što prisustvo vode sprečava mokro drvo da se zapali. Ustvari jedino usled ove razvodnjenosti neaktivnim izotopom, visoko rascepni atomi urana U-235 još uvek postoje u prirodi, inače bi oni bili uništeni već odavno jednom brzom lančanom reakcjom među sobom. Da bi mogla da se koristi energija U-235, ta jezgra se, dakle, moraju ili razdvojiti od težih jezgara U-238 ili se mora naći metod za neutralizaciju uznemirujuće akcije težih jezgara a da se ona ustvari ne moraju otkloniti. U radu na problemu oslobođenja atomske energije korišćena su oba metoda i to sa uspešnim rezultatima. Mi ćemo ih ovde izneti samo ukratko, jer tehnički problemi te vrste ne spadaju u zadatak ove knjige.

Direktno odvajanje dva izotopa urana pretstavlja vrlo težak tehnički problem jer se, zbog identičnih hemiskih svojstava tih izotopa, takvo odvajanje ne može postići uobičajenim metodama industriske hemije. Jedina razlika između ove

[15]) **Ove brojčane vrednosti izabrane su potpuno proizvoljno i ne odgovoraju nijednoj nuklearnoj vrsti.**

dve vrste atoma leži u njihovim masama, pošto je jedan za oko 1,3% teži od drugoga. Ova činjenica navodi na to da se koriste metodi za odvajanje koji se zasnivaju na procesima kao što su difuzija, centrifugiranje i deflekcija jonskih snopova u magnetskim i električnim poljima gde masa odvojenih atoma igra odlučujuću ulogu. Na slici 75 a, b iznosimo shematsku sliku dvaju glavnih metoda separacije sa kratkim opisom svakog od njih.

Glavna teškoća u svim ovim metodima leži u činjenici da se usled male razlike mase između ova dva izotopa urana njihovo odvajanje ne može postići u jednom potezu, već iziskuje veliki broj ponavljanja, što dovodi do proizvoda koji su sve bogatiji lakim izotopom. Međutim, posle dovoljnog



Sl. 75 — (a) Separacija izotopa metodom difuzije. Gas koji se sastoji iz oba izotopa pumpa se u levi deo komore i difunduju kroz zid koji razdvaja jedan deo od drugog. Pošto lakši molekuli difunduju brže, deo gasa u desnoj komori je obogaćen uranom 235. (b) Odvajanje ili separacija izotopa magnetskim metodom. Snop je uperen kroz jedno jako magnetsko polje i molekuli koji sadrže izotop urana jače skreću. Da bi se dobio dovoljno jak snop moraju se upotrebljavati širi otvori, ali usled toga dva snopa (sa U-235 i U-238) delimično se poklapaju i mi ponovo dobijamo samo delimično odvajanje izotopa.

ponavljanja jednog postupka, mogu se dobiti prilično čisti egzemplari U-235.

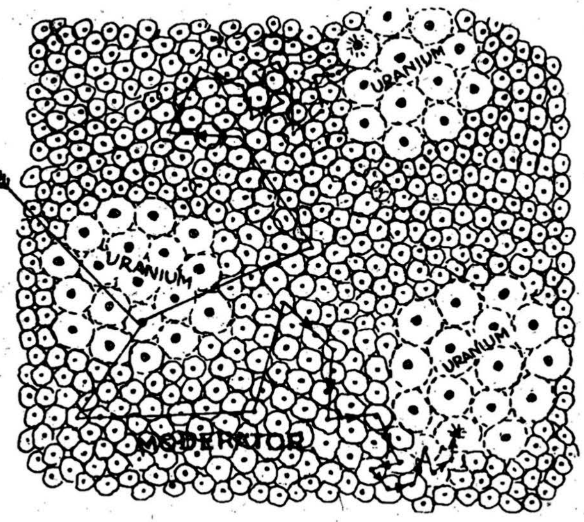
Jedan mnogo bolji metod sastoji se u tome što se lančana reakcija razvija u prirodnom uranu u kome se negativna akcija težeg izotopa veštački smanjuje upotrebom tzv. moderatora. Da bismo razumeli ovo, moramo znati da se negativni efekat težeg izotopa urana sastoji uglavnom u tome što taj izotop apsorbuje veliki procenat neutrona proizvedenih u rascepima U-235, smanjujući time mogućnost za razvitak jedne lančaste reakcije. Prema tome, problem bi bio rešen kad bismo mogli da uradimo nešto što bi sprečilo U-238 da krade neutrone pre nego što oni dođu u priliku da se susretnu sa jezgrima U-235. Na prvi pogled zadatak da se spreče jezgra U-238, koja su 140 puta brojnija od jezgara U-235, da pozobaju većinu neutrona izgleda skoro nemoguć. Međutim, nailazimo na olakšanje u ovom problemu u činjenici da je »sposobnost« zarobljavanja neutrona kod ova dva izotopa različito zavisna od brzine kojom se neutron kreće. U odnosu na brze neutrone koji izleću iz jezgra koje se cepa, sposobnost zarobljavanja neutrona je približno jednaka kod oba izotopa, tako da će U-238 zarobiti 140 neutrona na svaki neutron koja zarobi U-235. U odnosu na neutrone srednjih brzina jezgra U-238 su malo bolji lovci nego jezgra U-235. Međutim, a ovo je naročito važno, jezgra U-235 postaju znatno bolji lovci na neutrone kada se ovi kreću vrlo sporo. Ako bismo, dakle, mogli da usporimo neutrone proizvedene u rascepu tako da se njihova velika brzina znatno smanji **pre** nego što se susretnu s prvim jezgrom urana (238 ili 235), jezgra urana 235, iako u manjini, biće u povoljnijem položaju da zarobe neutrone od jezgara U-238.

Uređaj potreban za usporavanje može se ostvariti raspodelom velikog broja malih komada prirodnog urana u masi nekog materijala (moderator) koji usporava neutrone ne zarobljavajući suviše veliki broj. Najbolji materijali za ovu svrhu su teška voda, ugljenik, i berilijumove soli. Na slici 76 iznosimo shematsku sliku jedne takve »gomile« konstruisanu tako da su zrna urana raspodeljena u supstanci moderatora.

Kao što smo gore istakli, laki izotop U-235 (koji sačinjava svega 0,7% prirodnog urana) je jedina postojeća vrsta jezgara koji se cepaju i mogu da održe jednu progresivnu nuklearnu lančanu reakciju, dovodeći na taj način do velikog oslobođenja nuklearne energije. To ne znači, međutim, da mi ne možemo **veštački** da napravimo druge nuklearne vrste koje obično ne postoje u prirodi, a koje bi imale ista svojstva kao U-235. I zaista upotrebljavajući neutrone proizvedene u velikom broju progresivnom lančanom reakcijom u jednom rascepnom elementu, mi možemo da učinimo da i druga jezgra koja inače nisu podložna cepanju počnu da se cepaju.

Prvi primer ove vrste prikazan je procesom koji se odigrava u gore opisanoj gomili koja upotrebljava prirodni uran

pomešan sa jednom supstancom za moderator. Videli smo da je upotrebom moderatora moguće smanjiti zarobljavanje neutorna od strane jezgara U-238, i to u meri koja omogućuje razvitak lančane reakcije između jezgara U-235. Među-



Sl. 76 — Ova slika, koja liči na nešto iz biologije, pretstavlja komade urana (veliki atomi) uglavljene u supstanci moderatora (mali atomi). Dva neutrona proizvedena pri rascepu ili fisiji jezgra urana u komadu na levo ulaze u moderator i postepeno su usporeni serijom sudara sa atomskim jezgrima. Kad ti neutroni dođu do drugih komada urana oni su u znatnoj meri usporeni, pa ih apsorbuju jezgra urana 235 koja su mnogo efikasnija u pogledu neutrona od jezgara urana 238.

tim, izvestan broj neutrona ipak će biti zarobljen od U-238. Čemu ovo vodi?

Direktni rezultat zarobljavanja neutrona od urana 238 je, razume se, još jedan teži izotop, U-239. Međutim, utvrdilo se da ovo novostvoreno jezgro nije naročito postojano: emitujući dva elektrona jedan za drugim, ono se pretvara u jezgro jednog novog hemiskog elementa sa atomskim brojem 94. **Ovaj novi veštački elemenat, poznat pod imenom plutonijum, Pu-239, cepa se lakše nego U-235.** Ako na mesto U-238 stavimo jedan drugi radioaktivni elemenat poznat pod imenom torijum Th-232, rezultat zarobljavanja neutrona i naknadne emisije dva elektrona dovešće do **još jednog veštačkog rascepnog elementa, U-233.**

Prema tome, počevši od prirodnog rascepnog U-235 i spovodeći ovu reakciju u ciklusima, **u principu je svakako moguće pretvoriti čitavu količinu urana i torijuma u rascepne elemente, koji se mogu koristiti kao koncentrisani izvori nuklearne energije.**

Završićemo ovaj odeljak jednom grubom procenom celokupne energije koja stoji na raspoloženju budućem mirnom razvitku ili ratnom samouništavanju čovečanstva. Ceni se da celokupna količina U-235 u poznatim nalazištima uranove rude može da proizvede dovoljno nuklearne energije da zadovolji potrebe svetske industrije — potpuno preudešene za korišćenje nuklearne energije — za period od nekoliko godina. Ako, međutim, uzmemo u obzir mogućnost korišćenja U-238 njegovim pretvaranjem u plutonijum, procena se podiže na nekoliko vekova. Ako tome dodamo i nalazišta torijuma (pretvorena u U-233) koga ima oko četiri puta više nego urana, mi povisujemo našu procenu bar na 1000-2000 godina, što je dovoljno dugačak period vremena da ne moramo misliti o problemu »buduće nestašice atomske energije«.

Međutim, čak kad bi svi ovi izvori nuklearne energije bili iskorišćeni a ne bi bila otkrivena nova nalazišta urana i torijuma, buduće bi generacije još uvek bile u stanju da dobiju nuklearnu energiju iz običnih stena. Ustvari, uran i torijum, kao i svi drugi elementi, nalaze se u vrlo malim količinama skoro u svakom materijalu. Tako, obična granitna stena sadrži 4 gr. urana i 12 gr. torijuma po toni. Na prvi pogled ovo izgleda vrlo malo. Ali izvršimo sada sledeću računicu. Znamo da jedan kilogram materijala podložnog fisiji sadrži količinu nuklearne energije kojoj je ekvivalentno 20 hiljada tona TNT, ako eksplodira (kao u atomskoj bombi), ili oko 20 hiljada tona benzina, ako se koristi kao gorivo. Na taj način 16 gr. urana i torijuma sadržanih u jednoj toni granitne stene i pretvorenih u fisione materijale bili bi ekvivalentni 320 tona običnog goriva. Ovo je dovoljno da nam naknadi sve velike teškoće odvajanja rude iz stene, naročito ako vidimo da iscrpljujemo naše rezerve bogatijih ležišta urana i torijuma.

Poglavlje VIII

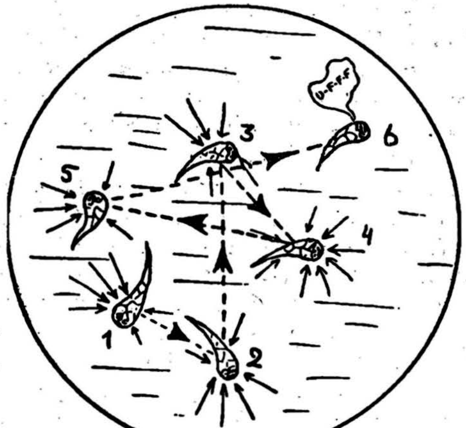
ZAKON NEREDA

1. Termički nered

Napunite čašu vodom i pogledajte na nju: videćete bistru homogenu tečnost bez ikakvog traga unutarnje strukture ili ikakvog kretanja (ukoliko ne uzdrmate čašu). Poznato je, međutim, da je homogenost vode samo prividna; povećamo li vodu nekoliko miliona puta pojaviće se vrlo izrazita zrnasta struktura koju sačinjavaju veliki broj odvojenih molekula tesno sabijenih jedni uz druge.

Pod istim se uveličanjem jasno vidi da je voda daleko od toga da bude nepomična i da su njeni molekuli u brzom kretanju, da guraju jedan drugog kao da se radi o ljudima u vrlo uzbuđenoj masi. Ovo nepravilno kretanje molekula vode ili molekula makoje druge supstance, poznato je pod imenom **»toplotno ili termičko kretanje«** prosto zato što je ovo kretanje uzrok pojavi toplote. Jer, iako se kretanje molekula ili sami molekuli ne vide direktno ljudskim okom, molekulsko kretanje je ono što proizvodi izvesnu iritaciju nervnih ćelija ljudskog organizma i proizvodi osećaj koji mi zovemo toplota. Za one organizme koji su mnogo manji od ljudskog bića, kao naprimer male bakterije u kapi vode, efekat termičkog kretanja je mnogo izraženiji i ova jadna stvorenja su stalno podvrgnuta guranju, prevrtanju, udaranju i nemirni molekuli ih napadaju sa svih strana, ne ostavljajući ih na miru (sl, 77). Ova interesantna pojava, poznata pod imenom **Braunovo kretanje,** po imenu engleskog botaničara Roberta Brauna (R. Brown), koji ju je prvi primetio pre više od 100 godina izučavajući male spore biljki, od opšteg je interesa i može se posmatrati praćenjem makojih čestica u kakvoj bilo vrsti tečnosti, ili posmatranjem mikroskopskih čestica dima ili prašine koje lebde u vazduhu.

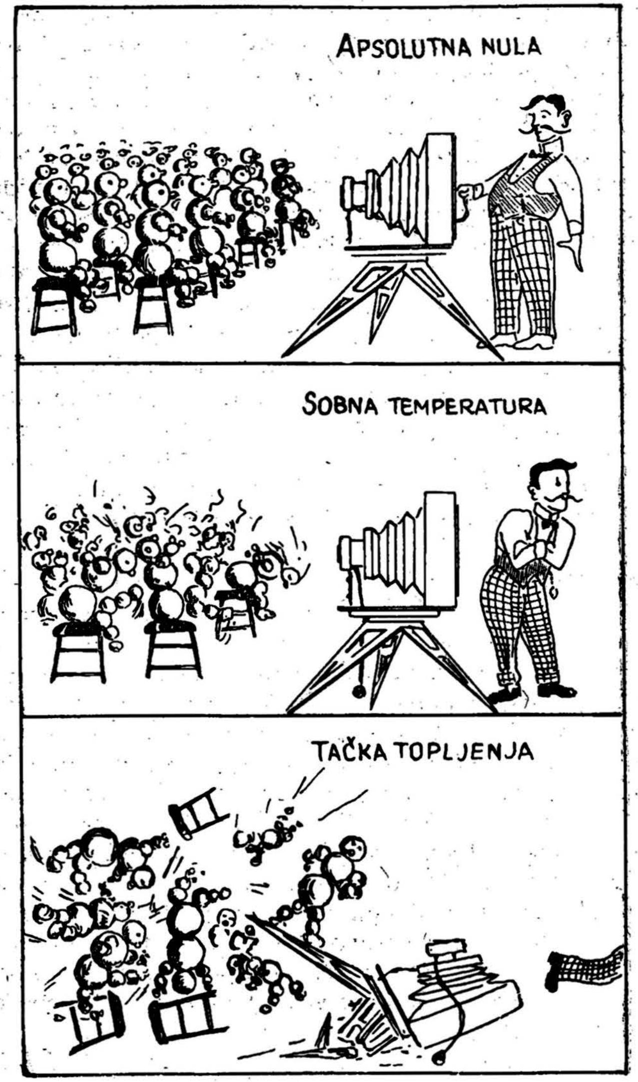
Ako zagrejemo tečnost. divlja igra malih čestica razmućenih u njoj postaje još izražajnija. Rashlađivanjem intenzitet kretanja primetno se smanjuje. Nema nikakve sumnje da ovo što posmatramo pretstavlja efekat prikrivenog termičkog kretanja materije i da ono što mi obično nazivamo temperaturom nije ništa drugo već merenje stepena molekulskog kretanja. Izučavajući zavisnost Braunovog kretanja od temperature, utvrđeno je da na temperaturi manjoj od —273°C ili —459°F termičko kretanje materije potpuno prestaje i svi molekuli se zaustavljaju. Ovo je, kako izgleda, najniža temperatura i nazvana je **apsolutna nula.** Bilo bi apsurdno govo-



Sl. 77 — Šest uzastopnih položaja jedne bakterije koja se kreće tamo-amo pod udarcima molekula (što je fizički pravilno; ali s tačke gledišta bakterija nije).

riti o još nižim temperaturama, jer očevidno ne može da bude kretanja sporijeg od apsolutnog stanja mirovanja.

Blizu apsolutne nule temperature molekuli makoje supstance imaju tako male energije da ih kohezione sile koje deluje među njima povezuju u jedan čvrst komad, i sve što one mogu da rade to je da vrlo malo trepere u tom svom sleđenom stanju. Kad se temperatura poveća, ovo treperenje postaje intenzivnije, i na izvesnoj etapi molekuli dobijaju slobodnije kretanje, pa mogu da klize jedan pored drugog. Čvrstina smrznute supstance iščezava i ona postaje tečnost. Temperatura na kojoj se dešava proces topljenja zavisi od snage sila kohezije koje deluju na molekule. U izvesnim materijama kao što su vodonik, ili mešavina azota i kiseonika koja sačinjava vazduh, kohezija molekula je vrlo slaba i termičko kretanje razbija smrznuto stanje na relativno niskim tempe-



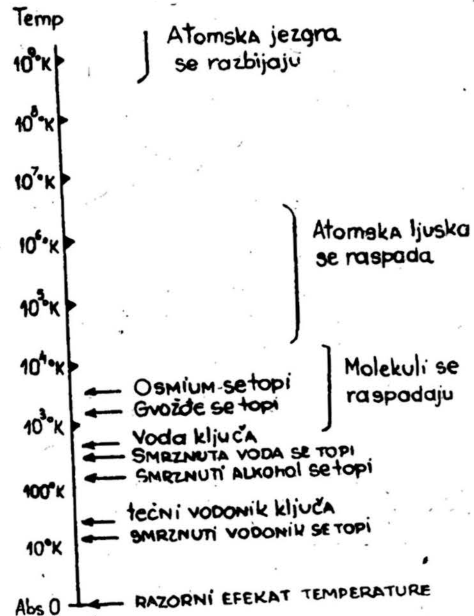
Sl. 78 — Termičko kretanje

raturama. Tako naprimer, vodonik postoji u smrznutom stanju samo pri temperaturama ispod 14°C apsolutnih, tj. ispod — 259°C, dok se čvrsti kiseonik i azot tope na 55° i 64°C od apsolutne nule, tj. na —218°C i na —209°C. U drugim supstancama kohezija između molekula je jača i one ostaju u čvrstom stanju do viših temperatura. Tako čisti alkohol ostaje smrznut do —130°C, dok se smrznuta voda (led) topi tek na 0°C. Druge supstance ostaju čvrste do mnogo viših temperatura. Komad olova rastopiće se na + 327°C, gvožđe na 1535°C, a retki metal zvan osmijum ostaje u čvrstom stanju sve do temperature od + 2700°C. Iako su u čvrstom stanju materije molekuli jako vezani za svoj položaj, to nikako ne znači da termičko kretanje nema uticaja na njih. Ustvari prema osnovnom zakonu toplotnog kretanja količina energije na datoj temperaturi ista je za svaki molekul svih supstanci bile one u čvrstom, tečnom ili u gasovitom stanju. Razlika je jedino u tome što je u izvesnim slučajevima ova energija dovoljna da ocepi molekule iz njihovog fiksnog položaja i da ih pusti da se kreću, dok u drugim slučajevima oni mogu samo ga trepere na jednoj tački kao ljuti psi vezani za kratak lanac.

Ovo termičko treperenje ili vibracija molekula jednog čvrstog tela može se lako videti na fotografijama snimljenim pomoću zrakova X, opisanim u pređašnjem poglavlju. Videli smo da bi za jasnu fotografiju molekula, s obzirom na sporu proceduru slikanja pomoću kristalne rešetke, bilo potrebno da molekuli miruju za vreme eksponiranja. Ali stalno treperenje oko jednog fiksnog položaja ne omogućuje dobre fotografije i daje pomalo nejasne slike. Ovaj efekat se vidi na fotografiji molekula reprodukovanoj pod br. 1. Da bi se dobile oštrije slike, kristale treba rashladiti što je moguće više. To se ponekad postiže stavljanjem kristala u tečni vazduh. Ako se, obrnuto, kristal koji treba fotografisati zagreje, fotografija postaje sve nejasnija, tako da na temperaturi topljenja uticaj rešetke potpuno iščezava jer molekuli napuštaju svoje mesto i počinju da se kreću na nepravilan način kroz rastopljenu supstancu.

Pošto se čvrsta supstanca rastopi, molekuli ipak ostaju zajedno jer termičko kretanje, iako dovoljno jako da ih iščupa iz fiksnog položaja u kristalnoj rešetki, nije još dovoljno

da ih potpuno odvoji jedno od drugog. Na još višim temperaturama, međutim, kohezione sile nisu u stanju da drže molekule na okupu i oni se razleću u svim pravcima, osim ako ih u tome ne spreče susedni zidovi. Kad do toga dođe materija se, naravno, pretvorila u gasovito stanje. Isto kao i za topljenje jednog čvrstog tela, isparavanje tečnosti se kod raznih materija odigrava na raznim temperaturama. Tako će se supstance sa slabijom unutarnjom kohezijom pretvoriti



Sl. 79 — Razorni efekat temperature

u paru na nižim temperaturama od onih sa jačim kohezionim silama. Ovaj proces, dakako, u znatnoj meri zavisi od pritiska pod kojim se održava tečnost, pošto spoljni pritisak očevidno pomaže silama kohezije da drže molekule na okupu. Uostalom svako zna da naprimer voda u jednom čvrsto zatvorenom loncu ključa pri nižoj temperaturi nego voda u otvorenom čajniku. S druge strane, na vrhu visokih planina gde je atmosferski pritisak znatno manji, voda će ključati znatno ispod 100°C. Treba ovde spomenuti da se merenjem temperature na kojoj voda ključa može izračunati atmosferski pritisak i odatle nadmorska visina jednog datog mesta.

Ali nemojte slediti primer Mark Tvena, koji je, kako sam tvrdi, jedanput odlučio da stavi aneroidni barometar u lonac ključale čorbe od graška. To vam neće dati nikakvu pretstavu o nadmorskoj visini, a oksid bakra pokvariće ukus čorbe.

Što je viša temperatura topljenja jedne supstance, to je viša i njena tačka ključanja. Tako tečni vodonik ključa na — 253, tečni kiseonik i azot na — 183 i 196°C, alkohol na +78, olovo na 1620, gvožđe na 3000, a osmijum tek na 5300°C. (Sve ove vrednosti važe pod okolnostima normalnog atmosferskog pritiska).

Razbijanje divne kristalne strukture čvrstih tela prisiljava molekule prvo da puze jedan oko drugog kao klupče crva, a zatim da se razlete kao jato preplašenih ptica. Ali ova poslednja pojava još ne pretstavlja granicu destruktivne moći sve većeg termičkog kretanja. Ako temperatura poraste još više, dolazi u pitanje sam opstanak molekula, pošto sve veća oštrina međumolekularnih sudara može da ih razbije u odvojene atome. Ova **termička disocijacija,** kako se naziva ova pojava, zavisi od relativne jačine molekula koji su joj podvrgnuti. Molekuli izvesnih organskih supstanci razbiće se u odvojene atome ili grupe atoma pri temperaturama od nekoliko stotina stepeni. Drugi, čvršće izgrađeni molekuli kao oni vode naprimer, mogu se uništiti tek na temperaturi od preko 1000°C. Ali kad se temperatura popne iznad nekoliko hiljada stepeni, više neće postojati nikakvi molekuli i materija će se sastojati iz jedne gasovite mešavine čistih hemiskih elemenata.

Tako je stanje na površini našega Sunca gde temperatura dostiže 6000°C. Međutim, u relativno hladnijim atmosferama crvenih zvezda (vidi poglavlje XI), izvesni molekuli još postoje, što je utvrđeno metodom spektralne analize.

Silovitost termičkih sudara pri visokim temperaturama ne samo da razbija molekule na sastavne atome već krnji i same atome odbijajući im spoljne elektrone. Ova **termička jonizacija** postaje sve izrazitija kako se temperatura penje na desetine i stotine hiljada stepeni i potpuna na nekoliko miloina stepeni iznad nule. Pri ovim visokim temperaturama koje su iznad svega što mi možemo da proizvedemo u našim

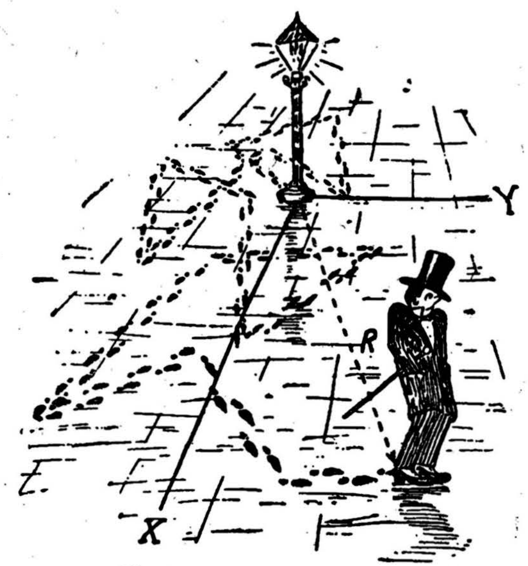
laboratorijama, ali koje su obične u unutrašnjosti zvezda, a posebno u unutrašnjosti Sunca, atomi kao takvi prestaju da postoje. Sve elektronske ljuske su potpuno ogoljene i materija postaje mešavina golih jezgara i slobodnih elektrona koji divlje kruže kroz prostor i sudaraju se jedan s drugim sa ogromnim silama. Međutim, uprkos potpunog razbijanja atomskih tela, materija još uvek zadržava svoje osnovne karakteristike, budući da jezgra atoma ostaju nedirnuta. Ako temperatura opadne, jezgra će ponovo zarobiti elektrone i atomi će biti regenerisani.

Da bi došlo do potpune termičke disocijacije materije, tj. da bi se sama jezgra razbila u odvojene nukleone (protone i neutrone), temperatura se mora popeti bar za nekoliko milijardi stepeni. Ali čak i u najtoplijim zvezdama ne nalazimo takve temperature, iako izgleda vrlo verovatno da su temperature te veličine postojale pre nekoliko milijardi godina kad je naša vasiona bila još mlada. Na ovo uzbudljivo pitanje ćemo se još vratiti u zadnjem poglavlju knjige.

I tako vidimo da je efekat termičkog kretanja taj da ono uništava korak po korak komplikovanu strukturu materije, zasnovanu na zakonu kvanta, i da pretvara ovu divnu zgradu u jednu hrpu čestica koje jure okolo naokolo, sudaraju se jedna s drugom prividno bez ikakve zakonitosti ili pravilnosti u tom kretanju.

2. Kako se može opisati anarhično kretanje?

Bilo bi ipak iz osnova pogrešno kad bi se smatralo da se termičko kretanje usled nepravilnosti ne može podvrgnuti bilo kakvom naučnom izučavanju. I zaista, pošto je termičko kretanje **potpuno nepravilno,** ono je podvrgnuto jednom novom zakonu, **zakonu nereda,** bolje poznatom pod imenom **»zakon statističkog ponašanja«.** Da bismo razumeli gornju tvrdnju upoznaćemo se sa čuvenim problemom »hoda pijanog čoveka«. Pretpostavimo da posmatramo jednog pijanog čoveka koji se naslonio na banderu u sredini jednog velikog gradskog trga (niko ne zna kako je ili kada došao do te bandere) i odjednom odluči da krene u neodređenom pravcu. I krene, načini nekoliko koraka u jednom pravcu, zatim nekoliko u drugom pravcu, itd. itd, menjajući svoj put na potpuno nepredviđen način svakih nekoliko koraka. (Sl. 80). Koliko će se taj čovek udaljiti od bandere pošto izvrši recimo sto takvih faza svog puta u cik-cak? Na prvi pogled moglo bi se pomisliti da je zato što je nemoguće predvideti svaki deo puta toga pijanog čoveka uopšte nemoguć odgovor na ovo pitanje. Ako međutim razmotrimo problem s malo više pažnje, videćemo da iako ne možemo da kažemo gde će pija-



Sl. 80 — Hod pijanog

nica biti na kraju svoje šetnje, ipak možemo da utvrdimo **najverovatniju** razdaljinu od bandere posle jednog velikog broja zaokreta u njegovoj šetnji. Da bismo odgovorili na ovo pitanje na potpuno matematički način, nacrtajmo na asfaltu dve koordinatne ose čiji je koordinatni početak bandera. Osa X da ide prema nama, a osa Y nadesno. Obeležimo sa R razdaljinu pijanice od bandere posle N cik-cak putanje (14 na slici 80). Ako X i Y pretstavljaju projekcije N-tog dela puta na odgovarajuću osu, Pitagorin teorem će nam očevidno dati

$$R^2 = (X_1+X_2+X_3 \ldots + X_N)^2 + (Y_1+Y_2+Y_3 \ldots + Y_N)^2$$

gde su X i Y pozitivni ili negativni zavisno od toga da li se pijanica kreće levo ili desno od bandere u ovoj datoj fazi

svoje šetnje. Skrećemo pažnju da će biti onoliko pozitivnih koliko i negativnih vrednosti za X i Y pošto je kretanje potpuno anarhično. Izračunavajući vrednosti kvadrata članova u zagradi (na osnovu elementarnih pravila algebre) treba da pomnožimo svaki član u zagradi samim sobom i svim ostalim članovima. Na taj način

$$(X_1+X_2+X_3+\ldots X_N)^2$$
$$=(X_1+X_2+X_3+\ldots X_N)(X_1+X_2+X_3+\ldots X_N)$$
$$=X_1^2+X_1X_2+X_1X_3+\ldots X_2^2+X_1X_2+\ldots X_N^2$$

Ova dugačka suma sadržavaće kvadrate svih X (X_1^2, X_2^2, ... X_N^2) i tzv. mešanih proizvoda kao što su X_1X_2, X_2X_3 itd.

Ovo dosad je prosta aritmetika, ali sada dolazi statistički deo, koji se zasniva na anarhičnosti šetnje pijanice. Pošto se kretao sasvim proizvoljno i pošto postoji ista verovatnoća da će učiniti korak ka banderi kao i korak od bandere, za vrednosti X postoji otprilike ista verovatnoća da će biti pozitivne kao i da će biti negativne. Ispitujući na taj način »mešane proizvode« lako ćete naći uvek parove koji imaju istu numeričku vrednost ali suprotne znake, zbog čega se poništavaju. I što je veći celokupni broj okreta to je verovatnije da će doći do takve kompenzacije. Ono što će ostati to su kvadrati samih X, jer je kvadrat uvek pozitivan. Na taj način čitava stvar se može napisati $X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 \ldots X_N^2 \ldots + = NX^2$, gde je X prosečna dužina projekcije jednoga delića cik-cak putanje na osu X.

Na sličan način se druga zagrada koja sadrži Y može svesti na NY^2, gde je Y prosečna projekcija jednog dela putanje na osovinu Y. Moramo ponoviti ovde da ono što smo baš sada uradili nije striktno algebarska operacija, već se zasniva na statističkom argumentu o uzajamnom brisanju »mešanih proizvoda« zbog slučajne prirode ove pojave. Kao najverovatniju razdaljinu naše pijanice od bandere dobićemo:

$$R^2 = N(X^2 + Y^2)$$

ili

$$R = \sqrt{N} \cdot \sqrt{X^2+Y^2}$$

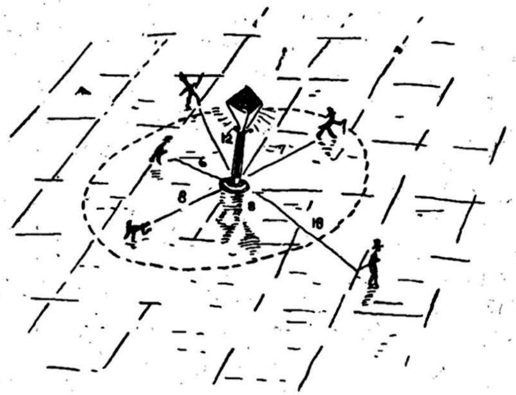
Ali prosečna projekcija jednog delića putanje na obe osovine je prosto projekcija pod uglom od 45°, tako da je

$X^2 + Y^2$ jednako (opet na osnovu Pitagorinog teorema) prosečnoj dužini delića putanje. Ako tu dužinu obeležimo sa 1, dobićemo:

$$R = 1 \cdot \sqrt{N}$$

Naš rezultat prosto znači: **najverovatnija razdaljina koju će naša pijanica proći od bandere posle jednog velikog broja nepravilnih zaokreta jednaka je prosečnoj dužini svakog pravog delića putanje koji on pređe, pomnoženoj s kvadratnim korenom njihovog broja.**

Pređe li, dakle, naša pijanica po jedan metar svaki put pre nego što zaokrene u nekom nepredviđenom pravcu, on će se verovatno svega 10 metara udaljiti od bandere ako ukupno pređe 100 metara. Da nije skretao već da je išao



Sl. 81 — Statistička raspodela šest pijanaca koji se šetaju oko bandere

pravo, on bi bio 100 metara daleko od bandere, što pokazuje da je stvarno velika prednost biti trezan kad čovek ide u šetnju.

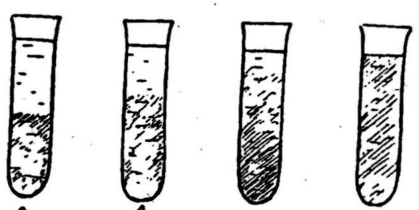
Statistička priroda ovog primera ispoljava se u činjenici da mi ovde govorimo samo o **najverovatnijoj** razdaljini, a ne o tačnoj razdaljini u svakom pojedinom slučaju. U slučaju jedne konkretne pijanice može se dogoditi, iako nije vrlo verovatno, da neće praviti nikakve zaokrete i da će na taj način stići daleko od bandere u pravoj liniji. Može se takođe dogoditi da se on svaki put okrene za ugao od recimo

180°, i vraćajući se tako banderi posle svakog drugog zaokreta. Ali ako veliki broj pijanica polazi od iste bandere, a pijanice idu svaki na svoj cik-cak način i ne sudaraju se jedan s drugim, posle dovoljno vremena vi ćete videti da su se oni raširili po jednoj površini oko bandere tako da se njihova prosečna razdaljina od bandere može izračunati po gornjem pravilu. Jedan primer takvog širenja usled nepravilnog kretanja vidi se na slici 81, gde imamo 6 pijanica u šetnji. Podrazumeva se samo po sebi da je ovo pravilo utoliko tačnije ukoliko je veći broj pijanica i veći broj zaokreta koje oni učine u svojoj šetnji bez reda.

Sad zamenite pijanice nekim mikroskopskim telima kao što su spore biljaka ili bakterije razmnožene u kakvoj tečnosti, i dobićete tačno onu sliku koju je botaničar Braun video u svom mikroskopu. Istina, spore i bakterije nisu pijane. Ali, kao što je već rečeno, molekuli koji ih okružuju udaraju u njih sa svih strana usled termičkog kretanja i zato su ta mikroskopska tela prisiljena da se kreću po istim cik-cak putanjama kao i osoba koja je potpuno izgubila osećaj pravca pod uticajem alkohola.

Ako pogledate kroz mikroskop Braunovo kretanje velikog broja malih čestica uhvaćenih u kapi vode, vi ćete koncentrisati svoju pažnju na jednu određenu grupu tih čestica koje se u datom trenutku nalaze na jednom malom području (blizu »bandere«). Primetićete da se u toku vremena te čestice postepeno proširuju preko čitavog mikroskopskog polja i njihova prosečna razdaljina od centra koordinata povećava se sa kvadratnim korenom intervala vremena, kao što to iziskuje matematički zakon kojim je izračunata razdaljina u primeru šetnje pijanice.

Sličan zakon kretanja važi razume se za svaki molekul u našoj kapi vode; ali vi ne možete da vidite odvojene molekule, a čak i kad biste mogli, ne biste bili u stanju da razlikujete jedan od druge. Da bi to kretanje postalo vidljivo, trebalo bi koristiti dve vrste molekula koje se razlikuju jedna od druge, naprimer, svojom bojom. Tako možemo napuniti polovinu jedne hemiske epruvete vodenim rastvorom kalijum permanganata, što će dati vodi divnu ljubičastu boju. Ako sad povrh toga naspemo malo čiste vode, pazeći pri tome da ne izmešamo dva sloja, primetićemo da se boja polako širi i na čistu vodu. Posle izvesnog vremena videćete da je sva voda od dna do površine postala iste boje. Ova svima poznata pojava zove se **difuzija** i potiče usled nepravilnog termičkog kretanja molekula boje među molekulima vode. Moramo da zamislimo svaki molekul permanganata kao malu pijanicu koja luta ovamo-onamo pod stalnim udarom drugih molekula. Pošto su u vodi molekuli zbijeni prilično tesno (za razliku od onih u gasu), prosečna putanja svakog molekula između dva sudara je vrlo kratka, jedva ako iznosi pedesetmilioniti deo santimetra. Kako se, međutim, molekuli na sobnoj temperaturi kreću brzinom koja iznosi otprilike 200 m. u sekundi, to prođe samo oko 1 milioniti milionitog dela sekunde između dva sudara jednog molekula. Na taj način u toku jednog jedinog sekunda jedan molekul boje pretrpeće oko milion miliona uzastopnih sudara i promeniće pravac svog kretanja isto toliko puta. Prosečna razdaljina koju prođe u toku prve sekunde biće: pedesetmilioniti deo jednog san-



a b c d

Sl. 82 — Difuzija

timetra (dužina slobodne putanje) pomnoženo s kvadratnim korenom milion miliona. Ovo nam daje prosečnu brzinu difuzije od svega jedan pedeseti santimetra na sekund. To je zaista spor proces kad se uzme u obzir da bi molekul bio 200 m. daleko da nije skrenut usled sudara. Ako čekate sto sekundi molekul bi se probio kroz 10 puta $(\sqrt{100} = 10)$ veću razdaljinu, a u 10 hiljada sekundi tj. oko tri sata difuzija bi prenela obojenje sto puta dalje $(\sqrt{10.000} = 100$, tj. oko dva santimetra. Difuzija je očevidno prilično spor proces; kad stavite komad šećera u šolju čaja, bolje bi bilo, dakle, da ga promešate nego da čekate da se molekuli šećera prošire kroz sav čaj svojim sopstvenim kretanjem.

Da bismo izneli još jedan primer procesa difuzije koji pretstavlja jedan od najvažnijih procesa u molekularnoj fizici, razmotrimo način na koji se toplota širi duž jednog gvo-

zdenog žarača kome se jedan kraj nalazi u vatri. Vi znate na osnovu iskustva da će biti potrebno dosta vremena dok se drugi kraj žarača ne zagreje toliko da počne da peče. Ali vi verovatno ne znate da se toplota prenosi kroz metalnu šipku procesom difuzije elektrona. Da, jedan obični metalni žarač je ustvari pun elektrona, kao god i svaki drugi metalni predmet. Razlika između metala i drugih materija, naprimer stakla, je u tome da atomi metala izgube izvesne svoje elektrone koji se šetaju kroz čitavu metalnu rešetku i podvrgnuti su termičkom kretanju baš onako kao i čestice običnog gasa.

Površinske sile na spoljnim granicama komada metala sprečavaju ove elektrone da izađu napolje.[1]) Ali u svom kretanju unutar materije oni su skoro potpuno slobodni. Ako kroz jednu metalnu žicu propustimo električnu silu, slobodni elektroni krenuće velikom brzinom u pravcu sile i proizvesti pojavu električne struje. Nemetali su, s druge strane, obično dobri izolatori pošto su svi njihovi elektroni vezani za atome, pa stoga ne mogu da se kreću slobodno.

Kad se jedan kraj metalne šipke stavi u vatru, termičko kretanje slobodnih elektrona u ovom delu metala znatno se povećava i brzi elektroni počinju da difunduju u druge predele noseći sa sobom višak energije u vidu toplote. Proces je vrlo sličan difuzuji molekula boje kroz vodu, samo što, umesto dve različite vrste čestica (molekuli vode i molekuli boje), koje smo tamo imali **ovde imamo difuziju vrućeg elektronskog gasa u predeo koji zauzima hladni elektronski gas.** Zakon kretanja pijanice važi i ovde, i razdaljine u kojima se toplota širi kroz jednu metalnu šipku rastu sa kvadratnim korenom odgovarajućih vremena.

Kao poslednji primer difuzije uzećemo jedan sasvim drugi slučaj kosmičke vrednosti. Kao što ćemo videti u poglavljima koja slede, energija našeg Sunca proizvodi se duboko u njegovoj unutrašnjosti alhemiskom transmutacijom hemiskih elemenata. Ova energija se oslobađa u vidu intenzivnog zračenja, i »čestice svetlosti« ili kvanti svetlosti, polaze na svoj dugački put kroz telo Sunca prema površini. Pošto svetlost putuje brzinom od 300.000 km. u sekundi, a poluprečnik Sunca je svega 700 hiljada km., jedan kvant svetlosti prešao

[1]) Kad zagrejemo jednu metalnu žicu do visoke temperature, termičko kretanje elektrona u njenoj unutrašnjosti postaje tako jako da se neki od njih probijaju kroz površinu. Ovo je pojava koja se koristi u elektronskim cevima i poznata je svim radioamaterima.

bi razdaljinu za nešto više od dva sekunda, ukoliko ne bi bilo nikakvih skretanja sa prave linije. Međutim, događa se nešto drugo. Na svome putu kvanti svetlosti pretrpe bezbrojne sudare sa atomima i elektronima Sunca. Slobodno kretanje jednog kvanta svetlosti u sunčanoj materiji iznosi oko jedan santimetar (znatno duže od kretanja molekula), a pošto je poluprečnik Sunca 70.000.000.000 cm., našem će kvantu svetlosti biti potrebno $(7 \times 10^{10})^2$ ili 5×10^{21} koraka jedne pijanice da izbije na površinu. Kako je za svaki korak potrebno $\frac{1}{3 \times 10^{10}}$ ili 3×10^{-11} sec., čitavo vreme putovanja iznelo bi $3 \times 10^{-11} \times 5 \times 10^{21} = 1{,}5 \times 10^{11}$ sec. ili oko pet hiljada godina. I opet ovde vidimo koliko je spor proces difuzije. Svetlosti je potrebno oko 50 vekova da pređe od centra Sunca do njegove površine, dok ta ista svetlost, kod jednom izbije u prazni međuplanetarni prostor i počne da putuje u pravoj liniji, pređe čitavu razdaljinu od Sunca do Zemlje za svega 8 minuta.

3. **Brojanje verovatnoća**

Slučaj difuzije pretstavlja samo jedan jednostavan primer primene statističkog zakona verovatnoće na problem molekulskog kretanja. Pre nego što uđemo dublje u diskusiju i pokušamo da razumemo veoma važan **zakon entropije** koji upravlja termičnim ponašanjem svakog tela, bilo to mala kapljica neke tečnosti ili gigantska vasiona zvezda, pre toga, dakle, moramo da naučimo nešto više o načinu na koji se može izračunati verovatnoća raznih jednostavnih ili komplikovanih događaja.

Najjednostavniji problem računa verovatnoće pojavljuje se kad bacite u vazduh jednu paru. Svako zna da je u ovom slučaju, ukoliko se ne podvaljuje, ista verovatnoća da ćete dobiti glavu kao i paru. Obično se kaže da postoje jednake verovatnoće za glavu ili paru. Ali u matematici je uobičajenije da se kaže da su verovatnoće **pola i pola**. Ako saberete verovatnoće da ćete dobiti paru ili glavu, dobićete $\frac{1}{2}+\frac{1}{2}=1$. Jedinica u teoriji verovatnoće znači da će se nešto sigurno dogoditi i vi ste zaista potpuno sigurni da ćete bacajući u vazduh novčić, dobiti glavu ili paru, sem ako novčić ode pod krevet, pa ga vi više ne nađete.

Pretpostavimo sada da bacite dvaput uzastopno vašu paru ili, što je isto, da bacite dve pare u isto vreme. Očevidno je, kao što se vidi na slici 83, da i tu postoje četiri mogućnosti.

U prvom slučaju dobićete glavu dvaput, u poslednjem paru dvaput, dok ćete u ostala dva slučaja dobiti isti rezultat pošto je vama svejedno po kome redu (ili na kojoj pari) se pojavljuju para ili glava. Na taj način reći ćete da verovatnoća da ćete dobiti glavu dvaput iznosi 1 od 4 slučaja ili ¼. Verovatnoća da ćete dobiti dvaput paru takođe iznosi ¼ dok je verovatnoća da ćete dobiti i paru i glavu po jedanput ravna: dva slučaja od četiri, dakle ½. I ovde je $\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}=1$, što znači da ste sigurni da ćete dobiti jednu od tri moguće kombinacije. Pogledajmo šta će se dogoditi ako bacimo novčić triput. U tom slučaju ima sve u svemu 8 mogućnosti koje smo sumirali u sledećoj tabeli.

prvo bacanje	G	G	G	G	P	P	P	P
drugo bacanje	G	G	P	P	G	G	P	P
treće bacanje	G	P	G	P	G	P	G	P
	I	II	II	III	II	III	III	IV

Ako ispitate ovu tabelu, videćete da postoji jedna šansa u osam mogućnosti da ćete dobiti glavu triput i ista verovatnoća da ćete dobiti paru triput. Ostale mogućnosti su jednako podeljene između sledećih: glavu dvaput i paru jedanput ili, glavu jedanput i paru dvaput, sa verovatnoćom od 3/8 za svaki slučaj.

Sl. 83 — Četiri moguće kombinacije u bacanju dve pare

Naša tabela različitih mogućnosti raste veoma brzo. Učinimo ipak još jedan korak i bacimo četiri puta. Sada imamo sledećih 16 mogućnosti:

prvo bacanje	G	G	G	G	G	G	G	G	P	P	P	P	P	P	P	P
drugo	G	G	G	G	P	P	P	P	G	G	G	G	P	P	P	P
treće	G	G	P	P	G	G	P	P	G	G	P	P	G	G	P	P
četvrto	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
	I	II	II	III	II	III	III	IV	II	III	III	IV	III	IV	IV	V

Ovde imamo verovatnoću od $\frac{1}{16}$ da će se glava pojaviti četiri puta i potpuno istu verovatnoću da će se para pojaviti četiri puta. Mešani slučajevi, i to glava triputa i para jedanput ili para tri puta i glava jedanput imaju verovatnoću od 4/16 ili 1/4 svaka, dok verovatnoće da će se para i glava pojaviti isti broj puta iznosi 6/16 ili $\frac{3}{8}$.

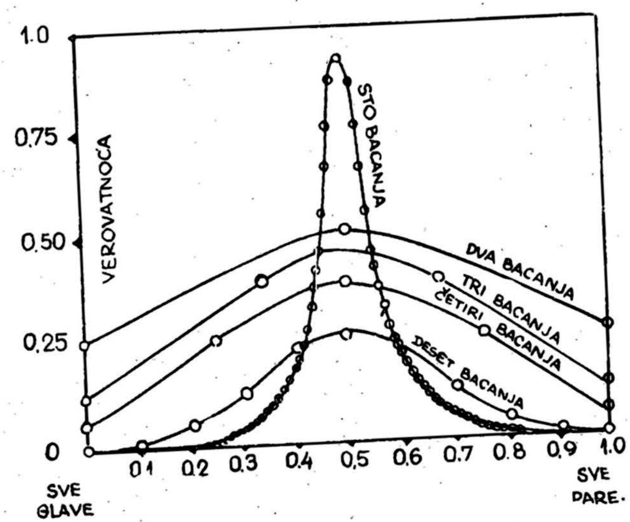
Ako pokušate da nastavite na sličan način za veće brojeve bacanja, tabela će postati tako dugačka da ćete uskoro ostati bez hartije. Tako, naprimer, za deset bacanja imaćete 1024 razne mogućnosti (t. $2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2$). Ali nije nimalo potrebno da pravimo dugačke tabele pošto se jednostavni zakoni verovatnoće, uočeni u onim jednostavnim primerima koje smo već naveli, mogu koristiti i u složenijim slučajevima.

Pre svega vi vidite da je verovatnoća da ćete dobiti glavu dvaput jednaka proizvodu verovatnoća da ćete je dobiti odvojeno u prvom i drugom bacanju tj. $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. Slično tome i verovatnoća da ćete dobiti glavu 3 ili 4 puta uzastopno proizvod je verovatnoća da ćete ih dobiti odvojeno u svakom bacanju $\left(\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2};\ \frac{1}{16} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right)$. Prema tome, ako vas neko pita kakva je verovatnoća da ćete dobiti glavu svaki put u 10 bacanja možete lako dati odgovor množeći 1/2 deset puta. Rezultat će biti 0,00098, što pokazuje da su verovatnoće vrlo male, oko 1 na 1000. Ovde imamo pravilo tzv. množenja verovatnoća koje glasi: **ako želite nekoliko različitih stvari, možete utvrditi mate-**

matičku verovatnoću da ćete ih dobiti množeći matematičke verovatnoće da dobijete svaku od njih ponaosob. Ako ima mnogo stvari koje želite, a svaka je od njih malo verovatna, verovatnoća da ćete ih sve dobiti vrlo je mala.

Postoji takođe jedno drugo pravilo, pravilo »sabiranja verovatnoća« koje veli: **ako želite samo jednu od nekoliko stvari (svejedno koju) matematička verovatnoća da ćete je dobiti jednaka je sumi matematičkih verovatnoća da ćete dobiti svaki pojedini željeni predmet.**

Ovo se može lako ilustrovati primerom kako se dobija jednaka podela između glava i para u bacanju novčića dva



Sl. 84 — Relativni broj para ili glava

puta. Ono što vi zaista želite to je da dobijete bilo »glavu jednom, a paru dvaput«, bilo »paru dvaput, glavu jednom«. Verovatnoća svake od ovih kombinacija je $\frac{1}{4}$, a verovatnoće da ćete dobiti bilo koju od njih je jednaka $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$ ili $\frac{1}{2}$. Otuda ako želite »ono i ono i ono...« vi **množite** individualne matematičke verovatnoće raznih događaja. Ako međutim vi želite »ono **ili** ono **ili** ono«, vi sabirate verovatnoće.

U prvom slučaju verovatnoća da ćete dobiti sve što želite smanjuje se kako broj željenih stvari raste. U drugom slučaju, kad želite samo jednu od mnogih stvari, verovatnoća da ćete biti zadovoljeni raste ukoliko spisak stvari iz kojih birate postaje duži.

Eksperimenti s bacanjem novčića pružaju fini primer za to šta se podrazumeva kad se kaže da zakoni verovatnoće postaju sve tačniji ukoliko imate posla s većim brojem pokušaja. Tó se vidi na slici 84 koja pokazuje verovatnoće da ćete dobiti različit relativan broj glava i para za 2, 3, 4, 10 i 100 bacanja. Vidite da sve većim brojem bacanja kriva verovatnoće postaje sve oštrija, i maksimum na njoj koji obeležava dve polovine srazmere između para i glava postaje sve izrazitiji.

I tako dok je verovatnoća da ćete u 2, 3 ili 4 bacanja dobiti glavu svaki put ili paru svaki put još uvek znatna, verovatnoća da ćete u deset bacanja dobiti 90% glava ili para već je doista, vrlo mala. Za još veći broj bacanja, recimo 100 ili 1000, kriva verovatnoće postaje oštra kao igla, i verovatnoće da ćete dobiti ikakvo otstupanje od tačne raspodele na $\frac{1}{2}:\frac{1}{2}$ praktično iščezava.

Upotrebimo sada ova jednostavna pravila računa verovatnoće koja smo upravo izučili da bismo procenili relativne verovatnoće raznih kombinacija od pet karata za igranje koje susrećemo u dobro poznatoj igri pokera.

Dakle, ako ne znate, u ovoj igri svaki igrač dobija 5 karata i onaj koji ima najveću kombinaciju nosi pare. Ovde ćemo da izostavimo eventualne komplikacije koje nastaju usled mogućnosti da promenite jedan deo vaših karata u nadi da ćete dobiti bolje, kao i one koje nastaju zbog psihološke strategije kad želite da blefiranjem prinudite na predaju vaše protivnike time što ste ih naveli da veruju kako imate mnogo bolje karte nego što vi stvarno imate. Iako ovo blefiranje pretstavlja suštinu igre i jednom je navelo čuvenog danskog fizičara Nils Bora da predloži jednu potpuno novu igru u kojoj se uopšte ne koriste karte, već igrači prosto blefiraju govoreći jedan drugom o imaginarnim kombinacijama koje oni imaju, sve ovo ipak leži

potpuno izvan područja računa verovatnoće i pretstavlja
čisto psihološki problem.
Da bismo se malo uvežbali u računu verovatnoće, izra-
čunajmo verovatnoće izvesnih kombinacija u igri pokera.
Jedna od tih kombinacija zove se »flaš«, i pretstavlja pet
karata sve iste vrste (slika 85). Ako želite da dobijete
flaš potpuno je nevažno kakve je vrste prva karta koju
ste dobili. Treba samo izračunati mogućnosti da i ostale
četiri budu od iste vrste. U špilu karata imamo ukupno 52
karte, po 13 karata od svake vrste. Kad, dakle, dobijete
prvu kartu, u špilu ostaje još 12 karata iste vrste. Prema
tome, verovatnoća da će vaša druga karta biti odgovarajuće
vrste jednaka je 12/51. Slično tome, verovatnoća da će tre-

Sl. 85 — Flaš (pikova) sve karte iste vrste

ća, četvrta i peta karta biti iste vrste data je razlomcima
11/50, 10/49 i 9/48. Kako vi želite da svih pet karata budu
iste vrste, morate da primenite pravilo množenja verovat-
noće. Ako to učinite videćete da je verovatnoća da ćete do-
biti flaš jednaka:

$$\frac{12}{51}\times\frac{11}{50}\times\frac{10}{49}\times\frac{9}{48}=\frac{13068}{5997600} \text{ ili oko 1 u 500.}$$

Ali molim, nemojte misliti da ćete u 500 deljenja sigurno
dobiti jedan flaš. Možete i ne dobiti ili dobiti dva. Ovo je
samo račun verovatnoće, pa se može dogoditi da će vam
podeliti mnogo više od 500 deljenja a da ne dobijete že-
ljenu kombinaciju. Ili, obrnuto, da će vam biti podeljen
flaš prvi put kad uzmete karte u ruke. Sve što vam račun
verovatnoće može da kaže to je da ćete **verovatno** dobiti
jedan flaš u 500 deljenja. Takođe ćete saznati, držeći se istih
metoda računanja, da ćete u 30 miliona deljenja verovatno
dobiti po 5 kečeva (ubrojivši i džoker) oko 10 puta.

Jedna druga kombinacija u pokeru koja je još ređa i prema tome ima mnogo veću vrednost, zove se »ful«. Ova kombinacija sastoji se iz jednog »para« i jednog »trilinga«, tj. dve karte iste vrednosti u dve različite vrste i tri karte iste vrednosti u tri različite vrste, kao naprimer dve petice i tri kraljice na slici 86.

Ako želite da dobijete ful, nije važno koje će biti prve dve karte, ali kad ih jednom dobijete dve od ostale tri karte koje treba da dobijete treba da se slažu sa jednom od njih, a treća sa drugom. Pošto postoji šest karata koje će da odgovaraju onima koje vi imate (ako imate kraljicu

Sl. 86 — Ful hauz

i peticu onda postoje još tri kraljice i tri petice), verovatnoća da će treća karta koju dobijete biti baš ona koja vam treba za ful iznosi 6 od 50 ili 6/50. Verovatnoća da će četvrta karta biti ona prava iznosi 5/49 pošto postoji svega pet pravih karata od 49 koliko ih ostaje, a verovatnoća da će peta karta biti ona prava iznosi 4/48. Izlazi da celokupna verovatnoća da dobijete jedan ful iznosi oko polovinu verovatnoće da ćete dobiti flaš.

Na sličan način mogu se izračunati verovatnoće drugih kombinacija, naprimer one što se zove »streit« (to je niz karata po vrednosti), a takođe možete izračunati promenu u verovatnoći unoseći u špil jednog džokera i mogućnost zamene prvobitno podeljenih karata.

Takvim računima može se utvrditi da hijerarhiski red važnosti pojedinih kombinacija u pokeru zaista odgovara redu njihovih matematičkih verovatnoća. Piscu ove knjige nije poznato da li je taj redosled kombinacija utvrdio neki matematičar još u stara vremena ili je utvrđen empiričkim putem od strane miliona igrača koji su rizikovali svoj novac u luksuznim kockarnicama ili u malim jazbinama širom

sveta. Ako je tačno ovo drugo, onda moramo priznati da ovde imamo prilično dobru statističku studiju relativnih verovatnoća komplikovanih događaja.

Jedan drugi zanimljiv primer izračunavanja verovatnoće koji dovodi do sasvim neočekivanog odgovora jeste problem »koincidentnog rođendana«. Pokušajte da se setite da li ste ikad bili pozvani na dva rođendana istog dana. Reći ćete da su verovatnoće takvih dvostrukih poziva veoma male, jer vi imate otprilike 24 prijatelja koji će vas verovatno pozvati, a ima 365 dana u godini i u svaki od tih dana rođendan može da padne. Sa toliko, dakle, dana na izbor, doista mora biti veoma mala verovatnoća da će bilo koja dvojica od vaša 24 prijatelja seći svoj rođendanski kolač istog dana.

Međutim, makoliko to izgledalo neverovatno, vaša procena biće vrlo pogrešna. Stvar je u tome što postoji prilično visoka verovatnoća da će u grupi od 24 osobe biti jedan ili nekoliko parova koji imaju rođendane istog dana. Ustvari veća je verovatnoća da će doći do te koincidencije rođendana nego da neće.

Tu činjenicu možete proveriti ako napravite listu rođendana za 24 osobe, ili, još jednostavnije, ako uzmete rođendane 24 osobe čija se imena pojavljuju jedno za drugim u nekoj enciklopediji. A verovatnoće ćemo utvrditi primenom jednostavnih pravila računa verovatnoće sa kojima smo se upoznali u problemima bacanja novčića i mogućnosti kombinacija u pokeru.

Pretpostavimo da izračunamo prvo verovatnoće da će u društvu od 24 osobe svako biti rođen u drugi dan. Upitajmo prvu osobu u grupi kad mu je rođendan, očevidno to može da bude bilo koji od 365 dana u godini. A sad, kakva je verovatnoća da će rođendan druge osobe koju upitamo padati u **različit** dan od one prve osobe? Pošto je ova druga osoba mogla biti rođena u koji bilo dan u godini, postoji samo jedna mogućnost u 365 da se njegov rođendan podudara sa rođendanom prve osobe i 364 i 365 da se ne podudara. Slično tome verovatnoća da treća osoba ima rođendan koji pada u različit dan od prve ili druge je 363 prema 365, pošto dva dana u godini otpadaju. Verovatnoća da će iduće osobe koje upitamo imati rođendane raspoređene drukčije od onih koje smo već označili biće: 362/365, 361/365, 360/365 itd. itd. — sve do poslednje osobe kod koje je ta verovatnoća jednaka $\frac{(365-23)}{365}$ ili $\frac{342}{365}$.

Pošto pokušavamo da utvrdimo kakva je verovatnoća da postoji bar jedno podudaranje u datumima rođendana, moramo da pomnožimo sve ove razlomke. Tako ćemo dobiti verovatnoću da će sve osobe imati različite rođendane:

$$\frac{364}{365} \times \frac{363}{365} \times \frac{362}{365} \times \ldots \frac{342}{365}$$

Ovaj proizvod se može dobiti za nekoliko minuta ako se služite izvesnim metodima više matematike, ali ako ih ne znate možete ići malo težim putem i pokušati da ih direktno pomnožite[2]), što vam neće oduzeti premnogo vremena. Rezultat će biti 0.46, što pokazuje da je verovatnoća da neće biti podudarnih rođendana nešto manja od jedne polovine. Drugim rečima, postoji svega 46 na 100 verovatnoća da nijedan par od vaša dva tuceta prijatelja neće imati rođendane istog dana, a 54 na 100 da će dva ili više njih imati takvo podudaranje rođendana. Pa ako, dakle, imate 25 ili više prijatelja i nikad niste bili pozvani na dva rođendana istog dana, onda možete zaključiti sa visokim stepenom verovatnoće ili da većina vaših prijatelja ne slavi rođendane ili da vas ne pozivaju svi na proslave.

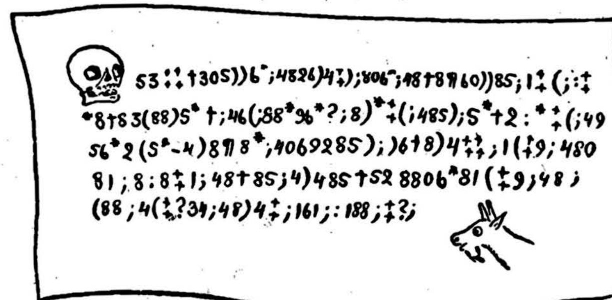
Problem podudarnih rođendana pretstavlja jedan fini primer za to kako zdrav razum može potpuno pogrešno da proceni verovatnoće složenih pojava. Autor ove knjige je postavio ovo pitanje velikom broju osoba, uključujući tu i mnoge istaknute naučnike, i u svim slučajevima sem jednom[3]) dobio je ponudu da se kladi, i to od 2 prema 1 do 15 prema jedan da se takve podudarnosti neće dogoditi. Da je on prihvatio sve ove opklade, on bi sada bio bogat čovek.

Ne može se dovoljno često ponavljati da ako izračunamo verovatnoće raznih pojava prema datim pravilima i izaberemo najverovatnije između njih, mi nimalo nismo sigurni da će se tačno taj događaj i odigrati. Sve dok broj proba koje vršimo ne dostigne hiljade, milione ili, još bolje, milijarde, ovi predviđeni rezultati su samo »verovatni« a

[2]) Upotrebite, ako umete, logaritamske tablice ili logaritmar.

[3]) Ovaj izuzetak, razume se, bio je jedan mađarski matematičar (vidi početak prve glave ove knjige).

nipošto »sigurni«. Ovo popuštanje zakona verovatnoće kad se primenjuje na relativno mali broj proba ograničava, naprimer, korisnost statističke analize u dešifrovanju raznih šifri i kriptograma kad su ovi ograničeni na kratke beleške. Uzmimo, naprimer, čuveni slučaj koji je opisao Edgar Alan Po (Edgar Allen Poe) u svojoj dobro poznatoj priči »Zlatna buba«. On nam priča o tome kako je neki g. Legran, šetajući duž jedne puste plaže u Južnoj Karolini, našao komad pergamenta poluzatrpanog u mokrom pesku. Pri toploti vatre koja je veselo pucketala u g. Legranovoj kolibi na plaži, na ovom pergamentu su se pojavili tajanstveni znaci napisani mastilom koje se nije videlo dok je pergament bio hladan, ali koji su postali crveni i sasvim čitljivi kada je ovaj zagrejan. Pojavila se slika jedne lobanje, što je značilo da je dokumenat pisao nekakav gusar, zatim glava jednog jarca, što je bio nesumnjiv dokaz da je taj gusar bio glavom čuveni kapetan Kid*, i nekoliko redova tipografskih znakova, koji su verovatno ukazivali na mesto gde se nalazi blago. (Vidi sliku 87).



Sl. 87 — Poruka kapetana Kida

Primićemo na reč Edgar Alan Poa tvrdnju da su gusari sedamnaestog veka poznavali takve tipografske znake kao što su tačka i zapeta, znaci navoda i drugi slični, kao :, +, §, ‡.

Nemajući novaca, g. Legran je upotrebio svu svoju umnu moć u pokušaju da dešifruje tajanstveni kriptogram, i na kraju je uspeo u tome pokušaju na osnovu relativne frekvencije raznih slova u engleskom jeziku. Njegov me-

*) Kid na engleskom znači jare. Prev.

tod se zasnivao na činjenici da ako izbrojimo ma koji broj slova nekog teksta na engleskom, svejedno da li se radi o Šekspirovom sonetu ili detektivskom romanu Edgara Valasa (Edgar Wallace), vi ćete naći da se slovo »e« najčešće pojavljuje. Posle »e« najčešće se pojavljuju sledeća slova:

a, o, i, d, h, n, r, s, t, u, y, c, f, g, l, m, w, b, k, p, q, x, z.

Brojanjem raznih simbola koji se pojavljuju u kriptogramu kapetana Kida g. Legran je utvrdio da se u ovom pergamentu najčešće pojavljuje kao simbol cifra 8. »Aha« rekao je g. Legran, »to znači da 8 najverovatnije pretstavlja slovo »e«.

I on je u ovom slučaju bio u pravu, ali, naravno, to je bilo vrlo verovatno a nikako sigurno. I zaista da je tajna poruka glasila: »Naći ćete puno zlata i dukata u jednoj gvozdenoj kasi u šumi koja je dve hiljade metara udaljena južno od jedne kolibe na severnom delu ostrva tica«, u toj poruci, napisanoj na engleskom jeziku, ne bi bilo nijednog jedinog slova »e«. Ali zakoni verovatnoće bili su naklonjeni g. Legranu, i njegova pretpostavka pokazala se tačnom.

Kako je imao uspeha na prvom koraku, g. Legran je postao isuviše samouveren, pa je nastavio na isti način, tražeći slova u znacima prema učestanosti kojom su se pojavljivala. Na tabeli (str. 203) dajemo simbole, u poruci kapetana Kida po redu učestanosti njihovog pojavljivanja.

Prvi stubac desno pretstavlja slova azbuke poređana po redu njihove relativne učestanosti u engleskom jeziku. Prema tome logično je bilo pretpostaviti da su znaci nanizani u širokom levom stupcu zamenjivali slova koja su navedena suprotno od njih u uskom desnom stupcu. Koristeći ovaj način, on je utvrdio da početak poruke kapetana Kida glasi: **ngijsgungddrhaoecr...**

Nikakvog smisla!

Šta se dogodilo? Da li je stari gusar bio tako lukav da je koristio samo specijalne reči koje ne sadrže slova što se nižu istim redom učestanosti kao ona u rečima koje se normalno koriste u engleskom jeziku? Nikako; radi se prosto o činjenici da tekst poruke nije dovoljno dugačak za dobar statistički ogled, pa je, stoga, izostala i najverovatnija raspodela slova. Da je kapetan Kid sakrio svoje blago

na tako komplikovan način da su njegova uputstva da se blago nađe bila dugačka par stranica ili, još bolje, jednu čitavu knjigu g. Legran bi imao mnogo više nade da će rešiti zagonetku primenom pravila učestanosti.

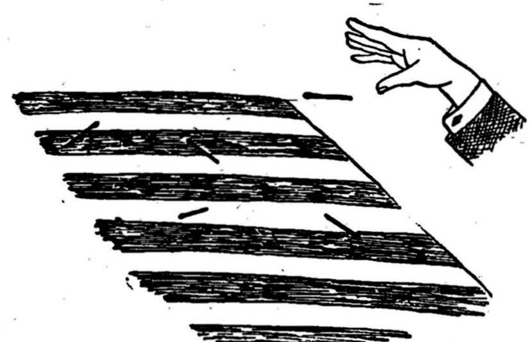
	33	e	e
;	26	a	t
4	19	o	h
‡	16	i	o
(	16	d	r
*	13	h	n
5	12	n	a
6	11	r	i
†	8	s	d
1	8	t	
0	6	u	
g	5	y	
2	5	c	
i	4		
3	4	g	g
?	3	l	u
¶	2	m	
-	1	w	
	1	b	

Ako bacite novčić 100 puta, možete biti prilično sigurni da će se oko 50 puta pojaviti glava. Ali ako bacite novčić svega četiri puta može vam se dogoditi da dobijete glavu tri puta a paru jednom ili obratno. Prema tome, možemo postaviti pravilo: što je veći broj proba to će zakoni verovatnoće tačnije da važe.

Kad se jednostavni metod statističke analize pokazao nekorisnim usled nedovoljnog broja slova u kriptogramu, g. Legran je morao da upotrebi analizu na osnovu strukture raznih reči u engleskom jeziku. Pre svega, on je potkrepio svoju hipotezu da najčešći znak 8 pretstavlja slovo e time što je otkrio da se kombinacija 88 pojavljuje vrlo često (pet puta) u relativno kratkoj poruci, jer, kao što se zna, slovo e se vrlo često pojavljuje kao udvojeno u engleskim rečima (kao u: meet, fleet, speed, seen, been, agree, itd.). Dalje, ako 8 zaista pretstavlja slovo e moglo bi se očekivati da će se vrlo često pojaviti kao deo reči »the«**). Ispitujući tekst na pergamentu videćemo da se kombinacija ;48 pojavljuje sedam puta u nekoliko redaka. Ali ako je ovo tačno, moramo zaključiti da ; pretstavlja slovo t i 4 slovo h.

Savetujemo čitaocu da pročita Poovu priču da bi se upoznao s detaljima daljeg dešifrovanja poruke kapetana Kida, za čiji je puni tekst konačno utvrđeno da glasi: »Jedno dobro staklo u vladikinom hotelu u đavoljem sedištu. Četrdeset i jedan stepen i trinaest minuta severo-istočno. Glavna grana sedma grana istočna strana. Uperi od levog oka mrtvačke glave. Prava linija od drveta kroz đule 13 metara dalje«.

Tačno značenje raznih simbola što ih je dešifrovao g. Legran vidi se na drugom stupcu na strani 203 i kao što vidite ne odgovara tačno raspodeli koja se mogla očekivati



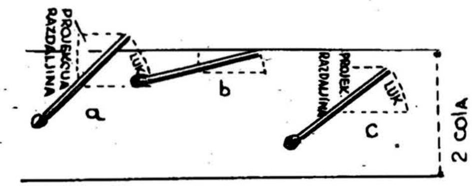
Sl. 88 — Problem zastave i šibica

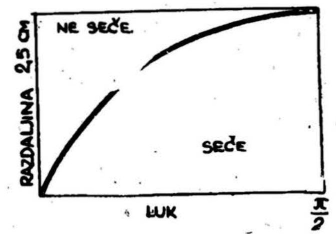
na osnovu zakona verovatnoće. To proističe iz činjenice da je tekst suviše kratak i prema tome ne pruža dovoljnu mogućnost da bi vredeli zakoni verovatnoće. Ali čak i u ovom malom »statističkom ogledu« možemo da vidimo tendenciju da se slova raspodele po redu koji iziskuje teorija verovatnoće, tendenciju koja bi postala skoro neprikosnovenim pravilom da je broj slova u poruci dovoljno veliki.

**) »the« je član koji ide uz imenice. Prev.

Izgleda da postoji svega jedan primer (sem činjenice da osiguravajuća društva nikad ne bankrotiraju) gde su predviđanja zakona verovatnoće proverena u dovoljnom broju proba. To je poznati problem zastave Sjedinjenih Američkih Država i kutije šibica.

Da biste izučili ovaj problem verovatnoće, potrebna vam je jedna zastava Sjedinjenih Američkih Država, tj. deo koji se sastoji iz belih i crvenih pruga; ako nemate zastavu, uzmite veliki komad hartije i nacrtajte na njemu izvestan broj paralelnih linija na jednakoj razdaljini. Onda vam treba kutija šibica, makakvih šibica samo da su kraće od razdaljine između pruga. Zatim vam treba jedno grčko **pi**, što





Sl. 89 — Sinus problema šibice

nije ništa za jelo.***) Pored toga što kao slovo grčke azbuke služi za pisanje grčkih tekstova, ovim se slovom obeležava i odnos između obima jednog kruga prema njegovom prečniku. Verovatno znate da je numerička vrednost jednaka 3,1415926535... (poznat je još veći broj njegovih cifara, ali nam neće trebati).

Sad raširite zastavu na sto, bacite šibicu u vazduh i pazite gde će pasti na zastavu (sl. 88). Može da padne tako

***) »Pie« na engleskom znači pita a u isto vreme i ime za grčko slovo π. Prev.

da sva ostane na jednoj crvenoj pruzi ili može pasti preko granice između jedne crvene i jedne bele pruge. Kakve su mogućnosti da dođe do jednog ili drugog?

Držeći se načina koji smo upotrebili u izračunavanju drugih verovatnoća, moramo prvo da izbrojimo broj slučajeva koji odgovaraju jednoj ili drugoj mogućnosti.

Ali kako je moguće izbrojati sve mogućnosti kad je očevidno da šibica može da padne na zastavu na bezbroj načina?

Proučimo ovo pitanje malo izbliže. Položaj šibice u odnosu na jednu prugu na koju padne može se definisati razdaljinom središne šibice od najbliže ivice i uglom koji šibica zaklapa sa pravcem pruga. Na slici 89 dajemo tri tipična primera šibica koje su pale, pretpostavljajući radi jednostavnosti da je dužina šibice jednaka širini prostora između pruga, koja iznosi recimo 5 cm. Ako je centar šibice blizu ivice, a ugao prilično veliki (kao u slučaju a), šibica će da preseče ivicu. Ako je ugao mali (kao u slučaju b) ili razdaljina velika (kao u slučaju c), šibica neće preseći ivice pruge, nego će ležati u granicama ove. Preciznije možemo reći da će šibica da preseče ivicu ako je projekcija polovine šibice u vertikalnom pravcu veća od polovine razdaljine između ivica jedne pruge (kao u slučaju a), i da neće doći do preseka u obrnutom slučaju (kao u slučaju b). Gornja tvrdnja pretstavljena je grafički na dijagramu u donjem delu slike 89. Na horizontalnoj osi (apscisi) pretstavili smo ugao koji šibica zauzima, izražen dužinom odgovarajućeg luka prečnika 1. Na vertikalnoj osi (ordinati) označili smo dužinu projekcije polovine šibice na vertikalni pravac. U trigonometriji ova dužina je poznata kao **sinus** odgovarajućeg luka. Očevidno je da je sinus jednak nuli kad je luk jednak nuli pošto u tom slučaju šibica zauzima horizontalni položaj. Kada je luk jednak $\frac{1}{2}\pi$, što odgovara pravom uglu[4]), sinus je jednak jedinici, pošto šibica zauzima vertikalni položaj, pa se tako podudara sa projekcijom. Za međuvrednosti luka sinus je dat poznatom matematičkom talasnom

[4]) Obim jednog kruga sa poluprečnikom 1 jednak je π pomnoženo sa njegovim prečnikom ili 2π. Na taj način dužina jednog kvadranta kruga jednaka je $2\frac{\pi}{4}$ ili $\frac{\pi}{2}$.

krivom koja se zove sinusoida (na slici 89 imamo samo jednu četvrtinu potpunog talasa u intervalu između O i $\frac{\pi}{2}$).

Pošto smo konstruisali ovaj dijagram možemo ga upotrebiti za procenu verovatnoća da li će šibica pasti ili neće pasti preko ivice. Kao što smo videli gore (pogledajte ponovo na tri primera prikazana u gornjem delu slike 89), šibica će preseći ivicu jedne pruge ako je razdaljina od centra do ivice manja od odgovarajuće projekcije, tj. manja od sinusa luka. To znači da ćemo, navodeći tu razdaljinu i taj luk, dobiti u našem dijagramu tačku **ispod** linije sinusa. S druge strane, kad šibica padne potpuno između ivica, dobićemo tačku **iznad** linije sinusa.

Prema tome, po našim pravilima izračunavanja, verovatnoće da će šibica preseći ivicu biće u odnosu na verovatnoću da neće, jednaka odnosu površina ispod krive i iznad krive; ili, verovatnoće dvaju događaja mogu se izračunati deleći te dve površine celokupnom površinom pravougaonika. Matematički se može dokazati (vidi poglavlje II) da je površina sinusoide u našem dijagramu jednaka tačno 1. Pošto je celokupna površina pravougaonika jednaka

$$\frac{\pi}{2}\times 1=\frac{\pi}{2}$$

to izlazi da je verovatnoća da će naša šibica pasti preko ivice (to važi za šibice čija je dužina jednaka razdaljini između linija) jednaka $\frac{1}{\pi/2}=\frac{2}{\pi}$.

Zanimljivu činjenicu da se π pojavljuje ovde gde se može najmanje očekivati prvi je primetio u XVIII veku, naučnik grof Bifon (Bufon). Stoga ovaj problem šibice i pruga nosi njegovo ime.

Jedan vredni italijanski matematičar Lazerini (Lazzerini) izvršio je eksperimenat u vezi sa ovim problemom. On je bacao šibicu 3408 puta i primetio da u 2169 slučajeva šibica seče ivicu. Kad se uporede ovi podaci eksperimenta sa Bifonovom formulom, dobija se vrednost od $\frac{2+3408}{2169}$ ili 3,1415929, što se razlikuje od tačne matematičke vrednosti tek u sedmoj decimali.

Ovo pretstavlja, razume se, jedan vrlo zabavni dokaz vrednosti zakona verovatnoće, ali ništa zabavniji od utvrđivanja broja »dva« bacanjem jednog novčića u vazduh nekoliko hiljada puta i deljenjem celokupnog broja bacanja sa brojem koliko se puta pojavila para. I zaista vi ćete u ovom slučaju dobiti broj: 2,000000... sa isto toliko malom greškom kao što je i Lazerini utvrdio vrednost π.

4. »Tajanstvena« entropija

Iz gore navedenih primera računa verovatnoće, koji se svi odnose na obični život, videli smo da predviđanja ove vrste, koja su vrlo često razočaravajuća kad se radi o malom broju primera, postaju sve bolja što je broj veći. Ova činjenica čini ove zakone naročito primenljivim u opisivanju skoro bezbrojnih količina atoma i molekula koji sačinjavaju i najmanji delić materije s kojim možemo da baratamo. I tako dok statistički zakon šetnje pijanice može da nam da samo približne rezultate kad se primeni na pola tuceta pijanica od kojih će svaki da napravi oko 20 zaokreta, primena tog zakona na milijarde molekula boje koji su podvrgnuti milijardama sudara svakog sekunda daje nam najprecizniji fizički zakon difuzje. Možemo takođe da kažemo da boja koju smo prvobitno rastvorili samo u polovini vode u našoj epruveti teži da se procesom difuzije ravnomerno proširi kroz čitavu tečnost zato što je ravnomerna raspodela **verovatnija** od prvobitne.

Iz tog istog razloga je i soba u kojoj sedite čitajući ovu knjigu ravnomerno ispunjena vazduhom — od zida do zida i od poda do tavanice — i nikad vam ne padne na pamet da bi vazduh u sobi mogao odjednom da se sav skupi u jednom uglu, ostavljajući vas da se ugušite na stolici. Međutim, **ovaj strašni događaj nikako nije fizički nemoguć, ali je vrlo neverovatan.**

Da bismo razjasnili stanje, razmotrimo sobu koja je podeljena jednom zamišljenom vertikalnom ravni, i upitajmo se koja je najverovatnija raspodela molekula vazduha između ova dva dela. Problem je, razume se, potpuno identičan sa problemom bacanja novčića o kome smo diskutovali u prethodnom poglavlju. Ako uzmemo jedan jedini molekul postoji jednaka verovatnoća da će biti u desnoj kao i u le-

voj polovini sobe, dakle potpuno isto kao što novčić koji bacamo u vazduh može da padne na sto sa glavom ili parom nagore.

Drugi, treći i svi ostali molekuli takođe imaju izjednačene mogućnosti da će se naći u desnoj ili levoj polovini sobe, bez obzira na to gde se nalaze drugi molekuli.[5]) Stoga je problem raspodele molekula između dve polovine sobe ekvivalentan problemu raspodele para i glava u velikom broju bacanja, a kao što smo videli na slici 84 raspodela u srazmeri 1 : 1 u ovom slučaju najverovatnija. Na toj slici vidi se takođe i to da se sve većim brojem bacanja (u našem slučaju broj molekula vazduha) verovatnoća od 50% postaje sve veća, pretvarajući se praktično u potpunu sigurnost kada taj broj postane vrlo veliki. Pošto u jednoj sobi prosečne veličine ima oko 10^{27} molekula,[6]) verovatnoća da će se sve one sakupiti jednovremeno u, recimo, desnom ćošku sobe jednaka je:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{10^{27}} \cong 10^{-3 \cdot 10^{26}}$$

što znači 1 prema $10^{3 \cdot 10^{26}}$

Budući da se, s druge strane, molekuli vazduha kreću brzinom od 0,5 km na sekund, biće im potrebno oko jedan stoti deo od sekunde da pređu s jednog kraja sobe na drugi. Na taj način njihova raspodela u sobi menjaće se sto puta u sekundi. Prema tome, vreme potrebno da dođe do ove naše željene kombinacije, iznosiće $10^{299,999,999,999,999,999,999,999,998}$. Koliko je ovo vreme može se videti iz toga što celokupna starost vasione iznosi 10^{17} sec. I tako vi možete da mirno nastavite sa čitanjem ove knjige, bez bojazni da ćete biti ugušeni usled dopuštene verovatnoće.

Uzmimo jedan drugi primer. Posmatrajmo čašu vode koja stoji na stolu. Poznato je da se molekuli vode, podvrgnuti haotičnom termičkom kretanju, kreću u svim mogućim prav-

[5]) Ustvari, usled velikih razdaljina između molekula jednoga gasa, prostor nije sasvim zagušen molekulima i prisustvom velikog broja molekula u jednoj datoj zapremini ne sprečava ulazak novih molekula.

[6]) Jedna soba od $3 \times 3 \times 5$ m ima zapreminu od $5,5 \times 10^7$ cm³ i sadrži 5×10^4 gr. vazduha. Pošto je prosečna masa molekula vazduha jednaka $30 \times 1.66 \times 10^{-24} \cong 5 \times 10^{-23}$ gr., celokupni broj molekula jednak je

$$\frac{5 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^{-23}} = 10^{27}$$

Znak $\cong$ znači: približno jednako.

cima, ali ne mogu da se sasvim razlete usled sila kohezije između njih. Pošto je pravac kretanja svakog molekula određen potpuno zakonom verovatnoće, to možemo da razmotrimo mogućnost da će u jednom datom trenutku brzina polovine molekula, tj. onih u gornjoj polovini čaše biti uperena nagore, dok će se druga polovina, u donjem delu čaše, kretati nadole.[7])

U tom slučaju kohezione sile koje deluju duž horizontalne ravni koja razdvaja dve grupe molekula neće biti u stanju da spreče »njihovu zajedničku želju da se razdvoje«. I mi ćemo videti čudnu fizičku pojavu da će polovina vode iz čaše spontano skočiti u vazduh u pravcu tavanice brzinom kuršuma.

Druga mogućnost je da će celokupna energija termičkog kretanja molekula vode biti koncentrisana u jednoj prilici na molekule u gornjem delu čaše. Tada bi se voda na dnu čaše odjednom zamrzla dok bi gornji slojevi počeli žestoko da ključaju. Zašto niko nikad nije video da se tako šta dogodi? Ne zato što je ovo nemoguće, već samo zato što je to vrlo malo verovatno. Ako pokušate da izračunate verovatnoću da se molekulske brzine, prvobitno raspodeljene u svim pravcima, nekim slučajem usredsrede u raspored koji smo gore opisali, vi ćete doći do cifre koja je otprilike isto tako mala kao i verovatnoća da će se molekuli vazduha skupiti svi u jedan ugao sobe. Slično tome je zanemarujuće mala i verovatnoća da će izvestan deo molekula usled uzajamnih sudara izgubiti skoro svu svoju kinetičku energiju dok će drugi deo molekula dobiti višak. I ovde je raspodela brzina koja odgovara svakodnevnom događaju ona koja ima najveću verovatnoću.

Ako sad uzmemo slučaj koji ne odgovara najverovatnijoj raspodeli molekulskih položaja ili brzina, takav, naprimer, što ćemo pustiti malo gasa u jedan ugao sobe ili nasuti malo vruće vode povrh hladne, doći će do niza fizičkih promena koje će preneti naš sistem iz ovog manje verovatnog u jedno verovatnije stanje. Gas će difundovati kroz sobu dok je ne ispuni potpuno ravnomerno i toplota će sa vrha čaše krenuti nadole dok sva voda ne dobije istu temperaturu. I tako možemo reći da se **svi fizički procesi koji zavise od**

[7]) Mi i ovo moramo smatrati kao raspodelu pola i pola pošto je mogućnost da se svi molekuli kreću u istom pravcu isključena mehaničkim zakonom očuvanja impulsa.

haotičnog kretanja molekula razvijaju u pravcu sve veće verovatnoće i da stanje ravnoteže, kad se ništa više ne događa, odgovora maksimalnoj verovatnoći. Pošto su, kao što smo videli iz primera vazduha u sobi, verovatnoće raznih malekulskih raspodela često izražene neobično malim brojevima (kao verovatnoća $10^{-8} \times 10^{26}$ da će se vazduh skupiti u jednoj polovini sobe) uobičajeno je da te verovatnoće obeležavamo njihovim logaritmima. Ta veličina poznata je pod imenom »entropija« i igra istaknutu ulogu u svim pitanjima povezanim sa haotičnim termičkim kretanjem materije. Malopre definisani stav koji se odnosi na verovatnoće u fizičkim procesima može se sada izraziti u sledećem obliku: sve spontane promene u jednom fizičkom sistemu razvijaju se u pravcu sve veće entropije i konačno stanje ravnoteže odgovara najvećoj mogućoj vrednosti entropije.

Ovo je čuveni zakon entropije, poznat takođe kao drugi zakon termodinamike (prvi zakon je zakon očuvanja energije) i kao što vidite u njemu nema ničeg što bi trebalo da vas uplaši.

Zakon entropije može takođe da se nazove zakonom **rastućeg nereda,** jer, kao što smo videli u svim gore navedenim primerima, entropija dostiže svoj maksimum kad su položaj i brzine molekula raspoređene potpuno haotično, tako da bi svaki pokušaj da se dovede do nekog reda u njihovom kretanju doveo do smanjenja entropije. Jedna druga, praktičnija formulacija zakona entropije odnosi se na problem pretvaranja toplote u mehaničko kretanje. Imajući na umu da je toplota ustvari haotično mehaničko kretanje molekula, lako se može shvatiti da je potpuno pretvaranje toplotne sadržine jednog datog tela u mehaničku energiju kretanja tela ekvivalentno problemu da se prisile svi molekuli tela da se kreću u jednom istom pravcu. Međutim mi smo videli u primeru sa čašom vode koja bi mogla spontano da izbaci polovinu svoje sadržine u pravcu tavanice da je takva pojava tako malo verovatna da se može smatrati kao praktično nemoguća. Stoga, iako energija mehaničkog kretanja može preći potpuno u toplotu, naprimer kroz trenje, toplotna energija ne može nikad potpuno biti pretvorena u mehaničko kretanje. Ovo isključuje mogućnost tzv. »perpetum mobile druge vrste«,[8]) — mehanizam koji bi izvlačio toplotu iz tela pri normalnoj

[8]) Tako nazvana suprotno od »perpetum mobile prve vrste« koji krši zakon očuvanja energije pošto radi bez izvora energije.

temperaturi, hladeći ih na taj način i koristeći za mehanički rad tako dobivenu energiju. Nemoguće je, naprimer, napraviti brod u čijem bi se parnom kotlu pravila para ne sagorevanjem uglja već ekstrakcijom toplote iz okeanske vode koja bi se prvo pumpala u pogonsko odeljenje, a zatim bacala u more u vidu kocki leda, pošto bi se toplota izvukla iz nje.

Ali kako onda obične parne mašine pretvaraju toplotu u kretanje a da ne krše zakon entropije. To se postiže na taj način što se u parnoj mašini **samo jedan deo toplote koja je oslobođena sagorevanjem goriva stvarno pretvara u energiju,** dok se veći deo pušta u vazduh u obliku pare ili se apsorbuje specijalno konstruisanim rashlađivačima pare. U ovom slučaju vrše se dve suprotne promene entropije našeg sistema: 1) smanjenje entropije koje odgovara pretvaranju jednog dela toplote u mehaničku energiju klipova, i 2) povećanje entropije usled toka jednog drugog dela toplote iz parnih kotlova u rashlađivače. Zakon entropije iziskuje samo da se **celokupna količina entropije** u sistemu povećava, a to se može lako postići ako se udesi da drugi faktor bude veći od prvoga. Ovo stanje se može verovatno bolje razumeti ako razmotrimo primer jednoga tega od 5 kg koji bi bio podignut na visinu od 6 m. iznad zemlje. Po zakonu očuvanja energije nemoguće je da se ovaj teg sam od sebe, bez ičije spoljne pomoći, popne do tavanice, ali je moguće pustiti da jedan deo ovoga tega padne na zemlju, pa iskoristiti tako oslobođenu energiju da se jedan drugi deo podigne u pravcu tavanice.

Na sličan način možemo da smanjimo entropiju u jednom delu našeg sistema ako imamo povećanje entropije u drugom delu sistema. Drugim rečima, **ako posmatramo neko haotično kretanje molekula, u stanju smo da ga sredimo u jednom predelu sistema ako nemamo ništa protiv činjenice da će ovo dovesti do još većeg haosa u kretanju u drugim delovima.** A u mnogim praktičnim slučajevima, kao kod svih vrsta toplotnih motora, nama to ne smeta.

5. Statistička fluktuacija

Raspravljanje u prethodnom odeljku mora da vam je razjasnilo da se zakon entropije i sve njegove posledice zasnivaju potpuno na činjenici da u fizici velikih količina

materije imamo posla uvek sa ogromnim brojem odvojenih molekula, tako da svako predviđanje na osnovu razmatranja verovatnoće postaje skoro apsolutna sigurnost. Međutim ovakva vrsta predviđanja postaje znatno manje sigurna kad razmotrimo veoma male količine materije.

Tako, naprimer, ako umesto toga da posmatramo vazduh koji ispunjava čitavu jednu veliku sobu, kao što smo radili u ranijem slučaju, uzmemo mnogo manju zapreminu gasa, recimo jednu kocku čija je ivica dugačka jedan stoti deo mikrona[9]), situacija će nam izgledati sasvim drukčija. I zaista, pošto zapremina naše kocke iznosi 10^{18} cm^3, u njoj će biti svega $\frac{10^{-18} \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-23}} = 30$ molekula, i verovatnoća da će se svi oni naći u polovini prvobitne zapremine iznosi $(1/2)^{30} = 10^{-10}$.

S druge strane, usled sve manje veličine kocke raspodela molekula će se menjati brzinom od 5×10^9 puta u sekundi (brzina od 0,5 km. u sekundi i razdaljina od svega 10^{-6} cm.), tako da ćemo otprilike po jedan put u svakoj sekundi morati da konstatujemo da je polovina naše kocke prazna. Bez daljnjega je očevidno da se još mnogo češće dešava slučaj da se samo jedan deo molekula nađe u jednom kraju naše male kocke. Tako, naprimer, raspodela u kojoj imamo 20 molekula na jednom kraju a 10 molekula na drugom (tj. svega 10 molekula više se skupi na jednom kraju) ostvarivaće se sa učestanošću od

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{10} \times 5 \times 10^{10} = 10^{-3} \times 5 \times 10^{10} = 5 \times 10^{7}$$

tj. 50 miliona puta na sec.

To ne znači ništa drugo nego da je u malim razmerama raspodela molekula u vazduhu daleko od toga da bude ravnomerna. Kad bismo mogli da upotrebimo dovoljno jako povećanje, primetili bismo male koncentracije molekula koje se formiraju trenutno na raznim tačkama prostora, da bi se odmah ponovo rastvorile i bile zamenjene drugim sličnim koncentracijama koje se pojavljuju na drugim tačkama. Ovaj

[9]) Jedan mikron, obično obeležen grčkim slovom iznosi 0,0001 cm

efekat je poznat pod nazivom **fluktuacija gustine** i igra važnu ulogu u mnogim fizičkim pojavama. Tako, naprimer, kad zraci sunca prolaze kroz atmosferu, ove nehomogenosti prouzrokuju rasejavanje plavih zrakova spektra sunčane svetlosti, što daje nebu poznatu plavu boju i što daje suncu mnogo crveniji izgled nego što je ustvari. Ovaj efekat crvenila je naročito izražen za vreme zalaska sunca, kad sunčani zraci moraju da prođu kroz deblji sloj vazduha. Da nema ovih fluktuacija gustine, nebo bi uvek izgledalo potpuno crno i mi bismo mogli da vidimo zvezde i danju.

Na sličan način, iako manje izražena, pojavljuju se fluktuacije gustine i pritiska u običnim tečnostima, i jedan drugi način da se iskaže uzrok Braunovog kretanja je taj da se male čestice koje se nalaze u vodi kreću tamo-amo usled brzine promena pritiska na dvema stranama tih čestica. Kada se tečnost zagreje skoro do tačke ključanja, fluktuacije u gustini postaju izraženije i dovode do male opalescencije.

Možemo se sad upitati da li zakon entropije važi za tako male predmete kao što su oni kod kojih statističke fluktuacije postaju od velike važnosti. Svakako da će se jedna bakterija, koja je celog svog života bacana tamo-amo udarima molekula, grohotom nasmejati na tvrdnju da se toplota ne može pretvarati u mehaničko kretanje. Ali bi daleko korektnije bilo reći da zakon entropije u ovom slučaju gubi smisao, a ne da je prekršen. Ustvari sve što ovaj zakon kaže to je da molekulsko kretanje ne može biti potpuno pretvoreno u kretanje vilikih tela koja sadrže ogroman broj odvojenih molekula. Gledano u odnosu na jednu bakteriju koja nije **mnogo** veća od samih molekula, razlika između termičkog i mehaničkog kretanja skoro iščezava. Ona, ta bakterija, gledala bi na molekulske sudare koji je bacaju tamo-amo na isti način kako bismo mi posmatrali udarce nogom u leđa koje zadobijamo od naših sugrađana kad se nađemo u nekoj uzbuđenoj gomili. Da smo mi bakterije, mi bismo bili u stanju da izgradimo jedan perpetum mobile druge vrste prosto time što bismo se vezali za jedan zamajac, ali u tom slučaju ne bismo imali dovoljno pameti da ga koristimo, pa stoga nema razloga da žalimo što nismo bakterije.

Poglavlje IX

ZAGONETKA ŽIVOTA

1. Sastojimo se iz ćelija

U raspravljanju o strukturi materije mi smo namerno dosada izostavili svako pominjanje jedne srazmerno male, ali neobično važne grupe materijalnih tela koja se razlikuju od svih predmeta u našoj vasioni svojim posebnim svojstvom, tj. **time što su žive.** U čemu je važna razlika između žive i nežive materije? I po čemu je opravdana naša nada da pojava života može da se razume na osnovu onih osnovnih zakona fizike koji tako uspešno objašnjavaju svojstva neživе materije?

Kad govorimo o pojavi života mi obično imamo na umu neke prilično velike i složene žive organizme kao što su drvo, konj ili čovek. Ali pokušaj da izučavamo osnovna svojstva žive materije izučavajući takve složene organske sisteme kao celinu, bio bi neplodan kao god i pokušaj da izučavamo strukturu neorganske materije studirajući kao celinu neku komplikovanu mašinu kao što je automobil.

Teškoće na koje nailazimo u takvoj situaciji postaju očigledne kad shvatimo da se jedan automobil u kretanju sastoji iz hiljada delova raznog oblika, napravljenih od raznog materijala, u raznim fizičkim stanjima. Neki od tih delova (kao čelična šasija, bakarne žice i stakleni prozori) su u čvrstom stanju. Drugi (kao voda u radijatoru, benzin u rezervoaru i ulje za cilindre) su tečni; a neki (kao mešavina koja ide iz karburatora u cilindre) su gasoviti. Prema tome, prvi korak u analizi kompleksne materije poznate pod imenom automobil sastoji se u njegovom razdvajanju u odvojene, fizički homogene, sastavne delove. Na taj način mi ćemo utvrditi da se automobil sastoji iz raznih metalnih supstanci (kao čelik, bakar, hrom itd); raznih staklenastih supstanci (kao staklo, plastični materijali), raznih homogenih tečnosti (kao voda, benzin) itd. itd.

Tek sad, dakle, možemo da produbimo našu analizu i da utvrdimo raspoloživim metodima fizičkih istraživanja da se bakar sastoji iz malih odvojenih kristalića sastavljenih od sređenih slojeva individualnih atoma bakra i da su ti slojevi čvrsto naslagani jedan na drugi, da se voda u radi-od mrtvih ćelija iz kojih se sastoji drvo vašeg pisaćeg stola ili koža vaših cipela.

Osnovna svojstva po kojima se žive ćelije razlikuju od druge materije sastoje se u njenim sposobnostima: 1) da asimilira supstance potrebne za svoju strukturu iz okolne sredine; 2) da pretvara te supstance u supstance potrebne za rast njenog tela i 3) da se podeli u dve slične ćelije i to tako da svaka bude jednaka polovini njene veličine (i sposobna da raste) kad njene geometriske razmere postanu suviše velike. Ove sposobnosti »da jede«, da »raste« i da se »umnožava« svojstvene su razume se i svim složenim organizmima koji se sastoje iz mnoštva pojedinih ćelija.

Čitalac koji ima razvijen kritički duh može da stavi primedbu da se ova tri svojstva mogu takođe naći i u običnim neorganskim supstancama. Ako, naprimer, spustimo neki mali kristal soli u jedan prezasićen rastvor soli u vodi,[3]) kristal će rasti dodajući svojim površinskim slojevima naknadne slojeve molekula soli izvučene (bolje reći »izbačene« iz vode). U stanju smo čak i da zamislimo da će se usled nekog mehaničkog efekta, kao naprimer sve veće težine rastućih kristala, oni i razbiti na dve polovine, pošto dosegnu jednu izvesnu veličinu, i da će ovi mali kristali »bebe« nastaviti proces rašćenja. Zašto mi onda ne bismo označili i ovaj proces kao »život«?

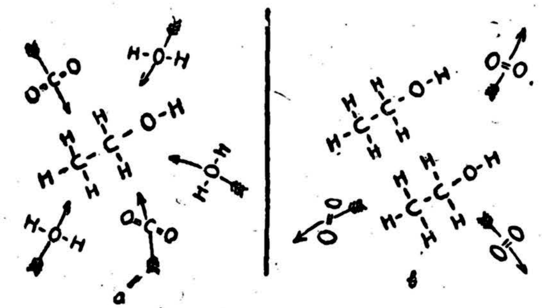
Odgovarajući na ovo i slična pitanja treba pre svega konstatovati sledeće: budemo li posmatrali život prosto kao komplikovaniji slučaj običnih fizičkih i hemiskih pojava, onda ne treba da očekujemo da će između ova dva slučaja postojati neka oštra granica. Slično tome, iako koristimo statističke zakone za opis ponašanja jednog gasa koji se sastoji iz ogromnog broja odvojenih molekula (vidi poglavlje VIII), mi ne možemo odrediti tačne granice primenljivosti ovakvog opisivanja. Ustvari mi znamo da se atmosferski vazduh koji ispunjava sobu neće odjednom skupiti u jednom uglu sobe. Ili bar znamo to da je verovatnoća za takvu neobičnu pojavu zanemarljivo mala. S druge strane mi takođe znamo i to da ako u sobi imamo 2, 3 ili 4 molekula, da će se oni skupljati u jedan ugao prilično često.

[3]) Prezasićeni rastvor može se pripremiti rastvaranjem velike količine soli u toploj vodi, pa se zatim rastvor ohladi do sobne temperature. Pošto rastvorljivost u vodi opada sa temperaturom, u vodi će biti više molekula soli nego što voda može da zadrži u rastvoru. Međutim, višak ovih molekula soli ostaće u rastvoru vrlo dugo, osim ako mi dodamo rastvoru jedan mali kristal koji će takoreći dati prvobitni impuls i služiti kao neka vrsta organizacionog agenta za bekstvo molekula soli iz rastvora.

Gde se nalazi tačna granica između broja za koji ova tvrdnja važi i onog za koji važi druga tvrdnja. Da li je to hiljadu molekula? Milion? Ili milijarda?

Slično tome, kad se spuštamo ka elementarnim živim procesima, mi ne možemo da utvrdimo oštru granicu između tako jednostavne molekularne pojave kao što je kristalizacija soli u rastvoru vode i mnogo složenijeg, iako ne bitno različitog, procesa rasta i deobe žive ćelije.

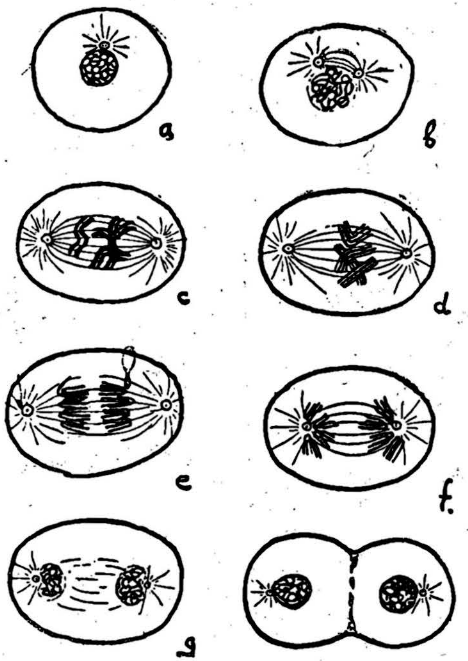
U odnosu na ovaj konkretni slučaj možemo reći da porast kristala u rastvoru ne treba smatrati kao pojavu života, jer »hranu« koju kristal uzima za svoje rašćenje ovaj uključuje u svoje telo ne menjajući joj oblik koji je imala u rastvoru.



Sl. 91 — Shematska slika kako bi molekul alkohola m o g a o da organizuje molekule vode i ugljen-dioksida u jedan drugi molekul alkohola. Da je ovaj proces autosinteze moguć, morali bismo smatrati alkohol živim.

Molekuli soli, koji su pre bili pomešani sa molekulima vode, prosto se skupljaju na površini rastućeg kristala. Ovde se radi o običnom slučaju **mehaničkog slaganja** materijala umesto tipične **biohemiske asimilacije.** I umnožavanje kristala, povremenim raspadanjem na nepravilne delove bez predodređenih proporcija, usled gole mehaničke sile težine, ima malo sličnosti sa tačnom i doslednom pojavom živih ćelija na polovine, do čega dolazi uglavnom na osnovu unutarnjih sila.

Imali bismo mnogo bližu analogiju jednom biološkom procesu u onome što bi se događalo kad bi, naprimer, jedan jedini molekul alkohola (C_2H_5OH) svojim prisustvom u vodenom rastvoru gasa ugljen-dioksida otpočeo jedan sistematski proces samoodržavanja u kome bi se molekuli vode (H_2O) ujedinjavali sa molekulima rastvorenog gasa sačinjavajući nove molekule alkohola.[4]) I zaista, ako bi jedna kap rakije, stavljena u čašu jedne obične soda-vode, počela da pretvara



Sl. 92 — Sukcesivne etape deobe jedne ćelije (mitosis)

tu soda-vodu u čistu rakiju, mi bismo morali da smatramo alkohol živom materijom.

Ovaj primer nije toliko fantastičan koliko izgleda. Budući da postoje komplikovane hemiske supstance, kao što ćemo to docnije videti, poznate pod imenom virusa, čiji prilično složeni molekuli (koji se sastoje svaki od stotina hiljada atoma) ustvari obavljaju posao organizovanja drugih molekula

[4]) **Naprimer na osnovu sledeće hipotetične reakcije:**

$$3HO_2+2CO_2+[C_2HO_5H] \rightarrow 2[C_2H_5OH]+3O_2$$

gde prisustvo jednog molekula alkohola dovodi do stvaranja drugog.

iz okolne sredine u strukturne jedinice slične sebi samim. Ove virusne čestice moramo smatrati kao obične hemiske molekule i kao žive organizme u isto vreme. Na taj način **one pretstavljaju »nepoznatu kariku« između žive i nežive materije.**

Ali sada se moramo vratiti problemu rasta i umnožavanju običnih ćelija.

Ako posmatramo neku tipičnu ćeliju kroz kakav dobar mikroskop, videćemo da se sastoji iz poluprozirnog želatinskog materijala sa vrlo komplikovanom hemiskom strukturom. Ovaj materijal je poznat pod opštim imenom **»protoplazma«.** Okružen je ćeličnom opnom koja je tanka i savitljiva u životinjskim ćelijama, ali debela u ćelijama biljaka, dajući njihovom telu veliki stepen krutosti (uporedi sliku 90). Svaka ćelija sadrži u svojoj unutrašnjosti jedno malo sferično telo koje se zove **nukleus** ili jedro u kom se nalazi mrežasto raspoređena supstanca poznata pod imenom **»hromatin«.** (Sl. 92).

Ovde treba primetiti da razni delovi protoplazme, koja sačinjava telo ćelije, pod normalnim uslovima imaju istu optičku prozirnost, kao da se njena struktura ne može primetiti prostim gledanjem žive ćelije kroz mikroskop. Da bismo videli strukturu, ćeliju moramo obojiti, koristeći okolnost što razni sastavni delovi protoplazme apsorbuju obojene materijale na razne načine. Jedrova mreža se naročio dobro boji, pa se jedro sasvim dobro vidi na svetlijoj pozadini.[5]) Odatle naziv »hromatin«, što na grčkom znači »supstanca koja prima boju«.

Kad se ćelija nalazi pred deobom, struktura nuklearne mreže postaje mnogo složenija nego pre toga, i vidi se da se sastoji iz skupa odvojenih čestica (slika 92b, c,), koje obično izgledaju kao niti ili štapići, koji se zovu »hromozomi«, tj. »tela koja primaju boju«. Fotografija V A, B.[6])

Sve ćelie u telu jedne date biološke vrste (izuzev tako-

[5]) **Možete se poslužiti sličnim metodom pišući na komadu hartije sa jednom svećom od voska. Pisanje se neće videti dok ne pokušate da zasenčite hartiju crnom olovkom. Pošto se grafit ne lepi za mesta pokrivena voskom, pisanje će se jasno ocrtati na zasenčenoj površini.**

[6]) **Ne treba zaboraviti da mi bojenjem obično ubijamo ćeliju i na taj način zaustavljamo njen dalji razvitak. Prema tome, serija slika o raspodeli ćelije, kao što su one na slici 92, ne dobijaju se posmatranjem jedne ćelije, već metodom bojenja (i ubijanja) raznih ćelija u raznim etapama njihovog razvitka. U principu, međutim, ovo ne pretstavlja veliku razliku.**

zvanih polnih ćelija) sadrže tačno isti broj hromozoma, koji je po pravilu veći kod visoko razvijenih organizama nego kod manje razvijenih.

Mala voćna muva, koja nosi ponosno latinsko ime **Drosophila Melanogaster** i koja je pomogla biolozima da shvate mnoge stvari o osnovnim zagonetkama života, ima u svakoj od svojih ćelija osam hromozoma. Ćelije graška imaju četrnaest hromozoma, a one kukuruza dvadeset. Sami pak biolozi, kao i svi ostali ljudi, ponosno nose četrdeset i osam hromozoma u svakoj ćeliji. Ovo bi se moglo smatrati kao čisto aritmetički dokaz da je čovek šest puta vredniji od muve, da takvim rezonovanjem u isto vreme ne ispada da je jedan običan rak, čije ćelije sadrže **dve stotine** hromozoma, preko četiri puta vredniji od čoveka.

Važna je činjenica u vezi s brojem hromozoma u ćelijama raznih bioloških vrsta da je taj broj **uvek paran.** I zaista u svakoj živoj ćeliji (izuzev slučaja o kome će se raspravljati docnije u ovom poglavlju) imamo **dva skoro identična skupa hromozoma** (vidi fotografiju VA): **jedan skup od majke, drugi od oca. Ova dva skupa koja potiču od oba roditelja nose u sebi složene nasledne osobine, koje sva živa bića predaju s pokolenja na pokolenje.**

Inicijativa za deobu ćelija potiče od hromozoma, od kojih se svaki cepa uzduž na dve identične, ali malo tanje niti, dok ćelija kao celina ostaje nepodeljena kao jedna jedinica (slika 92d).

Otprilike onda kada klupko hromozoma počne u jedru da se organizuje za pretstojeću deobu, dve tačke, zvane **centrozomi,** koje se nalaze jedna blizu druge i blizu spoljne granice jedra postepeno se udaljuju jedna od druge na suprotne strane ćelije (slika 92a, b, c). Izgleda da postoje i tanki končići koji vezuju ovako razdvojene centrozome sa hromozomima u jedru. Kad se hromozomi rascepe na dva dela, svaka polovina je povezana sa suprotnim centrozomom i ovaj je snažno odvlači od druge polovine skupljanjem tih konaca (92e, f). Kad je ovaj proces pri kraju (slika 92 g), opna ćelije počinje da se ugiba po sredini, i istovremeno jedan tanak zid počinje da raste, odvajajući dve polovine ćelije; one se razdvoje, i tako nastaju dve odvojene, novoproizvedene ćelije.

Ako dve kćeri-ćelije dobiju dovoljno hrane spolja, one će porasti do veličine svoje majke (faktor rastenja 2) i posle jednog određenog perioda mirovanja podleći daljoj deobi, sle-

deći isti onaj proces koji je i njih pretvorio u odvojene organizme.

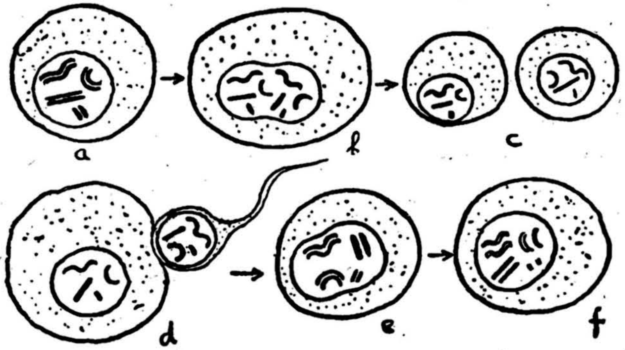
Ovaj opis pojedinih faza u deobi jedne ćelije rezultat je neposrednog posmatranja, i pretstavlja približan domet do kog je nauka uspela da dođe u svojim pokušajima da protumači ovu pojavu, jer je vrlo malo učinjeno u pravcu razumevanja tačne prirode fiziko-hemiskih sila koje uslovljavaju ovaj proces. Ćelija kao celina izgleda da je još uvek isuviše komplikovana za neposrednu fizičku analizu, i pre nego što se pristupi ovom problemu, mora se razumeti priroda hromozoma. To je pak problem koji je u poređenju s prethodnim nešto jednostavniji i o kome ćemo raspravljati u sledećem odeljku.

Ali biće korisno da pre toga razmotrimo kako deoba ćelija uslovljava procese reprodukcije u kompleksnim organizmima koji se sastoje iz velikog broja ćelija. Ovde i mi možemo pasti u iskušenje da upitamo: ko se prvi pojavio — kokoš ili jaje? Ali pri opisu jednog ovakvog cikličkog procesa nije toliko važno da li ćemo početi od »jajeta« koje će se razviti u kokošku (ili što drugo), ili od kokoši koja će da snese jaje.

Pretpostavimo da otpočnemo od »kokoši« koja se tek izlegla iz jajeta. U trenutku piljenja (ili rađanja) ćelije u telu pileta prolaze kroz jedan brzi proces uzastopne deobe, i na taj način dolazi do brzog rasta i razvića organizma. Potsećajući se da telo jedne zrele životinje sadrži nekoliko hiljada milijardi ćelija, koje su sve nastale uzastopnom deobom jedne jedine oplođene ćelije-jajeta, bilo bi prirodno, na prvi pogled, verovati da je ostvarenju ovog rezultata morao da prethodi vrlo veliki broj uzastopnih procesa deobe. Dovoljno je, međutim, potsetiti se kako je Sisah Ben naveo zahvalnog kralja da mu neoprezno obeća ogromnu količinu pšenice time što se složio da se količina računa na osnovu jednostavna 64 koraka u geometriskoj progresiji ili koliko bi godina bilo potrebno da se premeste 64 kruga u problemu nazvanom »Smak sveta«, o kome smo raspravljali u poglavlju I, da bi se videlo da će srazmerno mali broj uzastopnih deoba ćelija dati zaista veliki broj ćelija. Ako obeležimo sa **x** broj uzastopnih deoba potrebnih za porast jednog zrelog ljudskog bića i ako se setimo da se prilikom svake deobe broj ćelija u jednom telu što raste udvaja (pošto se svaka ćelija pretvara u dve), možemo doći do broja deoba koje se odigravaju u čovečjem telu od trenutka kad se obrazuje jedna jedina ćelija-jaje do zrelosti. To će se izraziti jednačinom $2^x = 10^{14}$, iz koje proizlazi da je $x = 47$.

Vidimo, dakle, da je svaka ćelija u našim zrelim telima približno pedeseto koleno prvobitne ćelije-jajeta na kojoj se temelji celo naše postojanje.[7])

Mada se u mlade životinje ćelije dele prilično brzo, većina ćelija jedne zrele jedinke normalno se nalazi u »stanju mirovanja« tj. dele se samo povremeno da bi obezbdile »održavanje« tela u životu i da bi nadoknadile slučajno utrošeni materijal.



Sl. 93 — Nastajanje gameta (a, b, c) i oplođivanje jajne ćelije (d, e, f). U prvom procesu (Mejozis) spareni hromozomi polne ćelije odvajaju se u dve polućelije bez prethodnog cepanja. U drugom procesu (Syngamy) spermatozoid ulazi u jajnu ćeliju, pa se njihovi hromozomi spajaju. Usled toga oplođeno jaje se priprema za redovnu deobu, kao što se vidi na sl. 92.

Sad dolazimo do jedne vrlo važne, specijalne vrste ćelija koje dovode do stvaranja takozvanih »gameta« ili »ćelija-udavača« koje prouzrokuju pojave množenja.

Već u najmlađoj fazi bipolnosti živih organizama izvestan broj ćelija se izdvaja kao »rezerva« za dalju reproduktivnu aktivnost. Ove ćelije, nalazeći se u specijalnim re-

[7]) Interesantno je uporediti ovo računanje i rezultat dobiven sličnim računanjem koji se odnosi na eksploziju atomske bombe (vidi poglavlje VII). Broj uzastopnih procesa podele atoma potrebnih da bi se proizvela fisija (»oplođivanje«) svakog atoma urana u jednom kilogramu materijala (svega $2.5 \cdot 10^{24}$ atoma) računa se sličnom jednačinom: $^x = 2.5.10^{24}$, što daje $x = 61$.

produktivnim organima, prolaze kroz manji broj običnih deoba za vreme rasta organizma od ijedne druge ćelije u telu, pa su neiscrpljene i sveže kad dođe čas da proizvode potomstvo. I sama deoba obih reproduktivnih ćelija vrši se na jedan drukčiji, mnogo jednostavniji način nego u normalnim ćelijama tela koje smo gore opisali. Hromozomi koji sačinjavaju njihovo jezgro ne cepaju se na dva dela kao u običnim ćelijama, već se prosto odvajaju jedan od drugog (slika 93 abc), tako da **ćerka-ćelija dobija samo polovinu provobitnog broja hromozoma.**

Proces koji vodi ka stvaranju ovih ćelija kojima »nedostaju« hromozomi zove se »mejosis«, za razliku od procesa obične deobe, poznatog kao »mitosis«. Ćelije koje nastaju kao rezultat takve deobe poznate su pod nazivom »spermatozoidi« ili »jajne ćelije« ili: **muški i ženski gameti.**

Pažljivi čitalac će se upitati kako deoba prvobitne reproduktivne ćelije na dva jednaka dela može da dovede do pojave gameta s muškim ili ženskim svojstvima. Tumačenje leži u ranije spomenutom izuzetku od naše tvrdnje da hromozomi postoje samo u identičnim parovima. Postoji jedan određeni par hromozoma čiji su sastavni delovi identični u telu ženke, ali različiti kod mužjaka. Ovi hromozomi se zovu polni hromozomi i označeni su radi razlikovanja simbolima X i Y. Ćelije u telu ženke imaju uvek dva X-hromozoma, dok muškarac ima jedan X i jedan Y.[8]) Zamena jednog Y-hromozoma za jedan X-hromozom pretstavlja osnovnu razliku između polova (slika 94).

Kako sve polne ćelije nagomilane u jednom ženskom organizmu imaju jedan potpuni skup X-hromozoma, to pri deobi makoje od njih, u procesu mejosisa, svaka polovina ćelije, ili gamet, dobije jedan X-hromozom. Ali pošto svaka muška polna ćelija ima jedan X i jedan Y-hromozom, to se pri njihovoj deobi dobijaju po dva gameta — od kojih jedan ima X-hromozom, a drugi Y-hromozom.

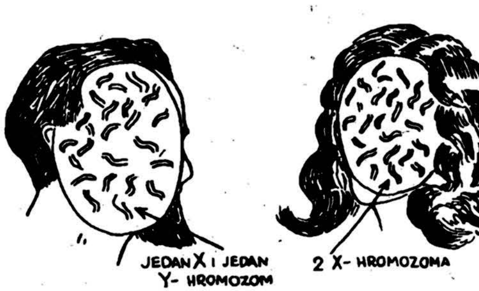
Kad se u procesu oplođenja jedan muški gamet (ili spermatozoid) sjedini sa jednim ženskim gametom (jajnomćelijom) postoji isto toliko verovatnoće da će spajanje dati ćeliju sa dva X-hromozoma, kao i sa jednim X- i jednim

[8]) Ovo važi za čoveka kao i za sve sisare. Kod ptica, međutim, stanje je obrnuto; petao ima dva identična polna hromozona, dok kokoš ima dva različita.

Y-hromozomom; u prvom slučaju dete će biti žensko, a u drugom muško.

U sledećem odeljku vratićemo se na ovaj važan problem, a sad ćemo nastaviti sa opisom procesa reprodukcije.

Kad se spermatozoid sjedinjuje sa ženskom polnom ćelijom, proces poznat pod nazivom »syngamy« (oplođenje), stvara se jedna potpuna ćelija koja počinje da se cepa na dve u procesu »mitosisa«, što je prikazano na slici 92. Dve nove



Sl. 94 — Razlika u ličnoj vrednosti između muškarca i žene. Dok sve ćelije u telu žene sadrže po 48 parova hromozoma koji su u svakom paru jednaki, dotle ćelije u telu muškarca sadrže i po jedan asimetričan par. Umesto 2 X-hromozoma, kao kod žene, muškarac ima jedan X i jedan Y-hromozom.

tako stvorene ćelije ponovo se cepaju na po dve, posle kraćeg perioda mirovanja. Svaka od četiri tako nastale ćelije ponavlja isti proces itd. Svaka ćerka-ćelija dobija tačnu kopiju svih hromozoma prvobitnog oplođenog jajeta od kojih polovina dolazi od majke, a polovina od oca. Postepeni razvitak oplođenog jajeta u zrelu jedinku shematski je pretstavljen na slici 95. Pod (a) vidimo kako spermatozoid prodire u telo jajne ćelije.

Sjedinjenje dvaju gameta pobuđuje novu aktivnost u popunjenoj ćeliji, koja se sada razdvaja najpre u dve, zatim u četiri, zatim u osam, zatim u 16 itd. (Slika 95 b,c,d,e). Kad broj individualnih ćelija postane prilično veliki, pojavljuje se tendencija da se srede na takav način da sve budu na površini gde su u boljem položaju da dobiju hranu od hranljive sredine koja ih okružuje. Ova faza razvitka, u kojoj organizam izgleda kao mali mehurić sa unutarnjom šupljinom, zove se »blastula« (f). Docnije zid šupljine počinje da se na

jednom mestu ugiba (g), i organizam stupa u fazu zvanu »gastrula« (h), u toku koje izgleda kao kakva kesica kojoj otvor služi i za uzimanje sveže hrane i za izbacivanje ostataka od svarenih materija. Jednostavne životinje, kao naprimer korali, nikad ne idu dalje og ove faze razvitka. Kod razvijenijih vrsta, međutim, proces rašćenja i sve većeg modificiranja se nastavlja. Izvesne ćelije se razvijaju u skelet, druge u sisteme varenja, disanja ili nervni sistem, i prolazeći kroz razne embrionalne etape (i), organizam konačno postaje mlada životinja koja se može prepoznati kao član svoje vrste (k).

Kao što smo gore rekli, izvesne ćelije organizma koji raste izdvajaju se takoreći već u ovim prvim fazama razvitka za buduće polne funkcije. Kad organizam dosegne zrelost, ove ćelije prolaze kroz proces mejosisa i proizvode gamete, koji otpočinju čitav proces iznova. I tako život napreduje.

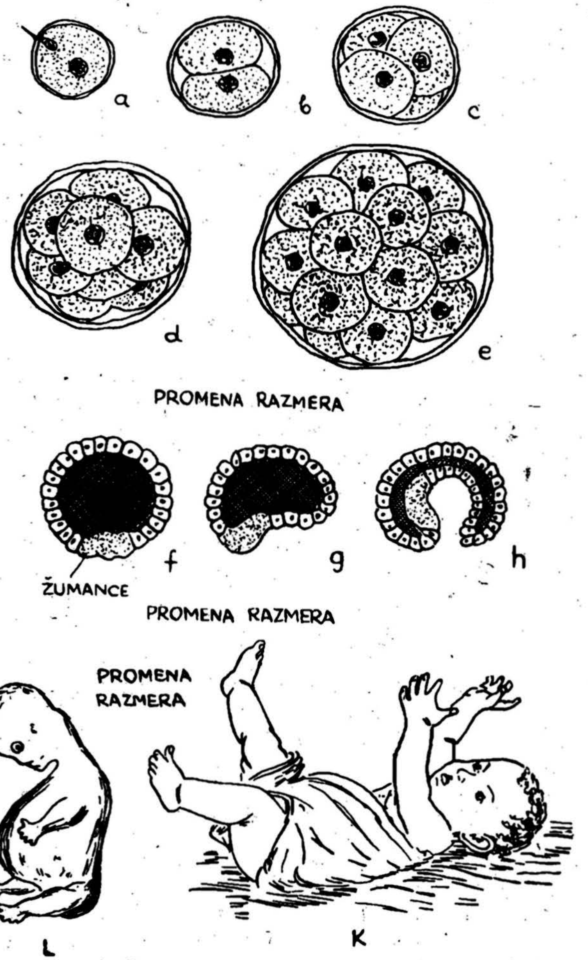
2. Naslednost i Geni

Najznačajnija strana procesa reprodukcije leži u tome da novi organizam, začet sjedinjavanjem dva gameta od dva roditelja, ne raste u koje bilo živo biće, već se razvija u prilično vernu, iako neophodno ne i istovetnu sliku svojih roditelja i roditeljevih roditelja.

I zaista možemo biti sigurni da će kučence koje se okoti od jednog para irskih pasa izgledati ne samo kao pseto a ne kao slon ili zec, već takođe da neće porasti veliko kao slon ili ostati malo kao zec, i da će imati četiri noge, jedan veliki rep, dva uva i dva oka, po jedno na svakoj strani glave. Isto tako možemo biti dosta sigurni da će mu uši biti meke i visiti, da će mu krzno biti dugo i zlatno-smeđe boje — i da će, vrlo verovatno, voleti da lovi. Pored toga biće izvestan broj manjih crta koje se mogu pripisati ocu, ili majci, ili, možda, jednom od njegovih ranijih predaka, kao što će imati i izvesnih sopstvenih crta.

Kako su sve ove razne karakteristike koje sačinjavaju jednog finog irskog psa, sadržane u onim komadićima materije mikroskopske veličine koji su pretstavljali dva gameta čijim je sjedinjavanjem i otpočelo razviće našeg psa?

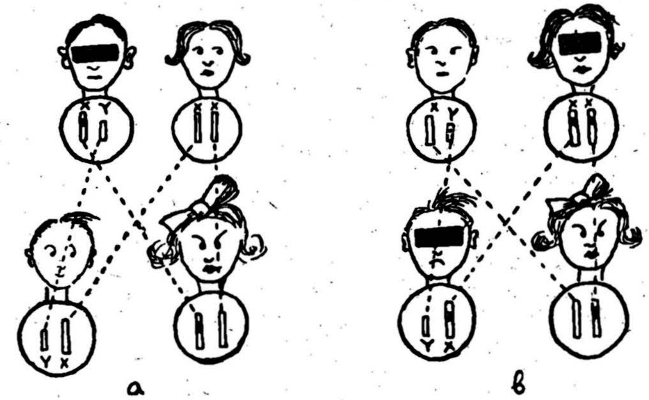
Kao što smo ranije videli, svaki organizam dobija tačno jednu polovinu svojih hromozoma od oca, a drugu od majke. Očevidno je da većina karakteristika jedne date vrste mora biti sadržana u obe grupe hromozoma, kako u maternjim, tako i u očevim, dok razna manja svojstva koja se menjaju od jedinke do jedinke mogu poticati samo od jednog roditelja. Iako postoji veoma malo sumnje da u toku dugog perioda i posle vrlo velikog broja generacija čak i osnovna svojstva raznih životinja i biljaka mogu biti izmenjena (organska evolucija služi kao dokaz za to), samo relativno male promene



Sl. 95 — Od jajne ćelije do čoveka

manjih karakteristika mogu biti primećene u toku ograničenog perioda posmatranja koji je obuhvaćen ljudskim znanjem.

Izučavanje takvih karakteristika i njihovo prenošenje sa roditelja na decu je glavni predmet jedne nove nauke, **genetike**, koja se nalazi skoro u povoju, ali koja je ipak uspela da nam kaže izvesne veoma uzbudljive stvari o najintimnijim tajnama života. Naučili smo, naprimer, da zakoni naslednosti, za razliku od većine bioloških pojava, imaju skoro matematičku jednostavnost, što pokazuje da ovde imamo posla sa jednom od najosnovnijih pojava života.



Sl. 96 — Nasleđe slepoće za boju

Uzmimo, naprimer, tako dobro poznati defekt ljudskog vida kao što je **daltonizam** — otsustvo sposobnosti razlikovanja nekih boja — čiji je najčešći oblik da bolesnik ne može da razlikuje crveno od zelenog. Da bismo mogli da rastumačimo slepoću za boje, moramo prvo razumeti zašto uopšte vidimo boje i to, naravno, izučavanjem komplikovane strukture i svojstava retine, problema fotohemiskih reakcija koje proizvodi svetlo raznih talasnih dužina itd. itd.

Postavimo li pitanje o **naslednosti slepoće za boje,** pitanje koje bi na prvi pogled izgledalo kao još komplikovanije od samog tumačenja ove pojave, odgovor je neočekivano jednostavan i lak. Zna se na osnovu utvrđenih činjenica: 1) da muškarci daleko češće pate od ove bolesti nego žene, 2) da deca jednog čoveka koji pati od slepoće za boje i jedne

»normalne« žene nikad ne pate od bolesti, ali 3) da su među decom jedne žene koja pati od ove bolesti i »normalnog« čoveka muškarci slepi za boje dok ćerke nisu. Poznavajući ove činjenice, koje jasno ukazuju na to da je naslednost slepoće za boje na neki način povezana sa polom, mi samo treba da pretpostavimo da uzroci slepoće za boje potiču od nedostatka u jednom od hromozoma i da se prenose sa ovim hromozomom sa kolena na koleno da bismo kombinovali znanje i logičke pretpostavke u dalju pretpostavku da **slepoća za boje nastaje usled jednog nedostatka u polnom hromozomu koji smo ranije obeležili sa X.**

Sa ovom pretpostavkom empirička pravila za slepoću za boje postaju jasna kao kristal. Zapamtite da ženske ćelije imaju dva X-hromozoma, dok muške ćelije imaju samo jedan (dok je drugi Y-hromozom). Ako je taj jedini X-hromozom u čoveku oštećen na određeni način, čovek je slep za boje. U ženi oba hromozoma moraju biti oštećena, jer je svega jedan hromozom dovoljan da se obezbedi osećaj boja. Ako je verovatnoća da će X-hromozom imati ovaj nedostatak u pogledu boje jednaka, recimo, jedan na hiljadu, onda će biti jedan pojedinac slep za boje na hiljadu ljudi. **A priori** verovatnoća da oba X-hromozoma u ženi imaju ovaj nedostatak mogu se izračunati na osnovu teorema množenja verovatnoća (vidi poglavlje VIII) proizvodom verovatnoća:

$$\frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000} = \frac{1}{1{,}000{,}000}$$

tako da se može očekivati da će samo jedna od 1,000,000 žena biti slepa za boje.

Razmotrimo sad slučaj jednog muža slepog za boje i »normalne« žene (slika 96a). Njihovi sinovi neće dobiti nijedan X-hromozom od oca, a dobiće po jedan »dobar« X-hromozom od majke, i tako nema razloga za razvitak slepoće za boje.

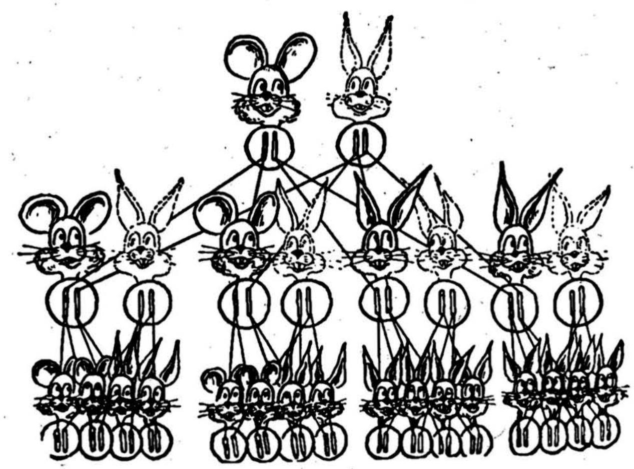
Njihove kćeri, s druge strane, dobiće po jedan »dobar« X-hromozom od majke i po jedan »rđav« od oca. Ni one neće biti slepe za boju, iako njihova deca (sinovi) mogu biti.

U suprotnom slučaju, slučaju kad imamo ženu slepu za boje i »normalnog« muža (slika 96b), sinovi će biti sigurno slepi za boje pošto će njihov jedini X-hromozom doći od majke. Kćeri, koje će imati po jedan »dobar« X-hromozom od oca i jedan »rđav« od majke, neće biti slepe za boju, ali

kao i u pređašnjem slučaju, njihovi sinovi će biti. Jednostavnije ne može biti.

Takva nasledna svojstva, kao što je slepoća za boje, koja iziskuje da **oba hromozoma** jednog para moraju biti pogođena da bi se proizveo jedan primetan efekat, zovu se »recesivne«. Ta svojstva se mogu preneti sa praroditelja na unuke u skrivenom obliku i onda prouzrokuju tako žalosnu pojavu kao što je ta da se ponekad okoti jedno kučence od dva fina nemačka vučjaka, ali da ono liči na sve samo ne na nemačkog vučjaka.

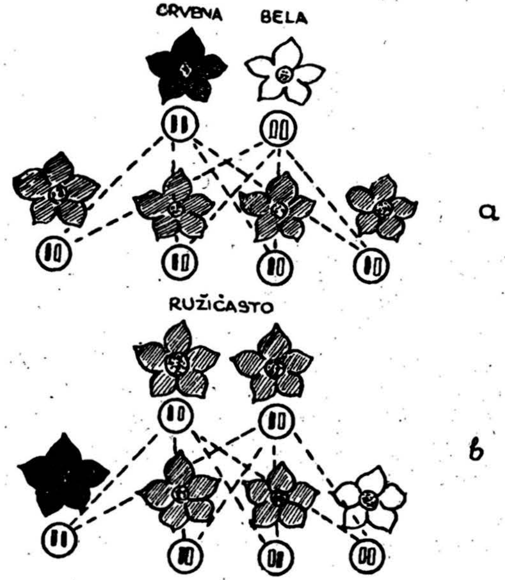
U pogledu takozvanih »dominantnih« karakteristika stvar stoji obrnuto — to su svojstva koja postaju primetna



Sl. 97 — Dominantne i recesivne karakteristike

samo kad je jedan hromozom oštećen. Ostavljajući na stranu činjenični materijal genetike, mi ćemo ilustrovati ovaj slučaj zamišljenim primerom jednog zeca rođenog sa ušima sličnim ušima Mike Miša. Ako pretpostavimo da su »Mikijeve uši« **dominantna** karakteristika u naslednosti, to jest da je promena u jednom jedinom hromozomu dovoljna da prouzrokuje da uši rastu na ovako sramotan (sa tačke gledišta zeca) način, možemo predvideti, gledajući na sliku 97, kakvu će vrstu ušiju imati uzastopna pokolenja zečeva, pretpostavljajući da će se zečevi iz prvobitnog sparivanja kao i onih naknadnih sparivati sa normalnim zečevima. Otstupanja od normalnog u hromozomu koji prouzrokuje Mikijeve uši obeležena su u našem dijagramu jednom crnom tačkom.

Pored »dominantnih« i »recesivnih« karakteristika postoje i one koje se mogu nazvati »indiferentnim«. Pretpostavimo da imamo u našoj bašti crvene i bele cvetiće. Kada vetar ili insekti prenesu polen (muške polne ćelije kod biljaka) iz crvenih rascvetalih biljaka do žiga jedne druge crvene biljke, ovi se sjedinjuju sa ovulima (jajnim ćelijama kod biljaka) koje se nalaze u dnu tučka i razvijaju se u



Sl. 98 — Jedna verzija Mendelovog otkrića

semenke koje će ponovo proizvesti crvene cvetove. Isto tako ako polen belih cvetova oplodi druge bele cvetove, iduće pokolenje cveća biće sve belo. Ako, međutim, polen belih cvetova padne na crvene cvetove, ili obratno, biljka koja poraste iz tako proizvedenog semena imaće cvetove ružičaste boje. Lako se može videti, međutim, da ružičasti cvetovi ne pretstavljaju jednu biološki stabilnu vrstu. Ako oplodimo te ružičaste cvetove unutar iste grupe, videćemo da će 50%

cvetova iz iduće generacije biti ružičaste boje, 25% crvene i 25% bele boje.

Objašnjenje ovoga lako se nalazi ako pretpostavimo da je to svojstvo da je cvet crvene ili bele boje uopšte zavisno od hromozoma u ćeliji biljke, i da oba hromozoma jednoga para moraju biti identični u pogledu boje da bi ona bila čista. Ako je jedan hromozom »crven« a drugi »beo«, borba boja će imati za rezultat ružičaste cvetove. Ako pogledate na sliku 98 koja shematski pretstavlja »hromozome boje« među novorođenčadima, videćete brojni odnos koji smo gore spomenuli. Takođe se lako može dokazati, crtajući drugi dijagram sličan onom na slici 98, da ćemo oplođavanjem belih i ružičastih cvetova dobiti u prvom pokolenju 50% ružičastih i 50% belih, ali nijedan crveni cvet. Slično tome crveni i ružičasti daće 50% crvenih, 50% ružičastih ali nijedan beli cvet. Takvi su zakoni nasleđa koje je prvi put otkrio pre skoro sto godina jedan skromni češki kaluđer, Gregor Mendel, negujući grašak u jednom manastiru blizu Brna.

Dosada smo povezivali različita svojstva koja nasleđuje jedan mladi organizam sa raznim hromozomima koje on dobija od roditelja. Ali budući da ima skoro bezbroj različitih svojstava, dok hromozoma ima relativno mali broj (8 u svakoj ćeliji muve, 48 u svakoj ćeliji čoveka) prisiljeni smo da pretpostavimo da svaki hromozom nosi u sebi dugačak niz individualnih karakteristika koje možemo zamisliti kao da su raspodeljene duž tanke dugačke niti koja sačinjava njegovo telo. I zaista, gledajući na fotografiju Va, koja pretstavlja hromozome pljuvačnih žljezda jedne voćne muve (Drosophila melanogaster)[9], teško je izbeći utisku da brojne tamne pruge koje presecaju dugačka tela hromozoma pretstavljaju mesta raznih svojstava koje ona nosi. Izvesne od ovih pruga mogu regulisati boju muve, druge oblik krila, treće mogu određivati da muva ima **šest** nogu, da je otprilike **pola santimetra** dugačka i da izgledom liči uglavnom na voćnu muvu a ne na stonogu ili kokoš.

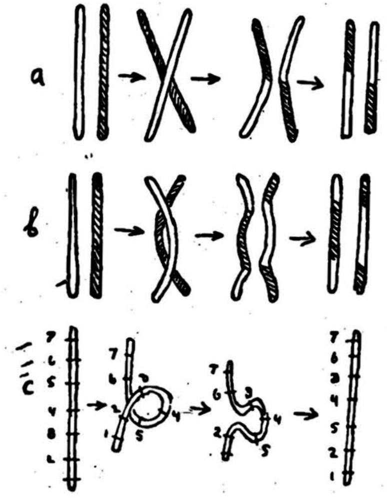
I zaista, genetika nam kaže da je ovaj utisak tačan. Moguće je ne samo da se pokaže da ove male strukturne jedinice jednog hromozoma, poznate pod imenom »gena«, nose u sebi razna individualna nasledna svojstva, već se može u

[9]) U ovom slučaju, za razliku od većine drugih slučajeva, hromozomi su vanredno veliki i njihova se struktura može lako izučavati metodima mikrofotografije.

mnogim slučajevima i reći koji dati gen nosi ovo ili ono određeno svojstvo.

Razume se da čak i pod najvećim mogućim povećanjem svi geni izgledaju skoro istovetni, dok njihova funkcionalna razlika ostaje sakrivena negde duboko u njihovoj molekularnoj strukturi.

I tako se njihov individualni »cilj života« može utvrditi samo pažljivim studijama načina na koji se razne nasledne



Sl. 99 — Prenošenje hromozoma

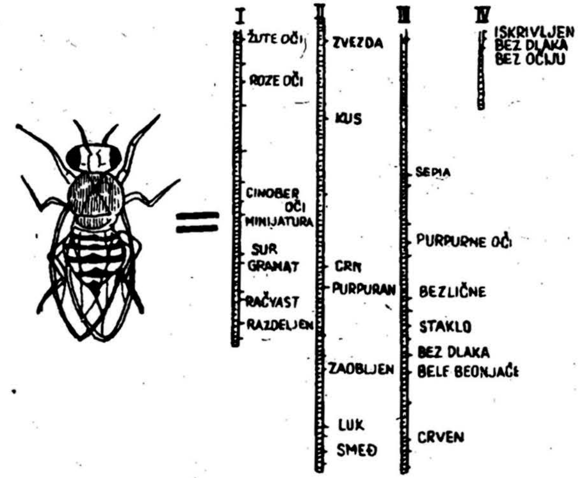
osobine prenose sa kolena na koleno jedne određene vrste biljaka ili životinja.

Videli smo da svaki novi živi organizam dobija jednu polovinu svojih hromozoma od oca a drugu od majke. Pošto materinji i očinji skupovi hromozoma pretstavljaju 50 — 50 mešavinu onih koji dolaze od odgovarajućih praroditelja, možemo očekivati da dete dobija svoje nasledstvo samo od jednog od svojih dedova po obe linije. Zna se, međutim, da ovo nije obavezno tačno, i doista ima slučajeva **gde unuk pokazuje karakteristike sva četiri deda.**

Znači li to da je shema prenosa hromozoma koju smo gore izneli pogrešna? Ne, nije pogrešna, već samo donekle uprošćena. Faktor koji pri svem tom treba uzeti u obzir je

da se u pripremi procesa mejosis, kojim se polne ćelije dele u dva gameta, parovi hromozoma vrlo često zapletu jedan oko drugog i razmene svoje delove. Takvi procesi razmene, prikazani shematski na slici 99 a, b, dovode do mešanja nizova gena dobivenih od roditelja, i prouzrokuju nasledne mešavine. Postoje slučajevi (slika 99c) u kojima se jedan jedini hromozom savije u oblik zamke i tada se može razviti na različite načine, mešajući red gena u sebi (slika 99 c; fotografija Vb).

Očevidno je da će takvo mešanje gena između dva hromozoma jednoga para, ili unutar jednog jedinog hromozoma, verovatno imati većeg uticaja na relativne položaje onih



Sl. 100 — Karakteristike voćne muve

gena koji su prvobitno bili daleko nego od onih koji su bili bliski susedi. Na potpuno isti način, sečenje jednog špila karata promeniće relativne položaje karata ispod i iznad preseka (i sastaviće kartu koja je bila na vrhu špila sa kartom koja je bila na dnu) ali će razdvojiti samo par najbližih susednih karata.

U skladu s tim, primećujući da dva određena nasleđena svojstva skoro uvek idu zajedno pri ukrštanju hromozoma, možemo zaključiti da su odgovarajući geni bili bliski susedi. I obrnuto, svojstva koja su često odvojena u procesu ukrštanja moraju se nalaziti na udaljenim delovima hromozoma.

Radeći u ovom pravcu, američki genetičar T. N. Morgan i njegova škola uspeli su da utvrde tačni red gena u hromozomima voćne muve, sa kojom su vršili svoje eksperimente. Slika 100 pretstavlja tabelu na kojoj se vidi kako su razne karakteristike voćne muve raspodeljene po genima četiriju hromozoma kojima raspolaže ova muva, kao što je utvrđeno na osnovu eksperimenata.

Poput tabele prikazane na slici 100, koja je napravljena za muvu, može se napraviti i tabela za komplikovanije životinje, ubrojivši tu i čoveka, iako bi to iziskivalo mnogo pažljivije i detaljnije studije.

3. Geni kao »živi molekuli«

Analizirajući korak po korak izvanredno komplikovanu strukturu živih organizama, došli smo sada do onoga što izgleda da je osnovna jedinica života. Ustvari videli smo da čitav tok razvitka i skoro sva svojstva razvijenog organizma reguliše skup gena sakrivenih duboko u unutrašnjosti ćelija; može se reći da svaka životinja ili biljka »izraste« oko svojih gena. Ako je dozvoljena upotreba jedne vrlo jednostavne fizičke analogije, možemo uporediti odnos između gena i živog organizma sa odnosom između atomskih jezgara i gromada neorganske materije. I ovde se, praktično, skoro sva fizička i hemiska svojstva neke supstance mogu svesti na osnovna svojstva atomskih jezgara koja se karakterišu prosto brojem koji obeležava njihov električni naboj. Tako, naprimer, jezgra koja imaju 6 elementarnih električnih jedinica okružiće se atomskim ljuskama od šest elektrona, što će u ovim atomima stvoriti tendenciju da se srede u pravilni šestougaoni sistem i da izgrađuju kristale izvanredne tvrdoće i vrlo visokog refraktivnog indeksa koje zovemo dijamantima. Slično tome, skup jezgara sa 29, 16 ili 8 električnih naboja daće atome koji će se slepiti da bi obrazovali otvoreno plave kristale supstance poznate kao sulfat bakra. Razume se, čak i najjednostavniji živi organizam je mnogo komplikovaniji od makojeg kristala, ali u oba slučaja imamo tipičnu pojavu da je makroskopska organizacija određena do najmanjeg detalja mikroskopskim centrima organizacione aktivnosti.

Kolika je veličina ovih organizacionih centara koji određuju sva svojstva živih organizama od mirisa ruže do oblika slonove surle? Na ovo se pitanje može lako odgovoriti deleći zapreminu jednog normalnog hromozoma brojem gena koje sadrži. Prema mikroskopskim posmatranjima jedan prosečni hromozom je debeo oko hiljaditi deo milimetra, što znači da mu je zapremina oko 10^{-14} cm³. A biološki nam eksperimenti nameću zaključak da jedan hromozom prouzrokuje nekoliko hiljada raznih naslednih svojstava, cifra koja se može i direktno dobiti brojanjem tamnih pruga (koje pretstavljaju verovatno posebne gene) koje seku dugačka tela ogromno velikih hromozoma voćne muve **Drosophila melanogaster**[10]) (fotografija V). Deleći celokupnu zapreminu hromozoma brojem gena, naći ćemo da zapremina jednog gena nije veća od 10^{-17} cm³. Kako zapremina jednog prosečnog atoma iznosi oko 10^{-23} cm³ [$\cong$ $(2 \times 10^{-8})^3$], zaključujemo da se **svaki gen mora sastojati od oko milion atoma.**

U stanju smo takođe da procenimo celokupnu težinu gena, recimo, u telu čoveka. Kao što smo videli, jedna odrasla osoba ima oko 10^{14} ćelija, a svaka ćelija 48 hromozoma. Celokupna zapremina svih hromozoma u čovečjem telu iznosi $10^{14} \times 48 \times 10^{-14} \cong 50$ cm³ i (pošto je gustina žive materije približno jednaka gustini vode) njihova težina iznosi oko 50 grama. Ovo je skoro zanemarljivo mala količina »organizujuće supstance« koja izgrađuje oko sebe komplikovanu »ljusku« životinjskog ili biljnog tela na hiljade puta težeg i koja upravlja »iznutra« svakim korakom njegovog razvitka, svakom crtom njegove strukture i, čak, velikim delom njegovog ponašanja.

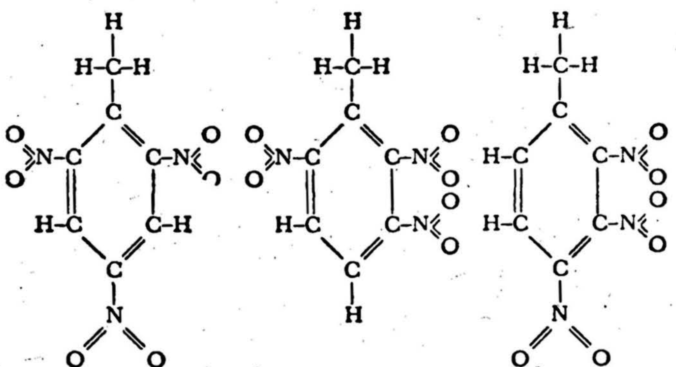
Ali šta je sam gen? Treba li ga smatrati kao komplikovanu »životinju« koja se može podeliti na još manje biološke jedinice? Odgovor na ovo pitanje je jedno odlučno ne. Gen je najmanja jedinica žive materije. Dalje, iako je sigurno da gen raspolaže svim onim karakteristikama kojima se razlikuje živa materija od one koja nije živa, nema skoro nikakve sumnje da su geni povezani s druge strane sa složenim molekulima (kao onim proteina) koji su podvrgnuti poznatim zakonima obične hemije.

[10]) Normalni hromozomi su tako mali da se pomoću mikroskopa ne mogu razlikovati odvojeni geni na njima.

Drugim rečima, izgleda da **u genu imamo onu nepoznatu kariku između organske i neorganske materije, onaj »živi molekul« o kome smo govorili na početku poglavlja.**

Uzmemo li u obzir izvanrednu postojanost gena, koji nose skoro bez promena svojstva date vrste kroz hiljade pokolenja, a s druge strane relativno mali broj individualnih atoma koji sačinjavaju jedan gen, ne možemo ga drukčije smatrati već kao dobro organizovanu strukturu, u kojoj svaki atom ili atomska grupa sedi na svom predodređenom mestu. Razlika u svojstvima raznih gena, koja se odražava u spoljnim promenama organizama, karakteristike koje geni određuju, mogu se, prema tome, shvatiti kao varijacije u distribuciji atoma u strukturi gena.

Evo jednog jednostavnog primera. Uzmimo molekul TNT (Trinitrotoluena), eksplozivnog materijala koji je igrao tako istaknutu ulogu u toku poslednja dva rata. Jedan TNT molekul je izgrađen od 7 atoma ugljenika, 5 atoma vodonika, 3 atoma azota, 6 atoma kiseonika, raspoređenih u jedan od ova tri oblika:



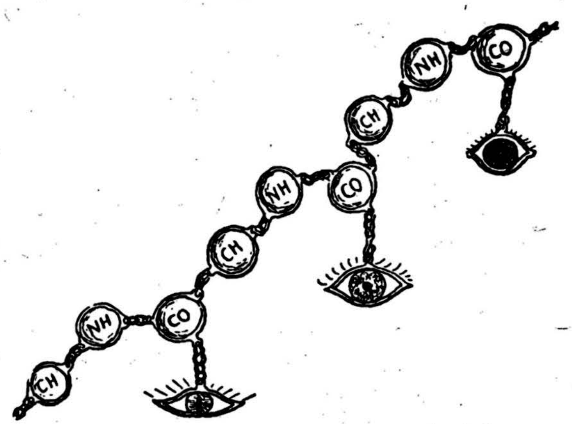
α β γ

Razlika između ova tri rasporeda leži u načinu na koji su grupe $\mathrm{N}{<}^{O}_{O}$ vezane za C-prsten, i ta tri različita materijala obično se označuju sa α TNT, β TNT i γ TNT. Sve tri supstance mogu biti sintetizovane u hemiskoj laboratoriji. Sve tri su eksplozivi, ali pokazuju male varijacije u gustini,

rastvorljivosti, tački topljenja, eksplozivnoj moći itd. Pomoću standardnih metoda hemije, grupa $\mathrm{N}{<}^{O}_{O}$ može se lako premestiti sa jedne tačke molekula na drugu, menjajući na taj način, jednu vrstu TNT u drugu. Primeri ove vrste su poznati u hemiji i što je veći molekul u pitanju to je veći broj vrsta (izomernih oblika) koji se na taj način mogu proizvesti.

Ako smatramo gen kao jedan ogroman molekul sastavljen od milion atoma, broj mogućnosti da se raspoređuju razne atomske grupe na raznim mestima u molekulu postaje ogromno veliki.

Možemo smatrati molekul gena kao dugačak lanac izgrađen od atomskih grupa koje se periodično ponavljaju sa



Sl. 101 — Nasledna »brazletna-amulet«

raznim drugim grupama koje vise o njemu kao ukrasi na brazletni. Na slici 101 dajemo jednu polufantastičnu sliku jednog dela takve »nasledne brazletne« koja prouzrokuje oblik, boju i druge karakteristike oka jedne životinje. Utvrđeno je da su baš atomske grupe (CH,HN i CO) one koje sačinjavaju dugačke lance molekula proteina, dok su priključene grupe shematski pretstavljene raznim oblicima oka. Transponirajući razne zakačaljke sa jedne kuke na drugu, možemo dobiti beskrajnu varijaciju raznih raspodela.

Tako, naprimer, ako imamo jednu brazletnu sa 10 raznih visuljaka, mi ih možemo raspodeliti na 1x2x3x4x5x6x7x8x9x10 = 3.628.800 načina.

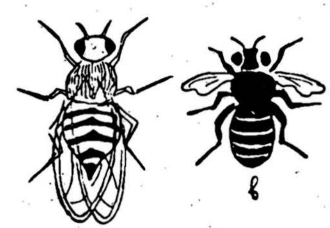
Ako su neki od visuljaka identični, broj mogućih rasporeda biće manji. Tako, ako imamo svega pet visuljaka (dva od svake vrste) imamo svega 113.400 raznih mogućnosti. Broj mogućnosti raste, međutim, vrlo brzo sa celokupnim brojem visuljaka, i ako imamo naprimer, 25 visuljaka, po 5 od svake vrste, broj mogućih raspodela iznosi približno 62.330.000.000.000.

Jasno je prema tome da je broj različitih kombinacija koje se mogu dobiti rasporedom raznih »visuljaka« po raznim »kvačicama« u dugačkim organskim molekulima svakako dovoljno veliki da obuhvati ne samo sve vrste poznatih živih oblika već takođe i najfantastičnije nepostojeće forme životinja i biljaka koje naša mašta može da zamisli.

Vrlo važna činjenica koja se odnosi na raspored determinantnih visuljaka duž lančastih molekula gena je ta da je ovo raspoređivanje podvrgnuto spontanim promenama koje se izražavaju u odgovarajućim promenama u mikroskopskom obimu čitavog organizma. Najobičniji uzrok takvih promena potiče iz običnog termičkog kretanja, koje prouzrokuje da se čitavo telo molekula savija i okreće kao grane drveta pod dejstvom jakog vetra. Pri srazmerno visokim temperaturama ovo vibraciono kretanje molekulskih tela postaje dovoljno jako da ih razbije na komade — proces koji je poznat pod imenom termička disocijacija (vidi poglavlje VIII). Ali čak i na nižim temperaturama, kad molekul kao celina zadrži svoj integritet, termičke vibracije mogu da prouzrokuju izvesne unutarnje promene strukture molekula. Možemo zamisliti, naprimer, da se molekul tako iskrivi da jedan visuljak koji je prikačen na jednoj tački dođe u dodir sa jednom drugom tačkom tela. U tom slučaju može se lako dogoditi da će se visuljak odvojiti od pređašnjeg mesta i zakačiti na novo mesto.

Takve pojave, zvane **izomerske transformacije,** dobro su poznate u običnoj hemiji u slučajevima relativno jednostavnih molekulskih struktura, i, zajedno sa svim drugim hemiskim reakcijama, podvrgnute su osnovnom zakonu hemiske kinetike, po kome se **brzina reakcije povećava približno za faktor 2 pri svakom povećanju temperature od 10°C.**

Kad su u pitanju molekuli gena, čija je struktura tako složena da će verovatno još dugo vremena odolevati najboljim naporima stručnjaka organske hemije, ne postoji zasad nikakav način da se provere izomerske promene direktnim metodima hemiske analize. Ipak, u ovom slučaju imamo nešto, što se sa izvesne tačke gledišta može smatrati daleko boljim od komplikovane hemiske analize. Ako dođe do jedne takve izomerske promene u genu jednog muškog ili ženskog gameta čije će sjedinjavanje proizvesti jedan novi živi organizam, ono će biti verno ponovljeno u daljim procesima cepanja gena i deobe ćelija, i imaće uticaja na izve-



Sl. 102 — SPONTANE MUTACIJE VOĆNE MUVE
a. normalni tip: sivo telo, dugačka krila; b. mutirani tip: crno telo, kratka (rudimentarna) krila.

sne lako primetne makroskopske karakteristike životinje ili biljke proizvedene na takav način.

I zaista, jedan od najvažnijih rezultata genetičkih studija leži u činjenici (koju je 1902 godine otkrio holandski biolog de Vris (de Vries) da **se spontane nasledne promene u živim organizmima mogu odigrati u vidu skokova poznatih pod imenom mutacija.**

Primera radi, razmotrimo eksperimente razmnožavanja voćnih muva **(Drosophila melanogaster)** koje smo već spomenuli. Divlja vrsta voćnih muva ima sivo telo i dugačka krila; i kad god uhvate jednu od njih u svojoj bašti, mola; i kad god uhvate jednu od njih u svojoj bašti, možete biti skoro sasvim sigurni da će imati ta obeležja. Međutim, kad odgajate pokolenje za pokolenjem ovih muva pod laboratoriskim uslovima, ponekad se dobije jedna čudna vrsta muve sa abnormalno kratkim krilima i skoro crnim telom (slika 102).

Ovde je važno da verovatno nećete naći uz crnu muvu sa kratkim krilima druge muve u raznim vrstama sive boje i s krilima razne dužine, koje bi obeležavale uzastopne etape varijacije između ovog ekstremnog izuzetka (skoro crno telo i vrlo kratka krila) i »normalnih« predaka, u jednoj progresiji pokolenja sa sve većim otstupanjima od normale. Po pravilu su svi članovi jednog novog pokolenja (a može ih biti na stotine) otprilike iste nijanse sive boje i jednako dugačkih krila i samo se jedan (ili svega nekoliko njih) potpuno razlikuju od ostalih. Dakle: **ili uopšte nema veće promene ili je promena veoma velika (mutacija).** Slično stanje je primećeno u stotinama drugih slučajeva. Tako, naprimer, slepoća za boju se ne pojavljuje samo naslednim putem, i mora biti slučajeva gde se beba rodi slepa za boje bez ikakve »krivice« sa strane roditelja. Kad je u pitanju slepoća za boje kod ljudi, baš kao i u slučaju kratkih krila kod voćne muve, imamo isti princip »sve ili ništa«; ne radi se o tome da li neka osoba može bolje ili gore da razlikuje dve boje — ona ih razlikuje sasvim ili nikako.

Kao što zna svako ko je ikad čuo za ime Darvina (Charles Darwin), ove promene u osobinama novih pokolenja kombinovane sa **borbom za opstanak** i **pobedom najboljeg** uslovljavaju stalni proces evolucije vrsta[11]), i uzrok su činjenice da se jedan prost mekušac, koji je bio kralj prirode pre jedno par milijardi godina, razvio u visoko inteligentno živo biće kao što ste vi, koje može da čita i razume čak i visoko učenu knjigu kao što je ova.

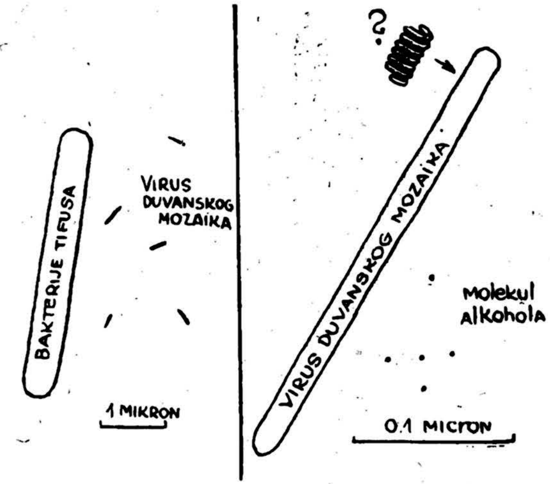
Skokovite varijacije u naslednim osobinama potpuno su razumljive s tačke gledišta izomerskih promena u molekulima gena, kao što je to gore razmotreno. Ako jedan determinatni visuljak promeni svoje mesto u molekulu gena, ne može to učiniti polovično: ili će ostati na starom mestu, ili će se zakačiti za novo mesto prouzrokujući na taj način promene u osobinama organizma.

Gledište prema kome su »mutacije« prouzrokovane izomerskim promenama u genima — molekulima, nailazi na jaku potvrdu u načinu na koji brzina mutacija zavisi od temperature ambijenta u kome se množe životinje i biljke. Eksperimentalni rad Timofejeva (Timoféëff) i Cimera (Zimmer) o uticaju temperature na brzinu pojava mutacija ukazuje na to (nezavisno od izvesnih komplikacija prouzrokovanih sredinom i drugim faktorima) da je ta pojava podvrg-

[11]) Jedina razlika koju je otkriće mutacije unelo u Darvinovu klasičnu teoriju je ta da se evolucija vrši putem skokovitih promena a ne putem malih, neprekidnih promena, kako je to Darvin mislio.

nuta istim osnovnim fiziko-hemiskim zakonima kao i bilo koja druga molekulska reakcija. Ovo važno otkriće dovelo je Maks Delbrika (Max Delbrück) — ranijeg teoretičara fizike, a sad eksperimentalnog genetičara — da razvije svoje epohalne poglede o ekvivalenciji između bioloških pojava mutacija i čisto fiziko-hemiskog procesa izomerskih promena u jednom molekulu.

Mi bismo mogli da nastavimo do u beskraj našu raspravu o fizičkoj osnovi teorije gena, naročito o važnom dokaznom materijalu koji nam pruža izučavanje mutacija proizvedenih X-zracima i drugim zračenjima. Ali ovo što smo dosada rekli izgleda da će biti dovoljno da ubedi čitaoca u



Sl. 103 — Upoređenje bakterija, virusa i molekula

činjenicu da se nauka sada nalazi na pragu čisto fizičkog tumačenja »tajanstvene pojave života«.

Ne možemo završiti ovo poglavlje a da ne spomenemo biološke jedinice pod imenom »virusa« koje izgleda da pretstavljaju slobodne gene bez ćelije oko njih. Doskora su biolozi verovali da najjednostavniju formu života pretstavljaju razni tipovi bakterija, jednoćeličnih organizama koji rastu i množe se u živim tkivima životinja i biljaka i prouzrokuju ponekad razne vrste bolesti. Mikroskopska izučavanja su otkrila, naprimer, da tifus prouzrokuje specijalna vrsta bakterija koja ima jako izduženo telo, dugačko oko 3 mikrona[12]) i oko pola mikrona široko, dok su bakterije šarlaha sferične ćelije od oko dva mikrona u prečniku. Postojao je, međutim, izvestan broj bolesti kao, naprimer, influenca kod čoveka ili tzv. mozaična bolest duvana gde obična posmatranja mikroskopom nisu pokazala nikakve bakterije normalne veličine. Pošto su se, međutim, ove vrste bolesti »bez bakterija« prenosile sa tela bolesnih pojedinaca na tela zdravih na isti infektivan način kao i sve druge obične bolesti, i budući da se infekcija koja je tako primljena brzo proširila po čitavom telu bolesnika, bilo je potrebno pretpostaviti da su i te bolesti povezane sa nekom vrstom bioloških nosača, koji su dobili ime virus.

Ali tek u poslednje vreme razvitkom **ultramikroskopske tehnike** (koja upotrebljava ultraljubičasto svetlo) a naročito otkrićem **elektronskog mikroskopa** (kome upotreba elektronskih snopova umesto običnih svetlosnih zrakova omogućuje mnogo veće povećanje) dozvolilo je mikrobiolozima da prvi put vide dotada sakrivenu strukturu virusa.

Utvrđeno je da su razni virusi skup velikog broja čestica potpuno iste veličine i mnogo manjih od obične bakterije (sl. 103). Tako su, naprimer, čestice virusa influence male sfere 0,1 mikron u prečniku, dok su tanki štapići virusa duvanskog mozaika 0,28 mikrona dugački i 0,15 široki.

Na fotografiji VI imamo vrlo impresivan snimak, dobijen pomoću elektronskog mikroskopa, čestice virusa duvanskog mozaika, najmanje poznatog živog bića. Ako se potsetimo da prečnik jednog atoma iznosi oko 0,0003 mikrona, možemo zaključiti da čestice virusa duvanskog mozaika iznose oko 50 atoma u širinu i oko 1000 atoma u dužinu. Sve skupa ne više od par miliona individualnih atoma.[13])

Ova cifra nas odmah potseća na sličnu cifru dobivenu za broj atoma u jednom genu i otvara mogućnost da se čestice virusa mogu smatrati kao slobodni geni koji se nisu

[12]) Mikron je hiljaditi deo milimetra ili 0,0001 cm.

[13]) Broj atoma koji sačinjavaju jednu česticu virusa može biti znatno manji od ovoga pošto je vrlo moguće da su »prazni unutra«, jer su obrazovani od savijenih molekularnih lanaca tipa koji se vidi na slici 101. Ako pretpostavimo da virus duvanskog mozaika ima zaista takvu strukturu koja se shematski vidi na slici 103, tako da se razne atomske grupe nalaze samo na površini cilindra, celokupni broj atoma u jednoj čestici virusa svešće se na svega nekoliko stotina hiljada. Sličan argumenat važi takođe i za broj atoma u jednome genu.

sjedinili u dugačke nizove koje mi zovemo hromozomi i koji se nisu okružili srazmerno teškom masom ćelične protoplazme.

I zaista reproduktivni proces čestica virusa izgleda da se vrši istim putem kao dupliranje hromozoma u procesu ćelične deobe: čitavo njihovo telo se cepa duž osovine i tako nastaju dve nove čestice virusa. Kako izgleda ovde se radi o osnovnom reproduktivnom procesu (ilustrovanom na slici 91 za izmišljeni slučaj reprodukcije alkohola) u kome razne atomske grupe, raspoređene duž komplikovanog molekula, privlače iz okolne sredine slične atomske grupe i aranžiraju ih na isti način kao u prvobitnom molekulu. Kada se ovaj aranžman popuni, novi molekul, sad sasvim zreo, odvaja se od prvobitnog. I zaista izgleda da u ovim primitivnim živim organizmima uopšte ne dolazi do uobičajenog procesa »rašćenja« i da se novi organizmi prosto grade »deo po deo« pored starih. Stanje se može ilustrovati ako se zamisli jedno dete koje se razvija spolja, dakle ne u utrobi, nego na telu svoje majke, pa se otkači i pođe u šetnju kad je već potpuno formiran čovek ili žena. (Autor neće pokušati da nacrta sliku te pojave, uprkos vrlo velikog iskušenja da to učini). Da bi se takav proces umnožavanja mogao izvršiti razvitak se, besumnje, mora ostvariti u naročito za to organizovanoj sredini. I zaista, za razliku od bakterija koje imaju svoju sopstvenu protoplazmu, čestice virusa se mogu umnožavati samo u živoj protoplazmi drugih organizama pošto su vrlo osetljive u pogledu izbora svoje »hrane«.

Dalja opšta karakteristika virusa je ta **da su podložni mutacijama** i da mutirane jedinke predaju nove osobine svojoj deci po svim poznatim zakonima genetike. Biolozima je stvarno pošlo za rukom da diferenciraju nekoliko naslednih grana istoga virusa i da prate razvitak ove »rase«. Kad se nove epidemije influence prošire kroz gradove možete biti sigurni da su prouzrokovane jednim novim tipom virusa influence koji ima neke nove osobine protiv kojih se ljudski organizam još nije uspeo da bori razvijajući odgovarajući imunitet.

Na prethodnim stranicama mi smo izneli niz jakih argumenata koji pokazuju da **čestice virusa moramo smatrati kao žive.** Sada možemo da kažemo s ništa manje odlučnosti da **te čestice moramo takođe smatrati kao obične hemiske molekule** podvrgnute svim zakonima fizike i hemije. I ustvari čisto hemiske studije virusnog materijala ustanovljuju činjenicu da se jedan dati virus može smatrati kao dobro definisana hemiska supstanca i da se može tretirati na potpuno isti način kao razne kompleksne organske (ali ne žive) supstance, kao i to da je ta supstanca podložna raznim vrstama reakcija zamene (supstitucije). Izgleda da je još samo pitanje vremena kad će neki biohemičar biti u stanju da za svaki pojedini virus napiše strukturnu hemisku formulu isto tako lako kao što sada piše formulu za alkohol, glicerin ili šećer. Još značajnija je činjenica da su čestice virusa jednog datog tipa, kako izgleda, **potpuno iste veličine** do poslednjeg atoma.

Dokazano je, uostalom, da se čestice virusa, kada im se uskrati hranljiva sredina u kojoj žive, sređuju u sistem običnih kristala. Tako, naprimer, virus jedne bolesti paradajsa kristališe u obliku velikih, lepih rombičnih dodekaedra. Ovaj kristal možete čuvati i izlagati u jednom ormanu mineraloga pored kristala feldspata i soli; ali rastvorite ga i ušpricajte u biljku paradajsa, i on će se preobratiti u roj živih jedinki.

Da, mi već raspolažemo s jednim nesumnjivim prelaznim beočugom između žive i nežive materije, i kada — možda ne u dalekoj budućnosti — neki talentovani biohemičar uspe da sintetizuje molekul virusa iz običnih hemiskih elemenata, on će s pravom moći da uzvikne: »Uspeo sam da udahnem dah života komadu mrtve materije«.

DEO IV
MAKROKOSMOS

Poglavlje X

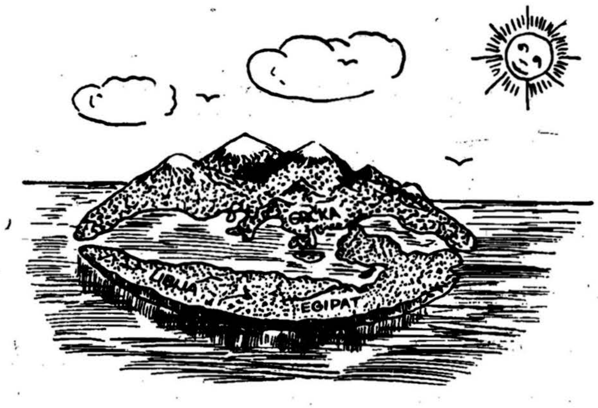
HORIZONTI U PROŠIRENJU

1. Zemlja i njen komšiluk

Sada, pošto smo se vratili sa naše ekskurzije u carstvo molekula, atoma i jezgara nazad ka predmetima uobičajene veličine, spremni smo da pođemo na novo putovanje samo ovoga puta u suprotnom pravcu, tj. prema Suncu, zvezdama, udaljenim zvezdanim maglinama i dalekim granicama naše vasione. I ovde, kao u slučaju mikrokosmosa, razvitak nauke nas vodi sve dalje i dalje od poznatih svakodnevnih predmeta posmatranja i otvara postepeno sve šire horizonte.

U prvim etapama ljudske civilizacije ono što smo mi nazivali vasionom bilo je skoro smešno malo. Smatralo se da je Zemlja veliki pljosnati kolut koji plovi po površini svetskog okeana koji ga okružuje. Ispod Zemlje bila je samo voda, duboka koliko god se može zamisliti, iznad toga nebo, prebivalište bogova. Kolut je bio dovoljno veliki da sadrži sve zemlje poznate geografiji toga doba, što je značilo: obale Sredozemnog Mora sa susednim delovima Evrope, Afrike i Azije. Severna granica zemaljskog koluta bila je ograničena visokim planinama iza kojih se krilo Sunce preko noći kada se odmaralo na površini svetskog okeana. Slika 104 daje prilično tačnu pretstavu kako je svet izgledao ljudima u dalekoj prošlosti. Ali u III veku pre naše ere živeo je čovek koji se nije slagao sa ovom uprošćenom i opšte usvojenom slikom sveta. To je bio čuveni grčki filozof (tako su onda zvali naučnike) po imenu Aristotel.

U svojoj knjizi o nebu Aristotel je izložio teoriju da je naša Zemlja ustvari sfera, pokrivena delimično zemljom, delimično vodom, i opkoljena vazduhom. On je dokazivao svoje gledište mnogim argumentima koji su nama dobro poznati i izgledaju nam trivijalni. On je ukazao na to kako lađe iščezavaju iza horizonta kada prvo nestaje telo broda a jarboli izgledaju kao da vire iz vode, što dokazuje da je površina okeana kriva, a ne pljosnata. On je tvrdio da pomračenja Meseca moraju poticati od toga što Zemljina senka prelazi preko lica našeg satelita, pa pošto je ova senka okrugla i



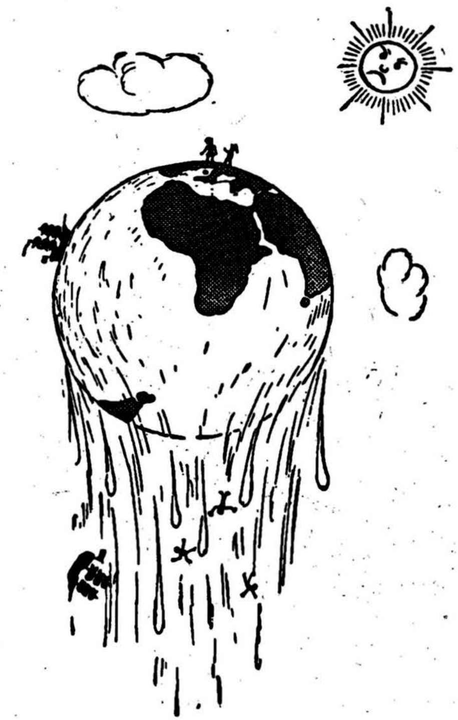
Sl. 104 — Antički svet

Zemlja mora biti takođe okrugla. Ali mu je veoma mali broj ljudi u to doba verovao. Ljudi nisu mogli da shvate kako oni koji žive na suprotnoj strani Zemlje (tzv. antipodi) mogu, ako je tačna gornja tvrdnja, da idu naopačke a da ne padnu sa Zemlje. Odnosno: zašto voda u tim delovima sveta ne poteče u pravcu plavog neba (slika 105).

Vidite, u ono doba ljudi nisu shvatali da stvari padaju zato što ih privlači centar Zemljinog tela. Za njih su »gore« ili »dole« bili apsolutni pravci u prostoru koji bi trebalo da budu svuda isti.

Ideja da »gore« može postati »dole«, a »dole« »gore« ako putujete na drugi kraj Zemlje morala im je izgledati bar to-

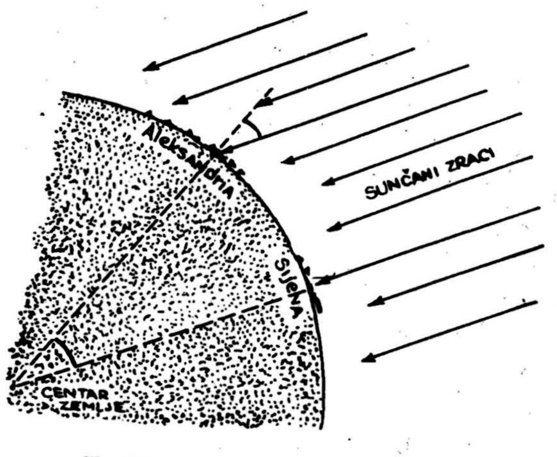
liko ludačka kao što to razne tvrdnje Ajnštajnove teorije relativiteta izgledaju mnogim ljudima danas. Pad teških tela tumačen je ne privlačenjem Zemlje, kao što mi to danas tumačimo, već »prirodnom tendencijom« svih stvari da se kreću nadole. I tako vi odleteste u pravcu plavog neba ako se usudite da kročite na donji deo zemaljske kugle. Otpor je bio tako jak i tako teško prodiranje novih ideja da ste u



Sl. 105 — Jedan argumenat protiv sferičnog oblika Zemlje

mnogim knjigama objavljenim čak i u XV veku, dakle skoro dve hiljade godina posle Aristotela, mogli da nađete slike koje pokazuju antipode kako stoje na donjoj strani Zemlje okrenuti glavom nadole, i gde se potsmeva čitavoj ideji da je Zemlja sferičnog oblika. Verovatno da i sam veliki Kolumbo kada je pošao na svoje putovanje da otkrije drugi »zaobilazni put« za Indiju nije bio potpuno ubeđen u pravilnost svoga plana. Ustvari on ga nije ni ispunio jer mu se isprečio Američki kontinenat. I tek posle čuvene plovidbe oko sveta od strane Fernanda de Magahaes (poznatijeg pod imenom Magelan) konačno je iščezla sumnja o sferičnom obliku Zemlje. Kada se prvi put shvatilo da Zemlja ima oblik ogromne sfere, bilo je prirodno upitati se koliko je velika ta sfera u odnosu na delove sveta tada poznate. Ali kako ćete izmeriti veličinu Zemlje a da ne pođete na kružno putovanje oko sveta, što je bilo van granica mogućnosti filozofa stare Grčke?

Postoji ipak jedan način, i prvi ga je uvideo čuveni naučnik toga doba, Eratosten, koji je živeo u Grčkoj koloniji u Aleksandriji u Egiptu u III veku pre naše ere. On je čuo



Sl. 106 — Eratosten meri Zemlju

od stanovnika Siene, grada na gornjem Nilu, koji se nalazi oko 5000 egipatskih stadija južno od Aleksandrije, da najdužeg dana u godini Sunce u podne u tom gradu stoji upravo nad glavom, tako da vertikalni predmeti uopšte nemaju senki. S druge strane Eratosten je znao da se nikad takva pojava nije dogodila u Aleksandriji, i da tog istog dana tu Sunce prolazi 7 stepeni, ili jedan pedeseti punoga kruga daleko, daleko od zenita — tačke upravo iznad glave. Pretpostavljajući da je Zemlja okrugla, Eratosten je dao jednostavno tumačenje činjenice, tumačenje koje možete lako razumeti

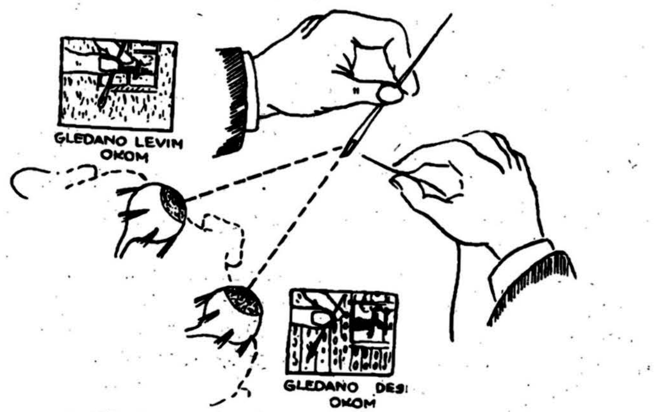
gledajući na sliku 106. I zaista, pošto se površina Zemlje krivi između ova dva grada, sunčani zraci koji u Sijeni padaju vertikalno u Aleksandriji, koja je severno od Sijene, moraju padati pod jednim izvesnim uglom. Na slici možete takođe da vidite sledeće: ako se povuku dve prave iz centra Zemlje tako da jedna prođe kroz Aleksandriju a druga kroz Sijenu, ugao koji one zatvaraju između sebe bio bi identičan sa uglom koji čine sunčani zraci u trenutku kada je Sunce upravo iznad Sijene sa linijom koja prolazi iz centra Zemlje kroz Aleksandriju (tj. u pravcu zenita u Aleksandriji). Kako taj ugao iznosi pedeseti deo od punog ugla, celokupni obim Zemlje treba da bude pedeset puta razdaljina između dva grada, ili 250.000 stadija. S obzirom na to da jedan egipatski stadij iznosi oko 150 m. to je Eratosten dobio rezultat od 40.000 km, što je zaista blizu modernih procena.

Međutim, glavna stvar u prvom merenju Zemlje nije bila tačnost dobivenog broja, već shvatanje činjenice da je Zemlja **tako** velika. Što njena celokupna površina mora biti nekoliko stotina puta veća od površine svih poznatih zemalja! Može li to biti tačno. I, ako može, onda leži iza dotada poznatih zemalja?

Govoreći o astronomskim razdaljinama, mi se moramo prvo upoznati s onim što je poznato pod imenom **paralaktičko pomeranje** ili prosto **paralaksa.** Ova reč zvuči malo zastrašujuće, ali je ustvari paralaksa vrlo jednostavna i vrlo korisna stvar.

Možemo početi naše upoznavanje sa paralaksom pokušavajući da udenemo konac u iglu. Zatvorite jedno oko i pokušajte da udenete konac, i videćete da ne ide; vi ćete držati kraj konca bilo suviše daleko iza igle ili suviše ispred nje. Jednim okom niste u stanju da ocenite razdaljinu između igle i konca. Ali s oba otvorena oka vi to možete da uradite vrlo jednostavno ili bar možete lako da naučite kako se to postiže. Kad gledate na predmet sa oba oka, vi ih automatski fokusirate na predmet. Što je predmet bliži utoliko više morate oba oka da uperite jedno prema drugom, i mišićni osećaj koji se pojavljuje usled takve promene daje vam prilično tačnu sliku razdaljine.

Ako sad, umesto da gledate sa oba oka, zatvorite najpre jedno, a zatim drugo, primetićete da se položaj predmeta (igle u ovom slučaju) u odnosu na udaljenu pozadinu (recimo prozor na kraju sobe) menja. Ovaj efekat, poznat pod imenom **paralaktičko pomeranje,** svakako vam je dobro poznat; ako nikad niste čuli o njemu, prosto ga probajte ili pogledajte sliku 107 gde se pokazuje igla i prozor kako se vide desnim i levim okom. Što je predmet dalji, to je njegovo **paralaktičko pomeranje** manje, tako da ovu pojavu možemo koristiti za merenje razdaljine. Pošto se **paralaktičko pomeranje** može meriti direktno u stepenima luka, ovaj metod je precizniji od jednostavnog procenjivanja razdaljine zasnovanog na mišićnom osećaju u očima. Ali pošto je razmak među očima svega nekoliko santimetara, njima se ne mogu

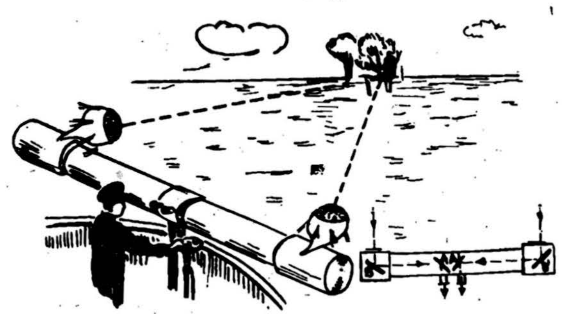


Sl. 107 — Paralaktičko pomeranje

procenjivati razdaljine veće od nekoliko metara; kad su u pitanju daleki predmeti, ose oba oka postaju skoro paralelne i paralaktičko pomeranje postaje neizmerljivo malo. Da bismo mogli da procenjujemo veće razdaljine, mi bismo morali da razdvojimo oči na veću razdaljinu i na taj način da povećamo ugao paralaktičkog pomeranja. Ali za to nije potrebna hirurška operacija, već se to može postići ogledalima.

Na slici 108 vidimo jedan takav uređaj koji upotrebljava mornarica (pre otkrića radara) u cilju merenja razdaljine neprijateljskih brodova za vreme borbe. To je dugačka cev sa dva ogledala pred očima (A, A') i dva druga ogledala (B, B') na suprotnim krajevima cevi. Gledajući kroz taj uređaj za utvrđivanje daljine, vi ustvari vidite jednim okom sa kraja B a drugim sa kraja B'. Razdaljina između vaših oči-

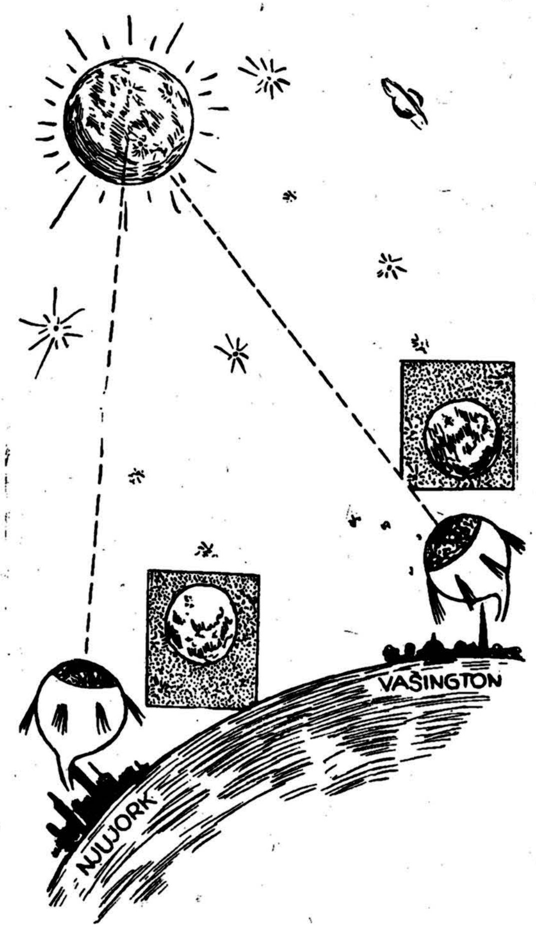
ju, ili takozvana optička osnova, postaje de facto mnogo veća, i vi možete da procenjujete mnogo veće razdaljine. Razume se da se pomorci ne oslanjaju prosto na osećaj razdaljine koji im pružaju mišići njihovih očiju. Ovi su daljinomeri snabdeveni specijalnim malim instrumentima i skazaljkama za merenje paralaktičkog pomeranja sa najvećom tačnošću.



Sl. 108 — Mornarički uređaj za određivanje dometa

Ali ovi pomorski daljinomeri, koji rade perfektno čak i kad je neprijateljski brod skoro iščezao sa horizonta, pokazali bi se vrlo slabo u pokušaju da se izmeri razdaljina čak i tako relativno bliskog nebeskog tela kao što je Mesec. Da bismo mogli primetiti paralaktičko pomeranje Meseca u odnosu na pozadinu dalekih zvezda, optička baza, tj. razdaljina između naša dva oka, mora da bude nekoliko stotina kilometara dugačka. Razume se da nije potrebno praviti optički uređaj koji bi nam omogućio da gledamo jednim okom, recimo, iz Vašingtona, a drugim iz Njujorka, pošto je dovoljno da iz ta dva grada snimimo dve jednovremene fotografije Meseca među okolnim zvezdama. Ako te slike stavite u obični stereoskop, videćete kako Mesec visi u prostoru na zvezdanoj pozadini. Merenjem fotografija Meseca i okolnih zvezda snimljenih sa dva razna mesta na površini Zemlje u istom trenutku (slika 109), astronomi su utvrdili da je paralaktičko pomeranje Meseca toliko da bi sa dve suprotne tačke Zemljinog prečnika, iznosilo 1°24'5". Odatle sledi da je razdaljina do Meseca jednaka 30,14 zemaljskih prečnika, odnosno 384.403 kilometara.

Na osnovu ove razdaljine i izmerenog ugaonog prečnika možemo utvrditi da prečnik našeg satelita iznosi jednu četvrtinu Zemljinog prečnika. Celokupna površina Meseca iznosi oko jedan šesnaesti deo Zemljine površine, ili otprilike koliko i površina afričkog kontinenta.



Sl. 109 — Paralaktičko pomeranje pri posmatranju Meseca

Na sličan se način može izmeriti i razdaljina Sunca, iako su merenja znatno teža pošto je Sunce mnogo udaljenije. Astronomi su utvrdili da razdaljina do Sunca iznosi 149,450.000

km, tj. da je 385 puta veća od razdaljine do Meseca. Što Sunce izgleda otprilike iste veličine kao i Mesec to je samo posledica ogromne razdaljine do njega: ustvari Sunce je mnogo veće i njegov je prečnik kao 109 prečnika Zemlje.

Da je Sunce velika bundeva, Zemlja bi bila veličine zrna graška, Mesec kao seme bulke, dok bi najveći oblakoder na svetu, Empajer Steit Bilding u Njujorku, bio veličine kao najmanja bakterija koja se može videti mikroskopom. Vredno je ovde napomenuti da je u doba stare Grčke jedan napredni filozof, po imenu Anaksagora, bio kažnjen progonstvom i pretnjom smrću zato što je tvrdio da je Sunce jedna vatrena lopta velika koliko čitava Grčka!

Na sličan način astronomi su u stanju da procene razdaljine do različitih planeta našeg sistema. Najdalja od njih, otkrivena tek nedavno i nazvana Pluton, otprilike 40 puta je dalja od Sunca nego Zemlja; njegova razdaljina iznosi tačno 5.890,000.000 kilometara.

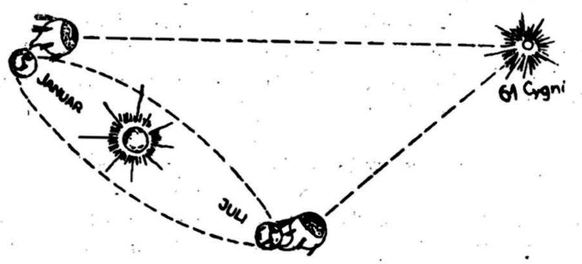
2. Naš zvezdani sistem — Galaksija

Naš sledeći skok u prostor biće sa planeta na zvezde. I ovde ponovo možemo upotrebiti metod paralaksa. Međutim, čak i najbliže zvezde su tako udaljene da posmatrane i sa najudaljenijih tačaka na Zemlji (dve suprotne tačke na Zemljinoj površini) ne pokazuju znatno paralaktičko pomeranje u odnosu na opštu pozadinu zvezda. Pa ipak postoji način da se mere ove ogromne razdaljine. Ako koristimo dimenzije Zemlje da merimo veličinu Zemljine putanje oko Sunca, zašto ne bismo koristili ovu putanju da merimo razdaljine do zvezda? Drugim rečima, zar nije moguće primetiti relativno pomeranje bar nekih zvezda posmatrajući ih sa suprotnih krajeva Zemljine putanje? To znači da ćemo morati da čekamo pola godine između dva merenja, ali uostalom zašto ne?

Sa ovom zamisli, nemački astronom Besel (Bessel) otpočeo je godine 1838 upoređenje relativnih položaja zvezda posmatranih u intervalu od pola godine. U prvi mah nije imao sreće; zvezde koje je bio izabrao bile su očigledno isuviše daleko da bi se pokazalo primetno paralaktičko pomeranje, čak i kad se uzme kao optička osnova prečnik Zemljine putanje oko Sunca. Ali gle, bila je jedna zvezda, katalogisana u astronomskim katalozima kao 61 Cygni (61-a jedva vidljiva zvezda u konstelaciji Labuda), koja je izgledala kao da se malo pomerila u odnosu na svoj položaj od pre pola godine (Slika 110).

Prošlo je još pola godine i zvezda je bila na svom starom mestu. Tako se pokazalo da se ipak radilo o paralaktičkom pomeranju, a Besel je bio prvi čovek koji je sa metrom u ruci kročio u međuzvezdani prostor izvan granica našeg starog planetarnog sistema.

Primećeno godišnje pomeranje 61 Cygni bilo je zaista malo; svega 0.6 ugaonih sekundi, a to je ugao pod kojim biste videli čoveka na udaljenosti od 800 kilometara kad biste mogli da vidite tako daleko. Ali astronomski instrumenti su



Sl. 110 — Paralaktičko pomeranje pri posmatranju zvezde 61 Cygni

vrlo precizni, i čak i takvi uglovi se mogu meriti sa visokom preciznošću. Pomoću izmerene paralakse i poznatog prečnika Zemljine putanje, Besel je izračunao da je njegova zvezda udaljena 103,000,000,000.000 kilometara, ili oko 690.000 puta više od Sunca. Prilično je teško shvatiti značaj ovog broja. U onom našem primeru gde je Sunce pretstavljeno kao bundeva, Zemlja kao zrno graška koje se okreće oko njega na udaljenosti od oko šest metara, razdaljina do pomenute zvezde bi bila 48.000 kilometara.

U astronomiji je uobičajeno da se govori o vrlo velikim razdaljinama na taj način što se utvrđuje vreme potrebno da svetlost pređe takve razdaljine putujući svojom ogromnom brzinom od 300.000 kilometara na sekund. Svetlosti bi bilo potrebno svega $^1/_7$ sekundi da obleti oko Zemlje, nešto preko 1 sekunde da dođe od Zemlje do Meseca, i oko 8 minuta do Sunca. Sa zvezde 61 Cygni, koja je jedna od najbližih naših kosmičkih suseda, svetlost putuje do Zemlje oko 11 godina. Kad bi se, usled nekakve kosmičke katastrofe,

svetlost zvezde 61 Cygni ugasila, ili (što se često događa zvezdama) kad bi eksplodirala u jednom iznenadnom bljesku vatre, mi bismo morali da čekamo čitavih 11 godina dok bi, jureći kroz međuzvezdani prostor, zadnji umirući zrak eksplozije konačno doneo na Zemlju najnovije kosmičke vesti o tome da je jedna zvezda prestala da postoji.

Na osnovu izmerene udaljenosti koja nas odvaja od 61 Cygni, Besel je izračunao da je ova zvezda, koja nam izgleda kao mala svetla tačka koja tiho treperi prema pozadini mračnog noćnog neba, ustvari jedno ogromno svetlo telo, svega 30% manje i nešto manje svetla od našeg divnog Sunca. Ovo je prvi neposredni dokaz revolucionarne ideje koju je prvo izneo Kopernik da je naše Sunce tek jedna od mirijada zvezda rasejanih na ogromnim razdaljinama kroz beskrajni prostor.

Od Beseleovog otkrića izmeren je veliki broj zvezdanih paralaksa. Izvestan broj zvezda pokazao nam se bliži od 61 Cygni; najbliža od tih je alfa Centaura (najsvetlija zvezda u konstalaciji Centaur), koja je udaljena svega 4,3 svetlosne godine. Ona je vrlo slična našem Suncu kako u pogledu veličine tako i svetlosti. Većina zvezda je mnogo više udaljena, tako udaljena da čak i prečnik Zemljine putanje postaje isuviše mali kao osnova za merenje razdaljina.

U isto vreme utvrđeno je da se zvezde veoma razlikuju u pogledu veličina i svetlosti, od svetlih džinova kao što je Betelgeuse (300 svetlosnih godina daleko), koja je oko 400 puta veća i 3600 puta svetlija od Sunca, do takvih slabo svetlećih patuljaka kao tako zvana Van Maanenova zvezda (udaljena 13 svetlosnih godina), koja je po veličini manja od naše Zemlje (njen prečnik je 75% prečnika Zemlje), a po sjajnosti oko 10.000 puta manje svetla od Sunca.

Sad dolazimo na važan problem brojanja svih postojećih zvezda. Postoji popularno uverenje, koga se i vi verovatno držite, da niko ne može da prebroji zvezde na nebu. Ali, i ovo uverenje je, kao uostalom i mnoga druga popularna verovanja, pogrešno, bar što se tiče zvezda koja se vide golim okom. Celokupni broj zvezda koje se mogu videti u obe hemisfere iznosi svega od 6000 do 7000. Pošto se svega polovina od ovog broja nalazi iznad horizonta u svakom trenutku, i pošto je vidljivost zvezda blizu horizonta znatno smanjena atmosferskom apsorpcijom, broj zvezda koje su obično vidljive golim okom za vreme vedre noći kad nema Meseca iznosi svega oko dve hiljade. Na taj način, brojeći vrlo revnosno brzinom od jedne zvezde na sekund, vi biste ih sve prebrojali za oko pola sata.

Kad biste, međutim, koristili jedan običan durbin, videli biste još oko 50.000 zvezda, a jedan teleskop od 5 santimetara bi otkrio još oko 1,000.000. Pomoću čuvenog teleskopa od 250 santimetara u Mt. Vilson opservatoriji u Kaliforniji, vi biste mogli da vidite oko pola milijarde zvezda. Kad bi brojali po 1 zvezdu na sekund svakog dana od jutra do mraka, astronomima bi bio potreban jedan vek da ih sve prebroje.

Ali, razume se, niko dosada nije pokušao da prebroji jednu po jednu sve zvezde vidljive velikim teleskopima. Celokupni broj zvezda se izračunava tako što se broje zvezde vidljive u izvesnom broju površina u raznim krajevima neba, pa se pomnoži taj prosečni broj sa celokupnom površinom.

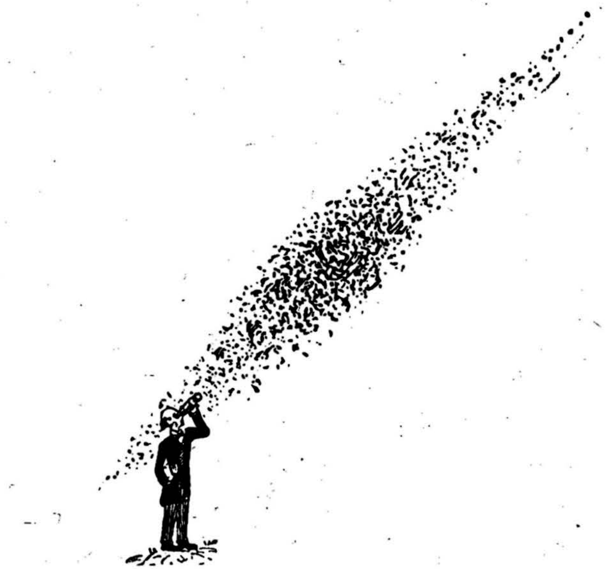
Pre više od sto godina čuveni engleski astronom Viljem Heršel (William Hershel), posmatrajući zvezdano nebo kroz svoj veliki teleskop koji je sam izgradio, bio je impresioniran činjenicom da se većina zvezda koje se obično ne vide golim okom pojavljuju u jednom svetlom pojasu koji seče noćno nebo i zove se Mlečni Put. I astronomska nauka duguje priznanje Heršelu za spoznaju činjenice da Mlečni Put nije obična nebuloznost ili prosto jedan pojas oblaka koji se proteže kroz prostor već se ustvari sastoji iz množine zvezda koje su tako daleko, i prema tome tako slabo vidljive, da ih naše oko ne raspoznaje kao odvojene.

Upotrebljavajući sve jače i jače teleskope, mi smo uspeli da vidimo Mlečni Put kao sve veći broj posebnih zvezda, ali većina ih još uvek ostaje u maglovitoj pozadini. Bilo bi ipak pogrešno verovati da su na području Mlečnog Puta zvezde gušće raspoređene nego na ijednom drugom kraju neba. Ono što čini da raspored zvezda vidimo kao gušći na jednom kraju neba nego na bilo kom drugom to je njihovo dublje prostiranje u tom pravcu a ne stvarno gušći raspored. U pravcu Mlečnog Puta zvezde se prostiru dokle god oko (pojačano teleskopom) može da vidi, dok u bilo kom drugom pravcu raspored zvezda ne dopire do granica vidljivosti, pa iza njih susrećemo uglavnom prazan prostor.

Kad gledamo u pravcu Mlečnog Puta, čini nam se kao da gledamo kroz jednu duboku šumu u kojoj se grane brojnog drveća poklapaju sačinjavajući jednu neprekidnu pozadinu. U drugim pravcima, pak, vidimo delove praznog prostora među zvezdama kao što bismo videli delove plavog neba kroz lišće koje nam je nad glavom.

Na taj način zvezdana vasiona, kojoj pripada naše Sunce kao jedan beznačajan član, zuzima jednu pljosnatu površinu u prostoru koja se širi na velike razdaljine u ravni Mlečnog Puta, ali je srazmerno tanka u pravcu okomitom na nju.

Detaljnije izučavanje od strane čitavih pokolenja astronoma dovelo je do zaključka da naš zvezdani sistem obuhvata oko 40,000.000.000 individualnih zvezda raspoređenih u jednoj površini oblika sočiva, veličine od oko 100.000 svetlosnih godina u prečniku i oko 5000 do 10.000 svetlosnih godina u debljinu. A jedan od rezultata ovih studija, naime saznanje da naše Sunce nije centar ovog ogromnog društva zvezda već da se nalazi bliže spoljnoj ivici sistema kao da udara šamar po licu ljudskog ponosa.



Sl. 111 — Jedan astronom posmatra zvezdani sistem »Mlečni Put«, koji je umanjen za 100,000,000,000,000,000,000 puta. Glava našeg astronoma nalazi se otprilike u onom delu gde se stvarno nalazi naše Sunce.

Na slici III mi pokušavamo da dočaramo našim čitaocima sliku toga kako ova ogromna košnica zvezda ustvari izgleda.

Dosada mi još nismo spomenuli da se naučnijim jezikom sistem Mlečnog Puta zove **Galaksija** (razume se, latinska reč). Veličina Galaksije na slici je smanjena za faktor od oko stotinu milijardi milijardi iako je broj tačaka koje treba da pretstavljaju odvojene zvezde znatno manji od 40 milijardi, zbog, kao što neko spomenu, tipografskih razloga.

Jedno od najkarakterističnijih svojstava ovog ogromnog roja zvezda koje sačinjavaju Galaksiju je to da se nalazi u stanju brze rotacije, slične onoj kojom se kreće naš planetarni sistem. Baš kao što se Venera, Zemlja, Jupiter i druge planete kreću po skoro kružnim putanjama oko Sunca, tako se i milijarde zvezda koje sačinjavaju sistem Mlečnog Puta kreću oko onog što je označeno kao centar Galaksije. Ovaj centar galaktičke rotacije nalazi se u pravcu sazvežđa Sagittariusa (Strelca) i zaista ako pratite magloviti oblik Mlečnog Puta po nebu, primetićete da on postaje mnogo širi kako se približujete tom sazvežđu, što pokazuje da gledate prema centralnom debljem delu našeg sočiva (Naš astronom na slici 111 gleda u tom pravcu).

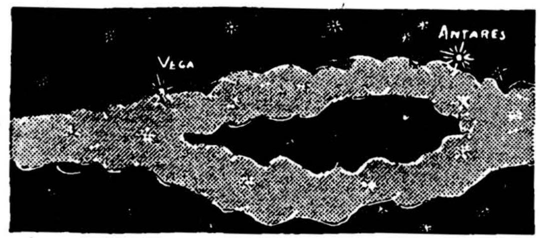
Na šta liči galaktički centar? Mi to ne znamo jer je nažalost zaklonjen od nas teškim oblacima tamne međuzvezdane materije koja lebdi u prostoru. I zaista, gledajući na prošireni deo Mlečnog Puta u pravcu Strelca[1]) vi biste prvo pomislili da se naš mistični nebeski put ovde račva na dva puta »po kojima je vožnja dozvoljena samo u jednom pravcu«. Ali se ne radi tu o račvanju, i ovaj se utisak dobija prosto zbog jednog tamnog oblaka međuzvezdane prašine i gasova koji lebdi u prostoru tačno između nas i galaktičkog centra. Prema tome, dok tamu s obe strane Mlečnog Puta treba pripisati samo pozadini tamnog praznog prostora, zacrnjenje u sredini je proizvedeno tamnim, neprozirnim oblakom. Nekoliko zvezda u tamnom centralnom delu su ustvari ispred njega, dakle između nas i oblaka (Slika 112).

I zaista je šteta što ne možemo da vidimo tajanstveni galaktički centar oko koga kruži naše Sunce zajedno sa milijardama drugih zvezda. Ali na izvestan način, i to posmatranjem drugih zvezdanih sistema i galaksija rasutih u prostoru daleko izvan krajnjih granica našeg Mlečnog Puta, mi ipak znamo kako taj centar mora da izgleda. To nije neka divovska zvezda koja drži u ropstvu sve druge članove zvezdanog sistema, kao što Sunce caruje nad porodicom pla-

[1]) Koji se može videti najbolje za vreme vedre noći ranog leta.

neta. Izučavanje centralnih predela drugih galaksija (o čemu ćemo govoriti malo docnije) pokazuje da se i oni sastoje iz brojnih zvezda, s tom razlikom što su ovde zvezde zbijene gušće nego u drugim predelima gde se nalazi naše Sunce. Ako planetarni sistem zamislimo kao autokratsku državu gde Sunce upravlja planetama, Galaksiju zvezda treba uporediti s nekom vrstom demokratije u kojoj izvesni članovi zauzimaju uticajna centralna mesta, dok se drugi moraju zadovoljiti sa mnogo skromnijim položajima na periferiji društva.

Kao što je gore rečeno, sve zvezde, podrazumevajući tu i naše Sunce, okreću se u ogromnim krugovima oko centra ga-



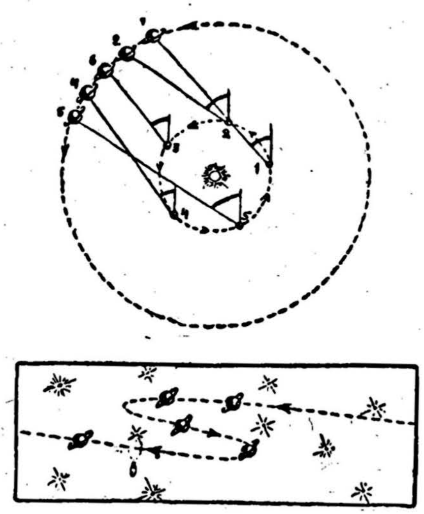
Sl. 112 — Ako pogledamo na centar Galaksije u prvi mah će nam izgledati kao da se mitski nebeski put račva na dva jednosmerna saobraćajna pravca.

laktičkog sistema. Kako se može ovo dokazati, koliki su polu-prečnici tih velikih zvezdanih putanja i koliko je vremena potrebno da se završi jedno kruženje?

Na sva ova pitanja odgovorio je pre nekoliko desetina godina holandski astronom Ort (Oort), koji je primenio na sistem zvezda, poznat pod imenom Mlečni Put, posmatranja slična onima koja je koristio Kopernik u izučavanju planetarnog sistema.

Potsetimo se na Kopernikov argumenat. Još su stari narodi, tj. Vavilonci i Egipćani i drugi, primetili da se velike planete kao Saturn i Jupiter kreću preko neba na prilično čudan način. Izgledalo je kao da se one kreću, kao i Sunce, po putanji oblika elipse, da se odjednom u svom kretanju zaustave, pođu nazad i posle još jedne promene kretanja nastavljaju svoj put u početnom pravcu. Na donjem delu slike 113 pokazujemo shematski kako izgleda kretanje Saturna u toku jedno dve godine (trajanje Saturnovog potpunog obilaska oko Sunca iznosi 29.5 godina). Kako se, usled verskih predrasuda koje su diktirale tvrdnju da je naša Zemlja centar vasione, smatralo da se sve planete, pa čak i Sunce, kreću oko Zemlje, to se i gore opisane osobitosti kretanja moralo protumačiti pretpostavkom da planetarne putanje imaju vrlo čudan oblik sa izvesnim brojem petlji u njima.

Ali je Kopernik drukčije i bolje mislio, pa je jednim genijalnim potezom rastumačio tajanstveno kretanje unazad kao činjenicu da se Zemlja kao i sve druge planete kreću po kružnoj putanji oko Sunca. Ovo tumačenje ranije spome-



Sl. 113 — Efekat iskrivljenja kako ga je rastumačio Kopernik

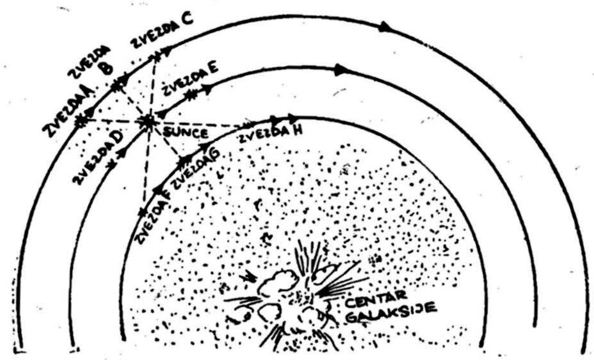
nutog efekta povratka može se lako razumeti gledajući shematsku sliku na vrhu slike 113.

Sunce je u centru. Zemlja (mala sfera) kreće se po malom krugu, a Saturn se (sa prstenom) kreće po većem krugu u istom pravcu kao i Zemlja. Brojevi 1. 2, 3, 4, 5 pretstavljaju razne položaje Zemlje u toku godine i odgovarajuće položaje Saturna, koji se, kao što se sećamo, kreće mnogo sporije. Delovi vertikalnih linija povučeni na razne položaje Zemlje pretstavljaju pravac neke fiksne zvezde. Povlačeći linije od raznih položaja Zemlje do odgovarajućih položaja Saturna, vidimo da ugao između dva pravca (do Saturna i do nepo-

Izlazi, dakle, da pojava pravljenja petlje u kretanju ne pretstavlja neku specijalnu karakteristiku Saturnovog kretanja, već potiče usled činjenice da mi posmatramo ovo kretanje pod raznim uglovima u toku Zemljinog kretanja.

Ortov argumenat o okretanju Galaksije može se razumeti izučavanjem slike 114. Ovde, u donjem delu slike, vidimo centar Galaksije (sa tamnim oblacima i svim ostalim), a oko njega ima puno zvezda rasejanih po čitavoj slici. Tri kruga pretstavljaju putanje zvezda na raznim razdaljinama od centra, od kojih je srednji krug putanja Sunca.

Pretpostavimo osam zvezda (nacrtanih sa zracima da bismo ih razlikovali od ostalih tačaka), od kojih se dve kreću



Sl. 114 — Rotacija galaksija zvezda

po istoj putanji kao i Sunce, ali samo malo ispred ili malo iza njega, dok se druge nalaze na malo većoj ili manjoj putanji koje se takođe vide na slici. Moramo zapamtiti da usled zakona gravitacije (vidi poglavlje V) spoljne zvezde imaju manje, a unutarnje zvezde veće brzine od zvezda na Sunčevoj putanji (ovo je obeleženo na slici strelicama raznih dužina).

Kako će kretanje ovih osam zvezda izgledati ako se posmatra sa Sunca ili, što je isto, sa Zemlje? Ovde govorimo o kretanju u pravcu linije gledanja, koje se može najbolje izučavati pomoću takozvanog Doplerovog efekta[2]). Očevidno je, pre svega, da će dve zvezde (obeležne sa D i E) koje se

[2]) Za opis Doplerovog efekta vidi strani 302.

kreću po istoj putanji i istom brzinom kao i Sunce izgledati kao da se uopšte ne kreću u odnosu na posmatrača sa Sunca ili Zemlje. To isto važi i za zvezde (B i G) koje se nalaze na poluprečniku, pošto se kreću paralelno sa Suncem tako da nemaju komponentne brzine u pravcu linije gledanja.

A kako stoji sa zvezdama A i C na spoljnjem krugu? Pošto se obe kreću sporije od Sunca, mi moramo zaključiti, kao što se i vidi na slici, da zvezda A zaostaje, dok Sunce sustiže zvezdu C. Razdaljina od zvezde A će rasti, dok će se razdaljina od zvezde C smanjivati, i svetlost koja dolazi od ove zvezde moraće da pokaže crveni, odnosno ljubičasti Doplerov efekat. Situacija zvezda F i H iz unutarnjeg kruga biće obratna, pa ćemo otuda imati ljubičasti Doplerov efekat za F i crveni za H.

Pretpostavlja se da ova opisana pojava može biti prouzrokovana samo kružnim kretanjem zvezda, i da nam postojanje kružnog kretanja omogućuje ne samo da dokažemo tu pretpostavku već i da procenimo poluprečnik zvezdanih putanja i brzinu kretanja zvezda. Skupljajući materijal o utvrđenom prividnom kretanju zvezda na svim područjima neba, Ort je bio u stanju da dokaže da očekivana pojava crvenog i ljubačastog Doplerovog efekta zaista postoji, što nesumnjivo dokazuje rotaciju Galaksije.

Na sličan se način može dokazati da efekat rotacije Galaksije utiče i na prividne brzine zvezda koje stoje upravno na pravac gledanja. Iako ova komponenta brzine pretstavlja mnogo veće teškoće za precizno merenje (pošto čak i velike linearne brzine udaljenih zvezda odgovaraju veoma malim ugaonim pomeranjima na nebeskoj sferi) ipak su ga Ort i drugi izmerili.

Precizno merenje Ortovog efekta kretanja zvezda omogućuje da se mogu meriti putanje zvezda i utvrditi periodi rotacije. Ovim metodom računanja utvrđeno je da poluprečnik Sunčeve putanje, čiji je centar kod Strelca (Sagittariusa), iznosi 300.000 svetlosnih godina, tj. dve trećine poluprečnika krajnje putanje čitavog galaktičkog sistema. Vreme za koje Sunce obiđe ceo krug oko centra Galaksije iznosi oko 200 miliona godina. To je veoma dugo vreme, ali ako zapamtimo da je starost našeg zvezdanom sistema oko 3 milijarde godina, videćemo da je u toku čitavog svog života naše Sunce i porodica planeta izvršila svega dvadeset potpunih rotacija. Ako, pridržavajući se terminologije zemljinog kretanja, mi nazovemo ovu Sunčevu rotaciju »sunčevom godinom«, možemo da kažemo da je naša vasiona stara 20 godina. I zaista, stvari se događaju sporo u svetu zvezda, pa je Sunčeva godina pogodna jedinica za merenje vremena u istoriji vasione.

3. Ka granicama nepoznatog

Kao što smo već rekli, naša Galaksija nije jedino izolovano društvo zvezda koje plovi u ogromnom prostoru vasione. Pomoću teleskopa utvrđeno je u dalekom prostoru postojanje mnogih ogromnih grupa zvezda, vrlo sličnih ovoj kojoj pripada Sunce. Najbliža od tih grupa, čuvena Andromedina maglina, može se videti čak i golim okom. Izgleda nam kao mala, jedva vidljiva izdužena maglina. Na fotografiji VII A i B vide se snimci, snimljeni kroz veliki teleskop na opservatoriji Mt. Vilson, dvaju takvih nebeskih tela. Dva tela koja se vide na tim fotografijama jesu: maglina u Bereničinoj Kosi (Coma Berenices), koja se vidi s boka, i maglina u Velikom Medvedu (Ursa Major), koja se vidi odozgo. Vidimo da, kao deo karakterističnog sočivastog oblika koji pripisujemo našoj Galaksiji, ove magline imaju tipičnu spiralnu strukturu; odatle im ime spiralne magline. Postoje mnoge indicije da je struktura našeg zvezdanog sistema slična spirali, ali je vrlo teško utvrditi oblik jedne strukture kad ste u njoj. Ustvari naše Sunce se verovatno nalazi na samom kraju jedne od spiralnih grana »Velike magline Mlečnog Puta«.

Dugo vremena astronomi nisu shvatali da su spiralne magline ustvari ogromni zvezdani sistemi slični našem Mlečnom Putu, i mešali su ih sa običnim difuznim maglinama kao što je ona u sazvežđu Oriona, koja pretstavlja ogromne oblake međuzvezdane prašine koji lebde između zvezda unutar naše Galaksije. Docnije je, međutim, utvrđno da ovi magloviti spiralni predmeti nisu magla, već da se sastoje iz zvezda koje se, pod velikim povećanjem, mogu videti kao male tačke. Ali one su tako daleko da nikakvo merenje paralaksa ne može dati njihovu stvarnu razdaljinu.

Na taj način na prvi pogled izgleda kao da smo došli do granice našeg metoda merenja nebeskih razdaljina. Ali ne. Kad u nauci dođemo do nekakve nepremostive teškoće, ona ostaje takvom samo privremeno; uvek se nešto dogodi što nam omogućuje da idemo još dalje. Harvardski astronom Herlo Šepli (Harlow Shapley) našao je za ovaj problem novi »aršin« u takozvanim pulsirajućim zvezdama ili Cefeidama (Cepheides).[3])

Postoje razne vrste zvezda. Dok većina njih sjaje tiho na nebu, ima ih nekoliko koje stalno menjaju svoju jačinu osvetljenja: sa jačeg na slabije, sa slabijeg na jače, u vremenski određenim razmacima. Ogromna tela ovih zvezda pulsiraju ritmično kao srce čoveka i sa pulsiranjem imamo i periodične promene u njihovom sjaju.[4])

Što je veća zvezda to je duži period pulsiranja, isto kao što je jednom dugom klatnu potrebno više vremena nego kratkom da završi jednu oscilaciju. Zaista male zvezde ovakve vrste (to jest u zvezdanom smislu male) završe jednu pulsaciju u toku nekoliko sati, dok za džinove prođe mnogo meseci pre nego što završe jednu pulsaciju. Ali pošto su veće zvezde u isto vreme i sjajnije, postoji očevidno jedna korelacija između perioda pulsiranja zvezda i prosečnog sjaja zvezde. Ovaj se odnos može utvrditi posmatranjem Cefeida koje su nam dovoljno blizu da im se može neposredno izmeriti udaljenost, pa, prema tome, i stvarni sjaj.

Ako, dakle, nađete jednu pulsirajuću zvezdu koja leži van granica paralaktičkog merenja, sve što morate učiniti to je da je posmatrate kroz teleskop i izmerite vreme njenog pulsiranja. Ako znate taj period, vi ćete znati i njen stvarni sjaj, pa ćete upoređivanjem sa prividnim sjajem moći da utvrdite odmah koliko je udaljena. Ovaj zaista interesantan metod uspešno je upotrebio Šepli za merenje naročito velikih razdaljina u Mlečnom Putu, a taj metod je bio vrlo koristan i u proceni opštih dimenzija našeg zvezdanog sistema.

Kad je Šepli primenio isti metod u merenju razdaljine do pulsirajućih zvezda u ogromnom telu Andromedine magline, on je naišao na nešto zaista iznenađujuće. Razdaljina od Zemlje do tih zvezda, koja, razume se, mora biti jednaka našoj razdaljini od Andromedine magline, iznosila je 680.000 svetlosnih godina — tj. mnogo, mnogo više nego prečnik zvezdanog sistema Mlečnog Puta. A veličina Andromedine magline pokazala se nešto malo manja od veličine čitave Galak-

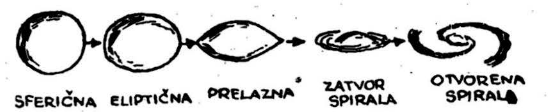
[3]) Nazvane tako po zvezdi δ Cephi, kod koje je prvi put primećena pojava pulsiranja.

[4]) Ne treba brkati ove zvezde koje pulsiraju sa takozvanim pomrčinskim promenljivim zvezdama, koje su ustvari dve zvezde koje se okreću jedna oko druge i periodično jedna drugu pomračuje.

sije. One dve spiralne magline koje vidite na našim fotografijama još su udaljenije, a njihovi prečnici su približno isti kao i kod Andromede.

Ovo otkriće zadalo je smrtni udarac ranijim pretpostavkama da su spiralne magline relativno »male stvari« koje leže unutar naše Galaksije, i time je utvrđeno da su to nezavisne galaksije slične našem sistemu, Mlečnom Putu. Nijedan astronom danas više ne sumnja da bi za jednog posmatrača koji se nalazi na nekoj maloj planeti koja kruži oko jedne od milijarda zvezda koje sačinjavaju veliku Andromedinu maglinu naš Mlečni Put izgledao slično onome kako nama izgleda Andromedina maglina.

Dalja izučavanja ovih udaljenih zvezdanih zajednica, kojima nas je zadužio uglavnom Dr. E. Habl (Hubble), čuveni posmatrač galaksija sa Mt. Vilson opservatorije, otkrivaju veliki broj činjenica od velike važnosti i zanimljivosti. Pre svega, utvrđeno je da galaksije, koje izgledaju daleko broj-



Sl. 115 — Razne faze normalne evolucije galaksije

nije kad se gledaju kroz jedan dobar teleskop nego što to izgledaju obične zvezde gledane golim okom, nemaju neophodno spiralan oblik, već pretstavljaju veliku raznovrsnost tipova. Postoje **sferične galaksije** koje izgledaju kao veliki kolutovi sa maglovitim ivicama; postoje **eliptičke galaksije** sa raznim stepenima izduženja. Spiralne magline se razlikuju jedna od druge po tome »koliko su jako navijene«. Postoje takođe i vrlo čudni oblici poznati kao »spirale sa prečkom«.

Najvažnija je činjenica u vezi s tim da se sve ove vrste oblika galaksija mogu poređati u jedan pravilan niz (slika 115), koji verovatno odgovara raznim etapama evolucije ovih ogromnih zvezdanih zajednica.

Iako se mi nalazimo još daleko od toga da razumemo detalje evolucije galaksija, izgleda vrlo verovatno da je ona prouzrokovana procesom postepene kontrakcije. Poznato je da kontrakcija jednog sferičnog tela, koje se sporo okreće, a nalazi se u gasnom stanju, izaziva povećanje njegove brzine okretanja, što mu daje oblik jednog zgnječenog elipsoida. U jednoj fazi kontrakcije, kada poluprečnik u polarnom pravcu u odnosu na ekvatorijalni poluprečnik iznosi 7/10, ovo telo u rotaciji mora primiti sočivast oblik sa oštrom ivicom na ekvatoru. U toku dalje kontrakcije zadržava se ovakav sočivast oblik, ali gasovi koji sačinjavaju ovo telo u rotaciji počinju da teku u okolni prostor duž cele oštre ekvatorijalne ivice, dovodeći do stvaranja jednog tankog sloja gasa u ekvatorijalnoj ravni.

Sve gore navedene tvrdnje dokazane su matematički od strane čuvenog engleskog fizičara i astronoma Džems Džinsa (James Jeans) za jednu sferu gasa koji se nalazi u rotaciji, ali se mogu takođe primeniti bez promena i na ogromne magline zvezda koje nazivamo galaksije. I zaista, takvu grupaciju milijardi zvezda kao što je jedna galaksija možemo da smatramo kao jedan oblak gasa u kome pojedine zvezde igraju ulogu molekula.

Kad bismo uporedili teoriska računanja Džinsa sa Hablovom empiričkom klasifikacijom galaksija, videli bismo da te ogromne zvezdane zajednice preživljuju tačno onu evoluciju o kojoj govori teorija. Posebno bismo našli da je najrazvučeniji oblik eliptičke magline onaj koji odgovara odnosu poluprečnika od 7/10 i da je to prvi slučaj kad primećujemo oštru ekvatorijalnu ivicu. Spirale koje se razvijaju u docnijim etapama evolucije nastaju od materije izbačene u toku brze rotacije, iako dosada nemamo zadovoljavajućeg tumačenja zašto se i kako stvaraju te spiralne forme i u čemu je razlika između jednostavne spirale i one sa prečkom.

Još ima mnogo toga da se nauči daljim izučavanjem strukture, kretanja i zvezdanog sadržaja raznih delova galaktičkih društava zvezda. Jedan astronom Mt. Vilson-a, Bad (W. Baade), došao je do interesantnog rezultata. On je dokazao da se centralni delovi (jezgra) spiralnih maglina sastoje iz istih zvezda kao i sferične i eliptične galaksije, dok se same grane spirala pokazuju sastavljene iz znatno različite vrste zvezdanog stanovništva. Ovaj poslednji tip zvezda razlikuje se od zvezda u centralnom delu prisustvom vrlo toplih i sjajnih zvezda, tzv. »plavih džinova«, kojih nema u centralnim područjima kao ni u sferičnim i eliptičnim galaksijama. Pošto Plavi džinovi verovatno pretstavljaju, kao

što ćemo videti docnije (poglavlje XI), tek nastale zvezde, razumno je pretpostaviti da su spiralne grane takoreći područja stvaranja novih zvezdanih populacija. Može se zamisliti da se veliki deo materije koji je izbačen iz ekvatorijalnog dela jedne eliptične galaksije koja se sužava, sastoji iz prvobitnih gasova koji izlaze u hladni međugalaktički prostor, kondenzuje se u odvojene hrpe materije koje daljom kontrakcijom postaju vrlo tople i vrlo sjajne.

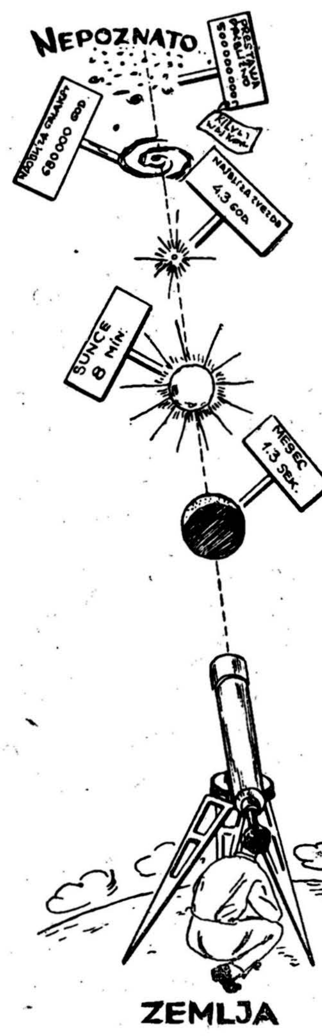
U XI poglavlju mi ćemo se vratiti problemima rađanja i života zvezda, ali sada treba da razmotrimo problem opšte distribucije galaksija kroz prostor vasione.

Ovde moramo reći, pre svega, da se metod merenja razdaljina pomoću pulsirajućih zvezda, iako daje odlične rezultate kad se primenjuje na veliki broj galaksija koje leže u blizini našeg Mlečnog Puta, ne može primeniti čim počnemo da prodiremo dublje u prostor jer uskoro dostižemo razdaljine na kojima se odvojene zvezde u galaksijama ne mogu razlikovati i galaksije izgledaju, gledane čak i najjačim teleskopima, kao male izdužene maglinice. Od te tačke mi se moramo oslanjati samo na prividnu veličinu, jer je prilično tačno utvrđeno da su sve galaksije jednog određenog tipa, za razliku od zvezda, otprilike iste veličine. A ako znate da su svi ljudi iste visine, da nema džinova ili patuljaka, vi možete uvek reći, na osnovu posmatranja, prividnu veličinu nekog čoveka, koliko je on udaljen od vas.

Ovim metodom za procenu razdaljina u dalekim prostorima dr. Habl je uspeo da dokaže da se galaksije prostiru manje-više ravnomerno kroz prostor dokle god naše oko (pojačano najmoćnijim teleskopima) može da vidi. Kažem manje-više pošto se u mnogim slučajevima galaksije skupljaju u velike grozdove brojeći po nekoliko hiljada članova isto onako kao što se i odvojene zvezde skupljaju u galaksije.

Naša sopstvena galaksija — Mlečni Put — je, kako izgleda, član jedne srazmerno male grupe galaksija koja obuhvata tri spiralne (računajući tu i našu i Andromedinu maglinu), 6 eliptičnih i 4 nepravilne magline (od kojih su dve Magelanovi oblaci).

Izuzimajući slučaj takvog mestimičnog gomilanja, galaksije se, međutim, posmatrane kroz teleskop od 2,5 m opservatorije Mt. Vilson, prostiru prilično ravnomerno kroz prostor na razdaljini od nekih 500,000.000 svetlosnih godina.



Sl. 116 — Kilometarski stubovi kosmičkog istraživanja; razdaljine su izražene u svetlosnim godinama.

Prosečna razdaljina između susednih galaksija je oko dva miliona svetlosnih godina, a vidljivi horizonti vasione sadrže oko 100,000.000 odvojenih zvezdanih svetova.

U našoj staroj analogiji, u kojoj je Empajr Steit oblakoder simbolisan bakterijom, Zemlja zrnom graška, Sunce bundevom, galaksije se mogu pretstaviti ogromnim rojevima od nekoliko milijardi bundeva raspoređenih grubo u granicama putanje Jupitera, a odvojeni grozdovi bundeva rasejani kroz jednu sferičnu zapreminu sa poluprečnikom svega nešto manjim od razdaljine do najbliže zvezde. Doista, vrlo je teško naći odgovarajuću skalu za kosmičke razdaljine, jer i kad smanjimo Zemlju na veličinu zrna graška, veličina poznate vasione ispoljava se u astronomskim brojevima. Na slici 116 pokušavamo da vam stvorimo pretstavu o tome kako su astronomi korak po korak napredovali u svome istraživanju kosmičke razdaljine, od Zemlje do Meseca, do Sunca, do zvezda, do udaljenih galaksija i ka granicama nepoznatog.

Sada smo spremni da odgovorimo na osnovno pitanje o veličine naše vasione. **Treba li smatrati da se vasiona proteže u beskonačnost i zaključiti da će veći i bolji teleskopi uvek omogućiti ispitivačkom oku jednog astronoma da otkrije uvek nove i dosada neistražene predele prostora, ili treba da verujemo, suprotno tome, da vasiona zauzima neki veliki, ali ipak ograničeni prostor, i da je možemo istražiti, bar u principu, sve do poslednje zvezde?**

Kad govorimo o mogućnosti da je naša vasiona »konačne veličine«, mi time ne mislimo reći, razume se, da će negde, na udaljenosti od nekoliko milijardi svetlosnih godina, istraživač prostora naići na beo zid na kome piše »Pristup zabranjen«.

Mi smo, ustvari, videli u poglavlju III da **prostor može biti konačan a da ne bude neophodno ograničen.** Prostor se može jednostavno kriviti i »zatvoriti sam u sebe«, tako da će jedan zamišljeni istraživač prostora koji pokušava da upravlja svojom raketom što je moguće pravije opisati jednu geodetsku liniju u prostoru, pa će doći nazad na polaznu tačku.

To bi bilo, razume se, vrlo slično kao kad bi jedan stari grčki istraživač otputovao na zapad iz svog rodnog grada Atine, i, posle dugoga puta, primetio da ulazi kroz istočne kapije grada.

Isto kao što se krivina površine Zemlje može utvrditi bez ikakvog puta oko sveta, prosto izučavanjem geometrije jednog njenog relativno malog dela, pitanje krivine trodimenzionalnog prostora vasione može se rešiti sličnim merenjima u granicama dometa današnjih teleskopa. U poglavlju

V smo videli da treba razlikovati dve vrse krivina: pozitivnu krivinu koja odgovara zatvorenom prostoru konačne zapremine i negativnu krivinu koja odgovara sedlastom obliku otvorenog beskonačnog prostora (sl. 42). Razlika između ove dve vrste prostora leži u tome što se u **zatvorenom prostoru** broj ravnomerno raspodeljenih predmeta na jednoj datoj razdaljini od posmatrača povećava sporije od kuba te razdaljine, dok u **otvorenom prostoru** imamo obrnut slučaj.

U našoj vasioni ulogu »ravnomerno raspodeljenih predmeta« igraju odvojene galaksije, i sve što treba da uradimo da bismo rešili problem krivine vasione to je da brojimo pojedine galaksije koje se nalaze na raznim daljinama od nas.

Dr. Habl je izvršio takvo brojanje i otkrio da **broj galaktika izgleda da raste nešto malo sporije od kuba razdaljine, pokazujući na taj način pozitivnu krivinu i konačnost prostora.** Treba napomenuti, međutim, da je efekat koji je utvrdio dr. Habl vrlo mali i da postaje primetan tek na granici razdaljine koja se može posmatrati kroz teleskop od dva i po metra na Mt. Vilsonu, pa se možemo nadati da će posmatranja sa novim reflektorima od 5 m. na planini Palomar baciti novu svetlost na ovaj važni problem.

Drugi faktor koji doprinosi neodređenosti definitivnog odgovora na problem konačnosti naše vasione leži u činjenici da se razdaljine dalekih galaksija moraju procenjivati isključivo na osnovu njihovog prividnog sjaja. (Zakon obrnutog kvadrata). Ovaj metod, koji pretpostavlja da sve galaksije imaju isti srednji sjaj, može, međutim, da dovede do pogrešnih rezultata ako se sjaj pojedinih galaksija menja vremenom, pokazujući da sjaj zavisi od starosti. Treba zapamtiti da su najudaljenije galaksije koje se vide kroz teleskop Mt. Vilsona 500,000.000 svetlosnih godina daleko i da ih mi prema tome vidimo u stanju u kome su bile pre 500,000.000 godina. Ako sjaj galaksije slabi kada one postaju starije (usled, verovatno, sve manjeg broja aktivnih zvezdanih tela, jer pojedini članovi izumiru) zaključke do kojih je došao Habl treba ispraviti. I zaista, promena u sjaju galaksija za svega jedan mali postotak u toku od 500,000.000 godina (tj. za svega jedan sedmi deo njihove celokupne starosti) opovrgao bi sadašnji zaključak da je vasiona konačna.

I tako dolazimo do zaključka da je potrebno još mnogo rada pre nego što zaključimo da li je naša vasiona konačna ili beskonačna.

Poglavlje XI

DANI STVARANJA

1. Rađanje planeta

Za nas koji živimo u sedam delova sveta (ubrojivši ovde i admirala Berda na Antarktiku) izraz »čvrsto tle«, praktično je sinonim sa idejom stabilnosti i krajnosti. Što se tiče nas, sve poznate pojave Zemljine površine, njeni okeani i kontinenti, planine i reke mogli su da postoje od početka vremena. Tačno je da podaci istoriske geologije ukazuju na to da se Zemljino lice postepeno menja, da velike površine kontinenata mogu biti potopljene vodama okeana, dok se potopljene površine mogu uzdignuti.

Mi takođe znamo da se stare planine postepeno spiraju dejstvom kiša i da se nove planine s vremena na vreme dižu kao rezultat tektonskog dejstva, ali da su sve ove promene još uvek promene čvrste kore naše Zemlje.

Nije, međutim, teško uvideti da je moralo biti vreme kada takva čvrsta kora uopšte nije postojala i kada je naša Zemlja bila usijana sfera rastopljenih stena. Ustvari, izučavanje unutrašnjosti Zemlje pokazuje da je većina njenog tela još uvek u rastopljenom stanju i da je »čvrsto tle« o kome mi tako lako govorimo ustvari samo jedan relativno tanak sloj koji plovi na površini rastopljene materije. Najjednostavniji način da se dođe do tog zaključka je da se potsetimo da temperature merene na raznim dubinama pod površinom Zemlje rastu brzinom od oko 30 stepeni po kilometru dubine, tako da su u najdubljem rudniku na svetu (rudnik zlata u Robinson Dipu — Južna Afrika) zidovi tako vrući da je morala biti uspostavljena centrala za rashlađivanje vazduha da bi se sprečilo da rudari budu živi sprženi.

Povećavajući se takvom brzinom, temperatura zemlje mora doseći tačku topljenja stenja (između 1200 i 1800°C) na dubini od oko 50 km. pod površinom, tj. na rastojanju koje je manje od 1% od celokupne razdaljine do centra. Sav materijal ispod toga, koji sačinjava 97% Zemljinog tela, mora biti u potpuno rastopljenom stanju.

Očevidno je da takvo stanje nije moglo uvek da postoji i da mi još uvek posmatramo izvesnu etapu procesa postepenog hlađenja koji je počeo kad je Zemlja bila potpuno rastopljeno telo, a završiće se negde u dalekoj budućnosti sa potpunim stvrdnjavanjem Zemljinog tela sve do centra. Jedna gruba procena brzine hlađenja i stvaranja čvrste kore ukazuje na to da je proces hlađenja morao početi pre nekoliko milijardi godina.

Do iste brojke se dolazi procenom starosti stena koje sačinjavaju Zemljinu koru. Iako na prvi pogled stene ne pokazuju neke promenljive osobine, dajući time osnove za izraz »nepromenljiv kao stena«, mnoge od njih sadrže neku vrstu prirodnoga časovnika, koji pokazuje iskusnom oku jednoga geologa dužinu vremena koje je proteklo od časa kad su se one stvorile, menjajući time svoje nekadašnje rastopljeno stanje.

Ovaj geološki časovnik sastoji se iz malih količina urana i torijuma, koje se često nalaze u raznim stenama na površini i na raznim dubinama Zemlje. Kao što smo videli u poglavlju VII, atomi tih elemenata podvrgnuti su sporom spontanom radioaktivnom raspadanju koje se završava formiranjem stabilnog elementa olova.

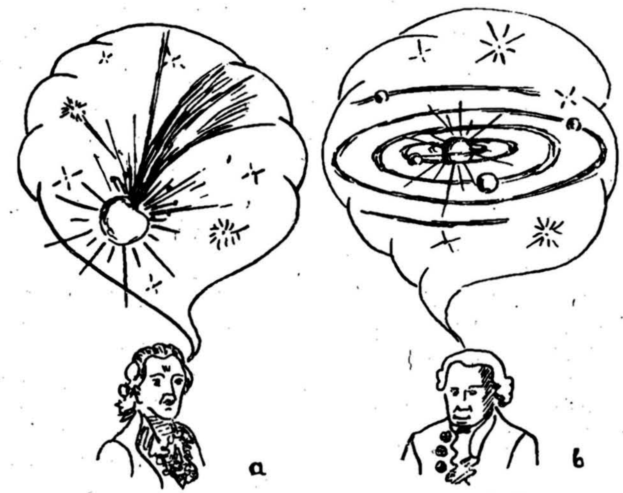
Da bi se utvrdila starost jedne stene koja sadrži ove radioaktivne elemente, potrebno je samo izmeriti količinu olova koja se nagomilala u toku vekova kao posledica radioativnog raspadanja.

Ustvari sve dok je građa stene bila u rastopljenom stanju, proizvodi radioaktivnog raspadanja mogli su oticati sa mesta njihovog postanka procesom difuzije i konvekcije u rastopljenom materijalu. Ali čim se materijal stvrdnuo u stenu, odmah je moralo početi gomilanje olova, pored radioaktivnog elementa. Količina olova može da nam da tačnu pretstavu koliko je dugo taj proces trajao, isto kao što su relativni brojevi praznih konzervi piva razbacanih među palmama na dva ostrva Tihog Okeana, mogli poslužiti jednom špijunu da proceni koliko je vremena jedan garnizon američke vojske prebivao na svakom od ta dva ostrva.

Opšti rezultat pregleda akumulacije olova ukazuje na jednu veoma važnu činjenicu: **da nijedna stena ne pokazuje starost koja bi bila veća od dve milijarde godina** (najstarije poznate stene su one iz Karelije, Finske, 1,850.000.000 godina stare i iz Blek Hils-a (Black Hilss) — Južna Dakota 1,460.000.000 godina stare) na osnovu čega moramo zaključiti da je **čvrsta zemljina kora morala nastati pre oko dve milijarde godina iz građe koja je pre toga bila u rastopljenom stanju.**

Zemlju od pre dve milijarde godina možemo stoga da zamislimo kao jedan potpuno rastopljeni sferoid opkoljen gustom atmosferom vazduha, vodene pare i verovatno drugih veoma isparljivih supstanci.

Kako je nastao ovaj užareni komad kosmičke materije, koje su sile prouzrokovale njegovo formiranje i odakle je potekla građa za njegovu konstrukciju? Ova pitanja o nastanku našega globusa, kao god i svih drugih planeta našeg sunčanog sistema, pretstavljaju predmet ispitivanja kosmogonije



a BIFONOVA HIPOTEZA SUDARA

b KANTOVA HIPOTEZA SA PRSTENOVIMA

Sl. 117 — Dva pravca mišljenja u kosmogoniji

(teorija o nastanku vasione). Te zagonetke su bile predmet rada astronoma u toku mnogih vekova.

Prvi pokušaj da odgovori na ta pitanja naučnim metodom učinio je godine 1749 čuveni francuski prirodnjak Bifon, u jednom od 44 toma svoje **Prirodne istorije.** Bifon je smatrao da je planetarni sistem nastao kao rezultat sudara između Sunca i jedne komete koja je došla iz dubina međuzvezdanog prostora. Njegova mašta opisala je jednu živu sliku kako »comèt fatale« sa dugačkim sjajnim repom briše površinu našeg, u to doba usamljenog Sunca, čupajući iz njegovog divovskog tela mali broj »kapljica«, koje su usled sile sudara, vrteći se, odletele u prostor. (Slika 117a).

Čuveni nemački filozof Imanuel Kant je nekoliko desetina godina docnije formulisao potpuno različite poglede o nastajanju planetarnog sistema. Kant je bio više sklon da misli da je Sunce stvorilo svoj planetarni sistem samo od sebe, bez intervencije makojeg drugog nebeskog tela. Kant je zamislio da je Sunce na početku bilo jedna ogromna, relativno hladna masa gasa koja je zauzimala zapreminu čitavog današnjeg planetarnog sistema, i koja se polako okretala oko svoje ose. Stalno hlađenje te sfere putem zračenja u susedni prazni prostor moralo je dovesti do njene postpene kontrakcije i do odgovarajućeg povećanja rotacione brzine. Povećanje centrifugalne sile usled rotacije moralo je da dovede do postepenog spljoštavanja gasnoga tela prvobitnog sunca. Kao posledica toga došlo je do izbacivanja serije gasnih prstenova duž Sunčevog ekvatora (slika 117b). Takvo nastajanje prstenova od masa koje se okreću može se dokazati klasičnim eksperimentom koji je obavio Plato (Plateau). U tom eksperimentu jedna velika sfera ulja (ne radi se o gasu kao što je bio slučaj kod Sunca) koja se drži u jednoj drugoj tečnosti iste gustine i koja je stavljena u brzu rotaciju nekim mehaničkim uređajem počinje da stvara prstene ulja oko sebe kada brzina rotacije pređe jednu izvesnu granicu. Prsteni nastali na taj način su se docnije, smatra se, razbili i kondenzovali u razne planete koje kruže oko Sunca na raznim razdaljinama od Sunca.

Ova gledišta je docnije prihvatio i razvio čuveni francuski matematičar Laplas (Pjer Simon, Markiz de Laplace), i objavio ih 1796 godine u svojoj knjizi **Exposition du système du mond.** Iako je bio veliki matematičar, Laplas nije pokušao da matematički obradi ove ideje, već se ograničio na jednu popularnu kvalitativnu diskusiju teorije.

Kada je 60 godina docnije engleski fizičar Klerk Maksvel (Clerk Maxwell) pokušao da da **takvo matematičko** tretiranje, kosmogonska gledišta Kanta i Laplasa udarila su o zid prividno nepremostivih protivurečnosti. Kad bi materijal koji je sada koncentrisan u raznim planetama sunčanog sistema bio jednako raspoređen kroz čitav prostor koji taj sistem zauzima, pokazalo se da bi takva distribucija materije ovu razredila do tog stepena da gravitaciona sila apsolutno ne bi

bila u stanju da je sakupi u odvojene planete. Stoga bi prsteni koje Sunce izbacuje uporedo s tim kako se kontrahuje zauvek ostali kao prsteni, slično prstenu Saturna. A za Saturn se zna da se njegovi prsteni sastoje iz bezbroj malih čestica koje se kreću po kružnim putanjama oko ove planete i koje ne pokazuju nikakvu tendenciju da se »koagulacijom« pretvore u jedan čvrst satelit.

Jedini izlaz iz ove teškoće leži u pretpostavci da je prvobitna ljuska oko Sunca sadržavala mnogo više materije, bar sto puta više nego što mi sada nalazimo u planetama, i da je većina ove materije pala na Sunce ostavljajući oko 1% za tela planeta.

Takva pretpostavka, međutim, dovela bi do jedne druge i ništa manje ozbiljne protivurečnosti. I zaista ako je toliko materijala, koji se prvobitno morao okretati istom brzinom kao i planete, palo na Sunce, taj materijal bi predao Suncu ugaonu brzinu 5 hiljada puta veću od one koju ono sad ima. A kad bi to bilo tačno, Sunce bi se okretalo brzinom od sedam revolucija na sat umesto jedne na svake četiri nedelje približno.

Izgledalo je kao da su ova razmatranja udarila glogov kolac gledištima Kanta i Laplasa i oči astronoma okretale su se u drugom pravcu. Bifonova teorija sudara ponovo je oživljena radovima američkih naučnika T. C. Čembrlena (Chamberlin) i F. R. Moltona (Moulton) i čuvenog engleskog naučnika Džems Džinsa. Razumljivo je da su gledišta Bifona znatno modernizovana izvesnim osnovnim znanjem stečenim odonda kad su ta gledišta bila formulisana. Uverenje da je kometa bila to nebesko telo koje se sudarilo sa Suncem odbačeno je, jer se dotada već saznalo da je masa jedne komete zanemarljivo mala čak i kad se uporedi sa masom Meseca. Tako se sada poverovalo da to drugo telo treba da bude neka druga zvezda, po veličini i masi slična Suncu.

Međutim, obnovljena teorija kolizije, koja je u onom času izgledalo da pretstavlja jedini izlazak iz osnovnih teškoća teorije Kanta i Laplasa, takođe se zaglibila. Bilo je vrlo teško razumeti zašto se delovi Sunca koji su izleteli iz njega usled jakog udara koji mu je zadala jedna druga zvezda kreću skoro po kružnim putanjama kojima se kreću sve planete, umesto da opisuju izdužene eliptične putanje.

Da bi se našao izlaz iz te situacije, bilo je potrebno pretpostaviti da je u času stvaranja planeta sudarom sa jednom prolaznom zvezdom Sunce bilo okruženo jednom gasnom ljuskom koja se polako okretala, što je pomoglo da se prvobitno izdužene planetarne putanje pretvore u krugove. Kako se zna da takav medium ne postoji u predelu koji danas zauzimaju planete, pretpostavljeno je da je taj gas postepeno otekao u međuzvezdani prostor, i da je onaj vrlo slabi sjaj poznat pod imenom **»zodijačka svetlost«**, koja se sada prostire od Sunca u ravni ekliptike, sve što je ostalo od one slavne prošlosti. Ali ova slika, koja pretstavlja neku vrstu mešavine između Kant-Laplasove pretpostavke o prvobitnoj gasnoj ljuski oko Sunca i Bifonove hipoteze o sudaru, bila je takođe vrlo nezadovoljavajuća. Međutim, kao što kaže poslovica, treba uvek birati između dva zla, i hipoteza o sudaru prihvaćena je kao korektno objašnjenje porekla planetarnog sistema i korišćena sve doskora u svim naučnim udžbenicima, studijama i popularnoj literaturi (uključivši tu i dve knjige ovog istog autora: **Rađanje i smrt Sunca**, 1940 i **Biografija Zemlje**, 1941.).

Tek ujesen 1943 godine mladi nemački fizičar C. Vajcseker (Weizsäcker) presekao je Gordijev čvor planetarne teorije. Služeći se novim podacima nedavnih astrofizičkih istraživanja, on je dokazao da sve stare primedbe na Kant-Laplasovu hipotezu mogu biti lako otklonjene i da se, radeći u tom pravcu, može izgraditi detaljna teorija nastajanja planeta i protumačiti mnoge strane planetarnog sistema koje nisu bile ni dirnute starim teorijama.

Glavna tačka Vajcsekerovog rada leži u činjenici da su u toku poslednje dve decenije astrofizičari potpuno promenili mišljenje o hemiskom sastavu materije u vasioni. Pre toga je vladalo opšte uverenje da se Sunce i sve zvezde sastoje iz istog procenta hemiskih elemenata kao i Zemlja. Geohemiska analiza nas uči da se telo Zemlje sastoji uglavnom iz kiseonika (u obliku raznih oksida), silicijuma, gvožđa i manjih količina drugih težih elemenata. Laki gasovi kao što su vodonik i helijum (zajedno sa tako zvanim retkim gasovima kao što su neon, argon itd.) postoje na Zemlji u veoma malim količinama[1]).

[1]) Vodonik se nalazi na našoj planeti uglavnom u jedinjenju sa kiseonikom u vodi. Ali svako zna da je celokupna masa vode vrlo mala u poređenju sa čitavom masom naše zemlje, iako voda pokriva $^{3}/_{4}$ Zemljine površine.

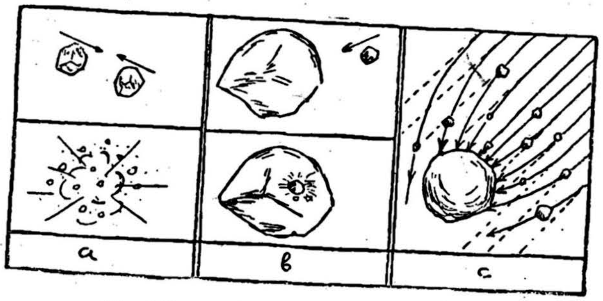
U otsustvu jačih dokaza, astronomi su morali da pretpostave da su ovi gasovi vrlo retki i u telu Sunca i drugih zvezda. Međutim, detaljna teoriska izučavanja strukture zvezda navela su danskog astrofizičara B. Strömgrena na zaključak da je ta pretpostavka sasvim pogrešna i da, ustvari, bar 35% materijala našeg Sunca mora biti čisti vodonik. Docnije je ova procena povećana na 50%, pa je utvrđeno i to da znatni procenat sunčevih sastojaka sačinjava helijum. Kako teoriska izučavanja unutrašnjosti Sunca (koja su nedavno krunisana važnim radom M. Švarcšilda (Schwartzschild) tako i razvijena spektroskopska analiza njegove površine doveli su astrofizičare do iznenađujućeg zaključka da: **najčešći hemiski elementi koji sačinjavaju Zemlju pretstavljaju svega 1% sunčeve mase, dok je ostatak otprilike podjednako raspodeljen između vodonika i helijuma, sa nešto malo većim procentom prvoga.** Kako izgleda, ova analiza odgovara i sastavu drugih zvezda.

Dalje, poznato je da **međuzvezdani prostor nije sasvim prazan,** već je ispunjen mešavinom gasa i fine prašine čija je **srednja gustina 1 mlg. materije na oko 4,800.000 mm³ prostora,** i da ovaj difuzni, visoko razređeni materijal kako izgleda ima isti hemiski sastav kao Sunce i druge zvezde.

Uprkos njegove neobično niske gustine, prisustvo ove međuzvezdane materije se može lako dokazati jer proizvodi primetnu apsorbciju svetlosti zvezda koje su toliko udaljene da njihova svetlost mora da putuje stotinama hiljada svetlosnih godina pre nego što uđe u naše spektroskope. Intenzitet i položaj ovih »međuzvezdanih apsorpcionih linija« omogućuje nam dobru procenu gustine difuznog materijala i dokazuje da se ovaj skoro isključivo sastoji iz vodonika i verovatno helijuma. I zaista, prašina, koju sačinjavaju male čestice (oko 0,001 mm. u prečniku) raznih »zemaljskih« supstanci sačinjava ne više od 1% od celokupne mase međuzvezdane materije.

Vraćajući se osnovnoj ideji Vajcsekerove teorije, možemo reći da ovo novo znanje o hemiskom sastavu materije u vasioni, ide direktno u prilog hipotezi Kanta i Laplasa. I zaista, ako se prvobitni gasni omotač oko Sunca sastojao iz takvog materijala, **samo mali njegov deo, onaj koji pretstavlja teže zemaljske elemente, mogao je biti korišćen za nastanak Zemlje i drugih planeta.** Ostatak, tj. vodonik i helijum koji se ne kondenzuju, morao je biti nekako otklonjen, bilo time što je pao na Sunce ili što se rasplinuo u okolni međuzvezdani prostor. Kako bi prva mogućnost imala za posledicu, kao što smo gore rastumačili, isuviše brzo okretanje Sunca oko osovine, mi moramo da prihvatimo drugu alternativu, tj. da se onaj gasoviti »višak materije« rasplinuo u prostor uskoro pošto su planete obrazovane iz »zemaljskog sastava«.

To nas navodi na sledeću sliku nastajanja planetarnog sistema. Kad je naše Sunce nastalo kondenzacijom međuzvezdane materije (vidi idući odeljak), jedan njegov veliki deo, verovatno oko 100 puta veći od sadašnjih kombinovanih masa planeta, ostao je spolja, sačinjavajući jedan ogroman omotač koji se okretao. (Razlog za takvo ponašanje može



Sl. 118 — Vajcsekerova teorija

se lako naći u razlikama između rotacionih stanja raznih delova međuzvezdanog gasa koji se kondenzovao u naše prvobitno Sunce.) Ovaj omotač koji se brzo okretao verovatno se sastojao iz gasova koji se **ne kondenzuju** (vodonika, helijuma i manjih količina drugih gasova) i **čestica prašine** raznih zemaljskih elemenata (kao što su: oksidi gvožđa, jedinjenja silicijuma, kaplje vode i kristali leda) koji su lebdeli u gasu i bili nošeni njegovim rotacionim kretanjem. Formiranje velikih grumenova ovog »zemaljskog materijala« koje mi sada nazivamo planetama, moralo je nastati kao posledica sudara između čestica prašine i njihovog postepenog skupljanja u sve veća tela. Na slici 118 mi ilustrujemo rezultate takvih uzajamnih sudara koji su su morali odigrati pri brzinama sličnim brzinama meteorita.

Na osnovu logičnog rasuđivanja može se zaključiti da je pri takvim brzinama sudar dveju čestica približno jednake mase morao imati za rezultat njihovo uzajamno pretvaranje u prašinu (sl. 118b), dakle proces koji ne vodi narastanju već uništenju većih grumenova materije. S druge strane, kad se jedna mala čestica sudari sa mnogo većom (sl.118b), izgleda očevidno da će se zakopati u telo ove poslednje, i na taj način stvoriti novu, nešto veću masu.

Očevidno je da će ova dva procesa imati za posledicu postepeno iščezavanje manjih čestica i skupljanje njihovog materijala u veća tela. U docnijim etapama proces će biti ubrzan usled činjenice da će veće gromade materije gravitaciono privlačiti manje, prolazne čestice, dodajući ih svojoj sve većoj masi. Ovo je ilustrovano na slici 118c, iz koje se vidi da u ovom slučaju sposobnost velikih grumena da privlače manje čestice postaje sve veća.

Vajcseker je uspeo da dokaže da je **fina prašina, koja je prvobitno bila proširena kroz čitav prostor koji sada zauzima planetarni sistem, morala biti skupljena u nekoliko većih grumenova da bi se izgradile planete, u roku od oko 100,000.000 godina.**

Sve dok su planete rasle skupljajući komade raznih veličina kosmičke materije pri svom kretanju oko Sunca, stalno bombardovanje njihovih površina novim materijalom moralo je da održava njihovu temperaturu na velikoj visini. Ali čim je, međutim količina zvezdane prašine, šljunka i većih komada stena bila iscrpljena, i na taj način obustavljen proces daljeg porasta, zračenje u međuzvezdani prostor moralo je brzo da ohladi spoljne slojeve novonastalih nebeskih tela, i da dovede do stvaranja čvrste kore koja sad postaje sve deblja, tačno onako kako se nastavlja unutarnje hlađenje.

Sledeća važna tačka koju svaka teorija planetarnog rastajanja mora da obuhvati jeste tumačenje čudnog pravila (poznatog pod imenom **Titus-Bodeovo pravilo**) koje važi za razdaljine raznih planeta od Sunca. Na tabeli na sledećoj stranici te razdaljine su date za devet planeta Sunčevog sistema, kao god i za pojas **planetoida**, koji kako izgleda odgovara izuzetnom slučaju gde odvojeni komadi nisu uspeli da se sakupe u jednu veliku gromadu.

IME PLANETE	Razdaljina od Sunca izražena razdaljinom između Zemlje i Sunca kao jed nicom	Odnos razdaljine svake planete od Sunca prema razdaljini od Sunca planete navedene iznad nje
Merkur	0,387	
Venera	0,723	1,86
Zemlja	1,000	1,38
Mars	1,524	1,52
Planetoidi	oko 2,7	1,77
Jupiter	5,203	1,92
Saturn	9,539	1,83
Uran	19,191	2,001
Neptun	30,07	1,56
Pluton	39,52	1,31

Cifre u poslednjem stupcu su od naročitog značaja. Uprkos izvesnih varijacija očevidno je da nijedna od tih cifara nije daleko od broja dva, što nam omogućuje da formulišemo sledeće približno pravilo: **poluprečnik svake planetarne putanje je, grubo uzevši, dva puta veći od poluprečnika prve sledeće putanje u pravcu Sunca.**

Interesantno je primetiti da slično pravilo važi takođe za satelite pojedinih planeta, što se naprimer može dokazati donjom tabelom koja daje relativne razdaljine 9 satelita Saturna.

IME SATELITA	Razdaljina izražena na osnovu poluprečnika Saturna	Odnos povećanja između dve uzastopne razdaljine
Mimas	3,11	
Enceladus	3,99	1,28
Tethys	4,94	1,24
Dione	6,33	1,28
Rhea	8,84	1,39
Titan	20,48	2,31
Hiperion	24,82	1,21
Japetus	59,68	2,40
Phoebe	216,8	3,63

Kao i u slučaju planeta i ovde nailazimo na velika otstupanja (naročito za Feb!) ali opet skoro nema sumnje da postoji jaka tendencija ka pravilnosti istoga tipa.

Kako da protumačimo činjenicu što se, pre svega, proces agregacije koji se izvršio u prvobitnom oblaku prašine koji je okruživao Sunce nije završio stvaranjem samo jedne velike planete i, zatim, zašto su razne velike gromade materije nastale baš na ovim određenim razmacima od Sunca.

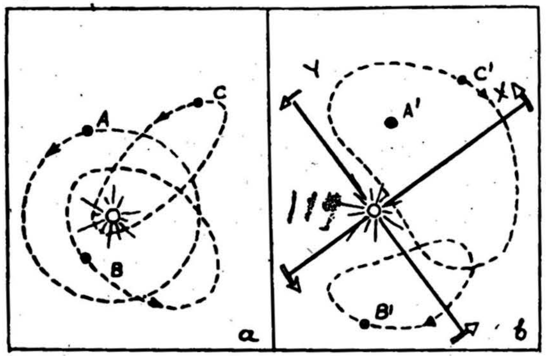
Da bismo odgovorili na ovo pitanje, moramo da preduzmemo malo detaljnije ispitivanje kretanja koja su se vršila u prvobitnom oblaku prašine. Pre svega moramo se setiti toga da svako materijalno telo — bila to mala trun prašine, meteor ili velika planeta — koje se kreće oko Sunca po Njutnovom zakonu privlačenja mora da opisuje jednu eliptičnu putanju kojoj je Sunce u žiži. Ako je materijal iz koga su nastale planete prethodno bio u vidu odvojenih čestica, recimo 0,0001 cm. u prečniku[2]), mora da je postojalo oko 10^{45} čestica koje su se kretale po eliptičnim putanjama raznih veličina i izduženosti. Očevidno je da je u tako gustom saobraćaju moralo da dolazi do brojnih sudara između pojedinih čestica i da je, kao posledica takvih sudara, kretanje čitavog roja čestica moralo da postane do izvesne mere organizovano. Doista nije teško shvatiti da su pri takvim sudarima prekršioci »saobraćaja« ili morali biti pulverizovani ili prisiljeni da krenu manje opterećenim pravcima saobraćaja. Koji zakoni važe za tako »organizovan« ili bar delimično organizovan »saobraćaj«?

Da bismo pristupili rešenju problema, izaberimo jednu grupu čestica od kojih se sve kreću istim **rotacionim periodom** oko Sunca. Izvestan broj njih morao se kretati kružnim putanjama odgovarajućeg poluprečnika, dok su druge opisivale razne manje-više izdužene eliptične putanje (slika 119a). Pokušajmo sad da opišemo kretanje ovih raznih čestica, s tačke gledišta jednog koordinatnog sistema (X, Y) koji se okreće oko centra Sunca istim periodom kao i čestice.

Očevidno je, pre svega, da bi s tačke gledišta jednog takvog koordinatnog sistema u okretanju, čestica koja se kreće po kružnoj putanji (A) izgledala kao da je u stanju potpunog mirovanja na izvesnoj tački A^1. Čestica B koja bi se kretala oko Sunca po jednoj eliptičnoj putanji približa-

[2]) Što je približna veličina čestica prašine koje sačinjavaju međuzvezdani materijal.

vala bi se i udaljavala od Sunca, njena ugaona brzina oko centra bila bi veća u prvom, a manja u drugom slučaju. Stoga će ona ponekad ići ispred koordinatnog sistema (X, Y) koji se ravnomerno okreće, a ponekad zaostajati iza njega. Nije teško uvideti da će s tačke gledišta ovog sistema, čestica opisivati jednu **zatvorenu putanju u obliku zrna pasulja,** obeleženu slovom B[1] na slici 119. Za jednu drugu česticu (C) koja bi se kretala po jednoj izduženijoj elipsi, pokazalo bi se da u sistemu (X, Y) opisuje sličnu ali malo veću putanju u obliku zrna pasulja (C[1]).



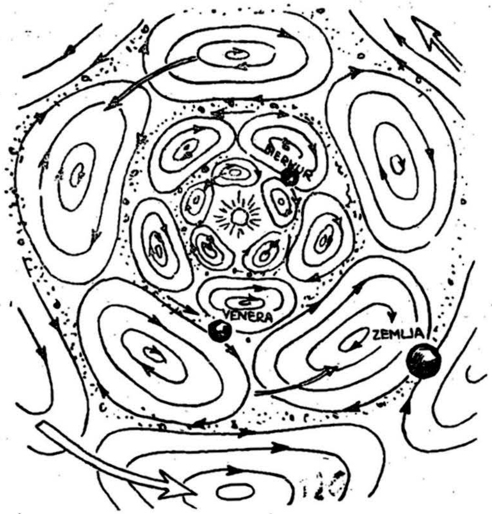
Sl. 119 — Kružno i eliptičko kretanje gledano kroz jedan fiksni koordinatni sistem (a) i jedan koji se okreće (b)

Ako želimo da podesimo kretanje čitavog roja čestica tako da se one ne sudaraju nikad jedna s drugom, **onda očevidno to mora biti učinjeno na taj način da se putanje pasuljastog oblika koje te čestice opisuju u koordinatnom sistemu (X, Y) koji se ravnomerno okreće uzajamno ne seku.**

Imajući na umu da se čestice **istog perioda rotacije** oko Sunca drže na istoj **prosečnoj daljini** od njega, mi vidimo da njihove putanje koje se ne seku u sistemu (X, Y) moraju ličiti na jedan »đerdan pasulja« koji okružuje Sunce.

Gore navedena analiza, koja mora da je malo umorila čitaoca, ali koja u principu pretstavlja jednostavnu proceduru, ima za cilj da pokaže **sistem pravila za nesečenje putanja** za pojedine grupe čestica koje se kreću na istoj srednjoj razdaljini od Sunca i koje stoga imaju isti period rotacije. Pošto smo u početnom oblaku prašine koji je okruživao prvobitno Sunce mogli da očekujemo sve moguće

srednje razdaljine što odgovaraju raznim periodima rotacije, stvarno stanje moralo je biti komplikovanije. Umesto jednoga »đerdana od pasulja« mora da je postojao veliki broj takvih »đerdana« koji su se okretali raznim brzinama u odnosu jedan na drugi. Pažljivom analizom situacije Vajceker je uspeo da pokaže da je za stabilnost takvog sistema neophodno da se svaki zasebni đerdan sastoji iz pet odvojenih sistema vrtloga, tako da je čitava slika kretanja morala da bude slična onom što je pretpostavljeno na slici 120. Takav aranžman je osigurao »bezbedan saobraćaj« u svakom pojedinom prstenu, no kako se prstenovi okreću raznim periodima, moralo je dolaziti do »saobraćajnih nesreća« kad jedan prsten dodirne drugi. Veliki broj uzajam-



Sl. 120 — Putanje kretanja prašine u prvobitnom sunčevom sistemu

nih sudara koji se odigravaju u tim graničnim predelima između čestica jednog prstena sa onima susednih prstenova mora da je prouzrokovao proces agregacije i narastanja sve većih grumenova materije na datim razdaljinama od Sunca. Na taj način, postepenim procesom čišćenja u svakom prstenu i skupljanjem materije u predelima između njih, konačno su formirane planete.

Gore opisana slika formiranja planetarnog sistema daje nam jednostavno tumačenje staroga pravila o poluprečnicima planetarnih putanja. Jednostavna geometriska razmatranja pokazuju da u sistemu tipa onog na slici 120 **poluprečnici uzastopnih graničnih linija između susednih prstenova sačinjavaju jednu jednostavnu geometrisku progresiju, budući da je svaki od njih dvaput veći od prethodnog.** Vidimo takođe zašto se ne može očekivati da će to pravilo biti potpuno tačno. To, ustvari, nije rezultat nekog **striktnog zakona** koji važi za kretanje čestica u prvobitnom oblaku prašine, već treba smatrati da to pravilo izražava izvesnu **tendenciju** u inače potpuno nepravilnom procesu kretanja prašine.

Činjenica da isto pravilo važi takođe za satelite raznih planeta našeg sistema pokazuje da se i proces stvaranja satelita izvršio, grubo govoreći, na isti način. Kad se prvobitni oblak prašine koji je okružavao Sunce razbio jednom u odvojene grupe čestica iz kojih će docnije nastati pojedine planete, proces se ponavljao u svakom pojedinom slučaju, koncentrišući pri tome najveći deo materije u centar da bi se iz toga izgradilo telo planete, dok je ostatak kružio naokolo i postepeno se kondenzovao u izvestan broj satelita.

U toku čitavog ovog razmatranja o uzajamnim sudarima i narastanju čestica prašine zaboravili smo da kažemo šta se dogodilo sa gasnim delom prvobitnog sunčevog omotača, koji je, kao što se možda sećate, sačinjavao u početku oko 99% njegove ukupne mase. Odgovor na ovo pitanje je srazmerno prost.

Dok su se čestice prašine sudarale, stvarajući sve veće grumenje materije, gasovi koji nisu bili u stanju da učestvuju u tom procesu postepeno su se razišli u međuzvezdane prostore. Može se dokazati srazmerno jednostavnim računom da je vreme potrebno da se taj proces rasplinjavanja završi iznosilo oko 100,000,000 godina, to jest približno isto toliko koliko i za porast planeta. I tako, kad su planete konačno bile stvorene, najveći deo vodonika i helijuma koji su prvobitno sačinjavali sunčani omotač izvetrio je iz Sunčevog sistema, ostavljajući samo zanemarljivo male tragove koji su maločas označeni kao Zodijačka svetlost.

Jedna važna posledica Vajcsekerove teorije leži u zaključku da **nastajanje planetarnog sistema nije izuzetan slučaj, već proces koji je morao da se odigra pri formiranju skoro svih zvezda.** Ova tvrdnja je u oštroj protivurečnosti

sa zaključcima teorije sudara, koja smatra da je proces formiranja planeta sasvim izuzetan slučaj u istoriji kosmosa. Ustvari, izračunato je da su zvezdani sudari, koji bi trebalo da prouzrokuju stvaranje planetarnih sistema, krajnje retka pojava, i da je između 40,000.000.000 zvezda koje sačinjavaju naš zvezdani sistem Mlečnog Puta moglo da dođe do svega nekoliko sudara u toku milijardi godina njegovog postojanja.

Ako, kao što sad izgleda, **svaka zvezda poseduje jedan sistem planeta,** onda samo u našoj Galaksiji mora da postoje milioni planeta, na kojim su fizički uslovi skoro identični s ovima na našoj Zemlji. I bilo bi u najmanju ruku čudnovato ako se život — čak i u svojim najvišim oblicima — nije razvio i u tim »nemogućim za život« svetovima.

I doista, najjednostavniji oblici života, kao naprimer razni oblici virusa, ustvari su, kao što smo videli u poglavlju IX, samo znatno komplikovani molekuli koji se sastoje uglavnom od atoma ugljenika, vodonika, kiseonika i azota. Pošto ti elementi obavezno postoje u znatnim količinama na površini svake novoformirane planete, moramo verovati da će se ranije ili kasnije, posle toga kako se obrazuje čvrsta kora i istalože atmosferske pare koje sačinjavaju ogromne rezerve vode, morati stvoriti nekoliko molekula toga tipa, usled slučajnih kombinacija potrebnih atoma u potrebnom poretku. Složenost živih molekula očevidno čini verovatnoću njegovog slučajnog nastanka izvanredno malom, i mi možemo da je uporedimo sa verovatnoćom da ćemo složiti jedan rebus prosto tresući odvojene komade u kutiji u nadi da će se oni sami od sebe slučajno složiti u određenom redu. Ali s druge strane ne treba da zaboravimo da postoji ogroman broj atoma koji se stalno sudaraju jedan s drugim, a takođe i dosta vremena da se postigne potrebni rezultat. Činjenica da se život pojavio na Zemlji uskoro po stvaranju njene kore pokazuje da je, ma koliko to izgledalo malo verovatno, slučajno formiranje složenog organskog molekula iziskivalo verovatno svega nekoliko stotina miliona godina. Ješu li se najjednostavniji oblici života pojavili jednom na površini novoformirane planete, proces organske reprodukcije će dovesti do stvaranja sve složenijih formi živih organizama. Ne može se, međutim, govoriti o tome da li evolucija života na raznim »nenastanjivim« planetama uzima isti pravac kao i na našoj Zemlji. Izučavanje života u drugim svetovima znatno bi doprinelo našem razumevanju procesa evolucije.

Ali dok ćemo možda i biti u stanju da izučavamo oblike života koji su se mogli razviti na Marsu ili Veneri (najverovatnije nastanjive planete Sunčevog sistema) u ne suviše dalekoj budućnosti, zahvaljujući kakvom pustolovnom putovanju na te planete pomoću »interplanetarnog broda na nuklearni pogon«, pitanje mogućeg postojanja i oblika života na drugim zvezdanim telima, udaljenim stotine i hiljade svetlosnih godina, verovatno će zauvek ostati nerešivi problem nauke.

2. Privatni život zvezda

Pošto smo stekli manje-više potpunu sliku o tome kako pojedine zvezde rađaju svoje porodice planeta, sad možemo postaviti i pitanja koja se tiču samih zvezda.

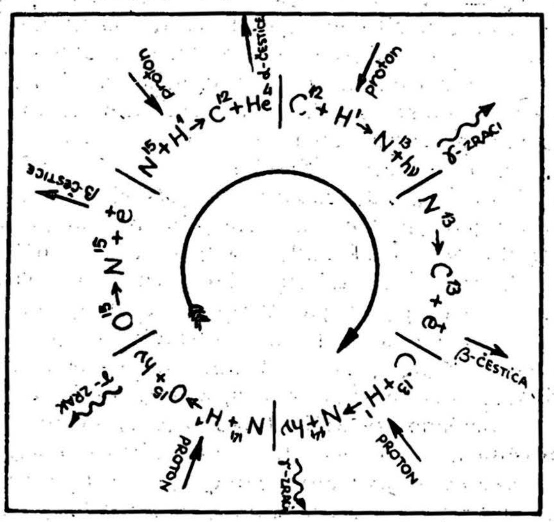
Kakav je životni put jedne zvezde? Kako se rađa, kroz kakve promene prolazi u toku svog dugog života i kakav je njen konačni kraj?

Izučavanje ovoga pitanja možemo započeti najpre gledanjem na naše Sunce, koje je u znatnoj meri tipični član među milijardama drugih sličnih zvezda koje sačinjavaju sistem Mlečnog Puta. Mi znamo, pre svega, da je naše Sunce prilično stara zvezda, pošto je, prema podacima paleontologije, ono sijalo sa nepromenljivim sjajem u toku nekoliko milijardi godina, podržavajući razvitak života na Zemlji. Nijedan redovni izvor energije ne bi mogao da razvija tako veliku energiju tako dugo vremena, pa je, stoga, problem Sunčevog zračenja bio jedan od najzagonetnijih problema nauke do otkrića radioaktivnih transformacija. Tek nam je veštačka transformacija elemenata otkrila ogromne izvore energije koji se kriju u dubini atomskih jezgara. Već smo videli u Poglavlju VII da skoro svaki hemiski elemenat pretstavlja alhemisko gorivo koje potencijalno može da da ogromnu energiju, i da se ova energija može osloboditi zagrejavanjem pomenutih materija do na milione stepeni.

Dok se tako visoke temperature skoro ne mogu dostići u zemaljskim laboratorijama, one su prilično uobičajene u svetu zvezda. Na Suncu, naprimer, temperatura, koja je na površini svega 6000°C, postepeno se povećava dok u centru ne dostigne ogromnu visinu od 20 miliona stepeni. Ova cifra

se može izračunati bez velike teškoće na osnovu utvrđene temperature Sunčeve površine i na osnovu poznatih svojstava rasprostiranja toplote kroz gasove koji ga sačinjavaju. Na sličan način mi možemo da izračunamo temperaturu u jednom pečenom krompiru ne rashlađujući ga ako znamo kolika je temperatura na površini i od čega je napravljen, to jest kakva je toplotna sprovodljivost njegovog tkiva.

Kombinujući ove podatke o temperaturi Sunčevog središta sa poznatim činjenicama o brzini raznih nuklearnih transformacija, može se utvrditi koja određena reakcija omogućuje proizvodnju energije u Suncu. Ovaj važni nuklearni



Sl. 121 — Ciklični lanac nuklearnih reakcija koji prouzrokuje stvaranje energije u Suncu

proces, poznat pod imenom »ciklus ugljenika« otkrili su jednovremeno dvojica fizičara koji su se zainteresovali za astrofizičke probleme: H. Bete (Bethe) i Vajcseker.

Termonuklearni proces, koji uglavnom omogućuje energetsku proizvodnju na Suncu, nije ograničen na jednu jedinu nuklearnu transformaciju, već se sastoji iz čitavog niza povezanih transformacija koje sve zajedno sačinjavaju, da se tako izrazimo, jedan **lanac reakcija**. Jedna od najinteresantnijih strana ovog niza reakcija je ta da je to **zatvoreni kružni lanac,** koji se vraća na polaznu tačku posle svakih šest koraka. Na slici 121, koja shematski pretstavlja ovu Sunčevu lančanu reakciju, vidimo da su **glavni učesnici ovog niza jezgra ugljenika i azota, zajedno sa termičkim protonima sa kojima se sudaraju.**

Počinjući, naprimer, sa običnim ugljenikom (C^{12}), vidimo da je rezultat sudara sa protonom formiranje lakšeg izotopa azota (N^{13}) i oslobađanje nuklearne energije u vidu jednog zraka γ. Ova reakcija je dobro poznata ispitivačima nuklearne fizike, a takođe je dobivena i u laboratoriskim uslovima, upotrebom veštački ubrzanih protona do velikih energija. Jezgro N^{13}, pošto je nestabilno, dolazi u ravnotežu emisijom jednog pozitivnog elektrona ili pozitivne β-čestice, pretvarajući se u stabilno jezgro težeg izotopa ugljenika (C^{13}) za koji se zna da ga ima u malim količinama u običnom uglju. Kad se sudari sa drugim termičkim protonom, ovaj izotop ugljenika se transformiše u obični azot (N^{14}) uz dalje intenzivno gama zračenje. Sada se jezgro N^{14} (s kojim smo isto tako lako mogli da započnemo opis čitavog ciklusa) — sudara s još jednim (trećim) termičkim protonom i daje jedan nestabilni izotop kiseonika (O^{15}), koji se vrlo brzo pretvara u stabilni N^{15} emitujući jedan pozitivan elektron. Konačno se, N^{15}, upijajući jedan četvrti proton, cepa na dva nejednaka dela, od kojih jedan pretstavlja jezgro C^{12} kojim smo i počeli, a drugi jezgro helijuma, ili α-česticu.

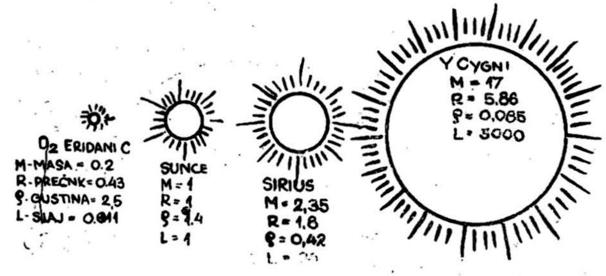
Tako dakle vidimo da se **jezgra ugljenika i azota u našoj kružnoj lančanoj reakciji stalno regenerišu, delujući samo kao katalizatori,** što bi rekli hemičari. Celokupni rezultat ove lančane reakcije je stvaranje jednog jezgra helijuma od četiri protona koji su se uzastopno uključivali u ciklus; možemo, prema tome, da čitav ovaj proces označimo kao **proces transformacije vodonika u helijum, prouzrokovan visokim temperaturama, a izvršen uz pomoć katalizatorskog dejstva ugljenika i azota.**

Bete je uspeo da pokaže da energija oslobođena njegovim lancem reakcija na temperaturi od 20 miliona stepeni **odgovara stvarnoj količini energije koju Sunce zrači.** Pošto su sve ostale moguće reakcije protivurečne i nespojive sa astrofizičkim činjenicama, može se konačno primiti da **ugljenično-azotni ciklus pretstavlja proces koji u osnovi objašnjava problem stvaranja Sunčeve energije.** Ovde treba podvući

i to da je pri unutarnjoj temperaturi Sunca potrebno oko pet miliona godina da bi se završio ceo ciklus prikazan na slici 121. Na kraju ovog perioda svako jezgro ugljenika ili azota koje je prvobitno ušlo u reakciju ponovo će se pojaviti sveže i nedirnuto kao što je bilo na početku.

Imajući u vidu osnovnu ulogu koju u ovom procesu igra ugljenik, može se ponešto reći u prilog primitivnog gledišta da toplota Sunca potiče iz uglja, samo mi sad znamo da »ugalj«, ovde igra ulogu legendarnog feniksa, umesto da služi kao gorivo.

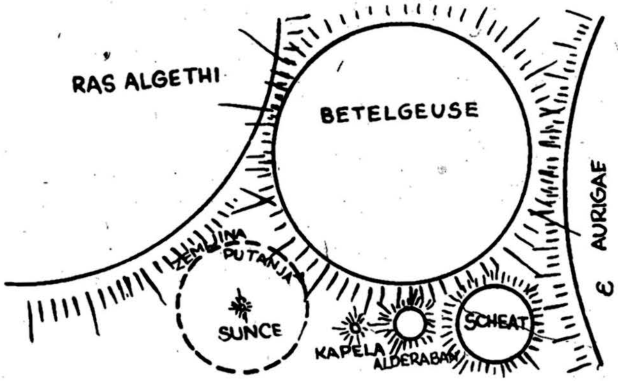
Ovde treba posebno ukazati na to da brzina reakcije koja proizvodi energiju u Suncu i koja **u osnovi** zavisi od tempe-



Sl. 122 — Glavni niz zvezda

rature i gustine u centralnom delu Sunca, zavisi takođe, ali samo do izvesne mere, i od sadržine vodonika, ugljenika i azota u materiji koja sačinjava Sunčevo telo. Ova dedukcija odmah upućuje na metod kojim možemo da analiziramo sastav Sunčevih gasova menjajući koncentracije faktora koji učestvuju u reakciji tako da potpuno odgovaraju posmatranom sjaju Sunca. Nedavno je M. Švarcšild (Schwarrtzschild) izvršio računanje na osnovu ovog metoda i otkrio da se **preko polovine materije Sunca sastoji iz čistog vodonika, nešto manje od polovine iz čistog helijuma, a vrlo mali ostatak od svih drugih elemenata.**

Tumačenje proizvodnje energije u Suncu može se lako proširiti na većinu drugih zvezda, sa zaključkom da zvezde raznih masa imaju različite središne temperature i, prema tome, različite brzine proizvodnje energije. Tako je zvezda poznata kao O_2 Eridani C oko pet puta lakša od Sunca i stoga zrači intenzitetom koji je svega oko 1% sunčevog. S druge strane α Canis Majoris A, opšte poznata pod imenom Sirijus, je oko dva i po puta teža od Sunca i četvrdeset puta svetlija. Postoje i takve divovske zvezde, kao naprimer Y380 Cygni, koja je oko četrdeset puta teža i nekoliko stotina hiljada puta svetlija od Sunca. U svim tim slučajevima odnos između veće zvezdane mase i mnogo jačeg sjaja može se vrlo zadovoljavajuće protumačiti većom brzinom rekacije »ugljenikovog ciklusa« koja je prouzrokovana višom središnom temperaturom. Ispitamo li ovaj tzv. »Glavni Niz« zvezda otkrićemo takođe da sve veća masa prouzrokuje sve veći poluprečnik zvezda (od 0,43 Sunčevog poluprečnika za O_2 Eridani C do 29 veličina Sunčevog prečnika za Y 380 Cygni) i sve manju srednju gustinu (od 2,5 za O_2 Eridani C, preko 1,4 za Sunce



Sl. 123 — Zvezde džinovi i naddžinovi u srazmeri sa našim planetarnim sistemom.

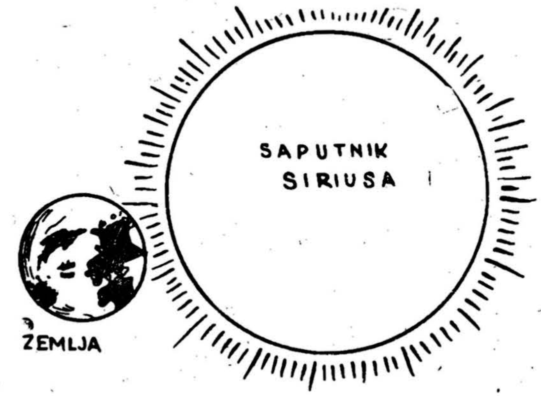
do 0,002 za Y 380 Cygni). Izvesni podaci o zvezdama Glavnog Niza izneti su na diagramu na slici 122.

Pored »normalnih« zvezda, čiji su poluprečnik, gustina i sjaj određeni njihovim masama, astronomi su našli na nebu i izvesne tipove zvezda koje definitivno ispadaju iz ove jednostavne pravilnosti.

Pre svega imamo tako zvane »Crvene džinove« ili zvezde »naddžinove«, koje imaju mnogo veće linearne dimenzije iako imaju istu količinu materije kao i »normalne« zvezde istog sjaja. Na slici 123 dajemo shematsku sliku ove neobične grupe zvezda, u koju spadaju i takva čuvena imena kao što

su **Gapella, Scheat, Aldebaran, Betelgeuse, Ras Algethi i epsilon Aurigae.** Kako izgleda tela ovih zvezda su bila proširena do skoro neverovatnih razmera unutarnjim silama koje još nismo u stanju da protumačimo, što je prouzrokovalo da njihove srednje gustine padnu znatno ispod gustina normalnih zvezda.

Za razliku od ovih »naduvenih« zvezda imamo grupu zvezda koje su se skupile do vrlo malih prečnika. Jedna od zvezda te vrste, poznatih pod nazivom »beli patuljci«[3]), pri-



Sl. 124 — Zvezde »beli patuljci« u poređenju sa Zemljom

kazana je na slici 124, sa dijagramom Zemlje koji je dat upoređenja radi. »Saputnik Sirijusa« se sastoji od mase koja je skoro jednaka masi Sunca, a svega je tri puta veći od Zemlje; njegova srednja gustina mora da bude oko 500.000 puta veća od gustine vode. Nema skoro nikakve sumnje da zvezde zvane »Beli patuljci« pretstavljaju poslednje etape zvezdane evolucije koja odgovara fazi u kojoj je zvezda potrošila sve svoje raspoloživo vodonično gorivo.

Kao što smo videli, izvor života zvezda leži u alhemiskoj reakciji koja postepeno pretvara vodonik u helijum.

[3]) Poreklo izraza »crveni džinovi« i »beli patuljci« leži u odnosu sjaja tih zvezda prema njihovim površinama. Pošto razređene zvezde imaju velike površine za zračenje energije proizvedene u njihovoj unutrašnjosti, njihove površinske temperature su relativno niske, što im i daje crvenu boju. Površina vrlo kondenzovanih zvezda, s druge strane, mora biti na vrlo visokoj temperaturi, na belom usijanju.

Pošto u jednoj mladoj zvezdi, koja nastaje kondenzacijom rasprostranjenog međuzvezdanog materijala, vodonik čini preko 50% čitave mase, to možemo očekivati da je život zvezda vrlo dug. Tako se, naprimer, na osnovu izmerenog sjaja našeg Sunca, može izračunati da ono troši oko 660 miliona tona vodonika na sekund. Pošto celokupna masa Sunca iznosi 2×10^{27} tona, a polovina od toga je vodonik, vidimo da život Sunca mora biti 15×10^{18} sekundi ili oko 50 milijardi godina. Imajući na umu da je naše Sunce staro sada svega 3 ili 4 milijarde godina,[4]) vidimo da se Sunce može smatrati kao vrlo mlado i da će nastaviti da sjaji približno istim dimenzijama još mnogo milijardi godina.

Ali masivnije, i prema tome sjajnije zvezde, troše svoju prvobitnu rezervu vodonika mnogo većom brzinom. Tako je, naprimer, Sirijus, koji je 2.3 puta teži od Sunca, i prema tome sadržao je u početku 2.3 puta više vodoničnog goriva, 39 puta sjajniji od Sunca. Pošto troši 39 puta više goriva nego li Sunce za isto vreme, a kako ima prvobitnu rezervu svega 2.3 puta veću, Sirijus će upotrebiti sve svoje gorivo u svega 3,000.000.000 godina. Kod još sjajnijih zvezda, kao naprimer Y Cygni (ima 17 puta veću masu od Sunca i 30.000 puta je sjajnija), prvobitna rezerva vodonika neće trajati duže od 100,000.000 godina.

Šta se događa sa jednom zvezdom kad je njena rezerva goriva konačno potrošena?

Pošto je nestao izvor nuklearne energije koji je održavao zvezdu manje-više u **status quo** tokom njenog dugog života, telo zvezde počinje da se skuplja, prolazeći tako kroz uzastopne etape sve veće i veće gustine.

Astronomska posmatranja otkrivaju postojanje velikog broja takvih »skupljenih zvezda« čija je srednja gustina veća od gustine vode za faktor od nekoliko stotina hiljada. Ove zvezde su još uvek vrlo tople, pa usled svoje visoke površinske temperature sijaju jakom belom svetlošću i pretstavljaju oštar kontrast prema obično žućkastim ili crvenkastim zvezdama glavnog niza. Kako su ove zvezde obično vrlo male po veličini, njihov celokupni sjaj je prilično nizak, na hiljade puta niži od sjaja našeg Sunca. Astronomi nazivaju ove kasne etape evolucije izrazom »Beli patuljci«, čime se obeležavaju i geometriske dimenzije kao i celokupni sjaj. Vremenom će usijano bela tela belih kepeca izgubiti svoju sjajnost i konačno će se pretvoriti u »crne patuljke«, velike crne mase nepristupačne običnim astronomskim posmatranjima.

[4]) Pošto je, prema Vajcsekerovoj teoriji, Sunce moralo nastati ne mnogo pre formiranja Sunčevog sistema, a pošto je procenjena starost naše Zemlje otprilike veličina istog reda.

Treba podvući, međutim, da ovaj proces skupljanja i postepenog rashlađivanja starih zvezda koje su upotrebile sve svoje životno vodonično gorivo ne teče uvek tiho i uredno, i da na kraju svog života ove umiruće zvezde često pokazuju ogromne konvulsije kao da se bune protiv svoje sudbine.

Ovi katastrofalni događaji, poznati pod imenom **nove i supernove-eksplozije**, pretstavljaju jedno od najuzbudljivijih poglavlja u izučavanju zvezda. U toku od nekoliko dana, jedna zvezda, koja se pre toga nije mnogo razlikovala od makoje druge zvezde na nebu, poveća svoj sjaj za nekoliko stotina hiljada puta, a njena površina postaje očigledno ogromno topla. Izučavanje promena u spektru, koje prate ovaj iznenadni porast sjaja, pokazuje da se telo ove zvezde brzo nadima, i da se njeni spoljni slojevi šire brzinom od oko 2000 km. na sekund. Povećanje sjaja je, međutim, samo privremeno, i pošto prođe kroz maksimum, zvezda počinje postepeno da se vraća na normalu. Potrebno je obično godinu dana pre nego što se sjajnost eksplodirane zvezde povrati na prvobitnu vrednost, mada su male promene u zračenju tih zvezda bile primećene i posle znatno dužeg intervala vremena. Iako sjaj zvezde postaje ponovo normalan ne može se reći isto i za druga njena svojstva. Deo zvezdane atmosfere, koji učestvuje u brzoj ekspanziji u toku faze eksplozije, nastavlja svoje kretanje ka spolja, pa je zvezda okružena jednom svetlom gasnom ljuskom koja raste u prečniku. Dokazi o trajnim promenama na samoj zvezdi još su vrlo neodređeni, jer postoji svega jedan jedini slučaj u kome je spektar zvezde bio fotografisan pre eksplozije (Nova Aurigae 1918). Ali i ova fotografija je prilično loša tako da se zaključak o površinskoj temperaturi i poluprečniku u razdoblju pre nove može smatrati kao vrlo nesiguran.

Nešto bolji dokaz o rezultatima eksplozije u telu zvezda može se dobiti posmatranjem takozvanih supernova. Ove ogromne zvezdane eksplozije, koje se odigravaju u našem zvezdanom sistemu jednom u nekoliko vekova (za razliku od običnih nova koje se pojavljuju otprilike po 40 na godinu), prevazilaze u pogledu sjaja obične nove za nekoliko hiljada puta. Za vreme maksimuma svetlost emitovana prilikom takve eksplozije može se uporediti sa svetlošću emitovanom od čitavog zvezdanog sistema. Zvezda takve vrste koju je primetio Tiho Brahe 1572 godine i koja je bila vidljiva pri dnevnoj svetlosti, zvezda koju su zabeležili kineski astronomi 1054 i, verovatno, Vitlejemska zvezda pretstavljaju tipične primere takvih supernova u našem zvezdanom sistemu, Mlečnom Putu.

Prva supernova izvan naše galaksije primećena je godine 1885 u susednom zvezdanom sistemu Velike Andromedine magline. Sjaj ove supernove nadmašio je za oko hiljadu puta sjaj svih drugih nova primećenih u tom sistemu. Uprkos relativne retkosti takvih ogromnih eksplozija, obeležen je znatan napredak u izučavanju njihovih svojstava posmatranjima Badea (Baade) i Cvikia (Cwicky). Oni su prvi uočili veliku razliku između dva tipa eksplozija i počeli sistematsko izučavanje supernova u raznim udaljenim sistemima.

Uprkos ogromnih razlika u sjaju eksplozije, Supernove pokazuju mnoge sličnosti s običnim novama. Brzo povećanje sjaja i zatim postepeno njegovo opadanje u oba slučaja su pretstavljeni (sem u pogledu razmera) skoro identičnim krivama. Kao i u slučaju običnih nova, jedna supernova dovodi do stvaranja gasovite ljuske koja se vrlo brzo širi, koja, međutim, pretstavlja jako veliki procenat zvezdane mase. Dok gasoviti omotač koji emituje nove postaje sve tanji i iščezava brzo u prostoru, gasovite mase koje emituju supernove sačinjavaju velike svetle magline oko mesta eksplozije. Može se, naprimer, smatrati kao definitivno utvrđeno da je tzv. »Rak-maglina», koja se vidi na mestu supernove iz godine 1054, nastala od gasova izbačenih u toku eksplozije (vidi fotografiju 8).

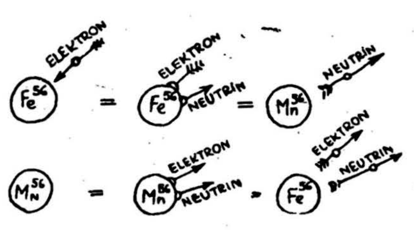
U slučaju ove konkretne supernove imamo izvesne dokaze o zvezdi koja je ostala posle eksplozije. I zaista, u samom centru »Rak-magline« može se utvrditi postojanje jedne slabo svetleće zvezde, koja se, na osnovu posmatranja njenih osobina, može klasificirati kao vrlo gusti beli patuljak.

Sve ovo ukazuje da fizički procesi kod supernova moraju biti analogni procesima običnih nova, iako je sve u daleko većim razmerama.

Pretpostavljajući da je tačna »teorija rušenja« nova i supernova, moramo se upitati pre svega o uzrocima koji mogu da dovedu do tako brze kontrakcije čitavog zvezdanog tela. Dosada je utvrđeno da su zvezde ogromne mase vru-

ćega gasa i da se telo zvezde održava u stanju ravnoteže isključivo usled visokog pritiska gasa zagrejanog materijala i njegovoj unutrašnjosti. Dok god se razvija gore opisani ugljenikov ciklus u centru zvezde, energija koja zrači sa površine zvezde popunjava se subatomskom energijom proizvedenom u njenoj unutrašnjosti, i stanje se zvezde menja veoma malo. Čim zvezda, međutim, potpuno potroši svoj vodonik, ne postoje više izvori subatomske energije i zvezda mora da počne da se skuplja, pretvarajući na taj način svoju potencijalnu energiju gravitacije u energiju zračenja. Procesi gravitacionog sužavanja, međutim, razvijaju se vrlo sporo, jer je prenos toplote iz unutrašnjosti ka površini vrlo spor usled visoke neprozirnosti zvezdanog materijala. Može se proceniti, naprimer, da bi našem Suncu bilo potrebno deset miliona godina da se smanji za polovinu sadašnjeg svog poluprečnika. Svaki pokušaj da se skupi brže od toga imao bi odmah za posledicu oslobođenje gravitacione energije, što bi povećalo temperaturu i pritisak gasa u unutrašnjosti i usporilo smanjenje zvezde. Na osnovu gornjih razmatranja vidi se da je jedini način da se ubrza smanjenje zapremine jedne zvezde i da se to smanjenje pretvori u brzo rušenje, kao što se to dešava u slučaju nova i supernova, da se nađe neki mehanizam kojim bi se iz unutrašnjosti zvezde odvela energija oslobođena pri sažimanju. Ako bi se, naprimer, neprozirnost zvezdane materije mogla da smanji za nekoliko milijardi puta, sužavanje bi moglo da se ubrza u istoj razmeri, i jedna takva zvezda bi se sasvim skupila u roku od nekoliko dana. Ova mogućnost, međutim, sasvim otpada, pošto sadašnja teorija zračenja definitivno pokazuje da je neprozirnost zvezdane materije direktna funkcija njene gustine i temperature i da se teško može smanjiti čak i za faktor 10 ili 100.

Nedavno su autor ove knjige i njegov saradnik Dr. Šenberg (Schenberg) postavili hipotezu po kojoj stvarni uzrok raspadanja zvezda leži u masovnom stvaranju neutrina, onih malih nuklearnih čestica o kojima smo potanko raspravljali u VII poglavlju ove knjige. Očevidno je na osnovu opisa neutrina da ta čestica pretstavlja tačno ono oruđe kojim se može izvući višak energije iz unutrašnjosti jedne zvezde koja se sažima, jer je za neutrine čitavo telo zvezde prozirno tako kako je to prozorsko staklo za običnu svetlost. Treba samo videti da li će neutrini biti proizvedeni, i to u dovoljno velikom broju, u zagrejanoj unutrašnjosti jedne zvezde koja se sužava. Reakcije koje moraju biti propraćene emisijom neutrina sastoje se u zahvatu brzih elektrona od strane jezgara raznih elemenata. Kada jedan brzi elektron prodre u jezgro atoma, odmah se emituje jedan visoko energetski neutrino, dok elektron ostaje u jezgru, pretvarajući prvobitno jezgro u nestabilno jezgro iste atomske težine. Pošto je nestabilno, ovo jezgro može da postoji samo određeno vreme, a zatim se raspada emitujući svoj elektron zajedno sa još



Sl. 125 — Urka-proces u jezgru gvožđa dovodi do neograničene proizvodnje neutrina

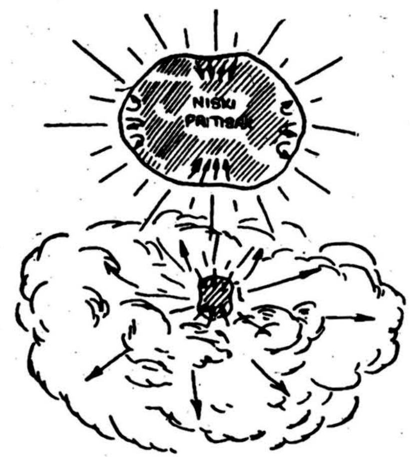
jednim neutrinom. Tada proces iznova počinje i dovodi do nove emisije neutrina (sl. 125).

Ako su temperature i gustina dovoljno velike, kao što jesu u unutrašnjosti zvezda koje se sažimaju, gubici energije putem emisije neutrina biće ogromno veliki. Tako, naprimer, zahvat i emisije elektrona od strane jezgara atoma gvožđa pretvoriće oko 10^{11} erga po gramu na sekund u energiju neutrina. U slučaju kiseonika (gde je nestabilni proizvod radioaktivni azot sa periodom raspadanja od 9 sekundi) zvezda može da izgubi čak i 10^{17} erga na sekund po gramu. Energetski gubici u ovom zadnjem slučaju su tako visoki da se potpuno raspadanje zvezde vrši u roku od 25 minuta.

Na taj način vidimo da nam početak zračenja neutrina iz zagrejanih centralnih područja zvezda koje se sažimaju daje potpuno tumačenje uzroka raspadanja zvezda.

Iako se može prilično lako proceniti brzina gubitka energije kroz emisiju neutrina, ipak moramo podvući da izučavanje procesa raspadanja pretstavlja velike matematičke teškoće, tako da se zasada mogu dati samo kvalitativna tumačenja događaja.

Treba zamisliti da, usled smanjenja pritiska gasa u unutrašnjosti zvezde, mase koje sačinjavaju ogromni spoljni deo tela zvezde počinju da padaju ka centru, privučene silom gravitacije. Pošto je, međutim, svaka zvezda u stanju sporije ili brže rotacije, proces raspadanja se ostvaruje asimetrično, i polarne mase (tj. one blizu osovine okretanja) prvo padaju potiskujući upolje ekvatorijalne mase (sl. 126).



Sl. 126 — Etape u eksploziji jedne supernove

Ovo dovodi na površinu materiju koja je pre bila sakrivena duboko u unutrašnjosti zvezde i bila zagrejana do temperature od nekoliko milijardi stepeni, čime se objašnjava iznenadni brzi porast sjaja zvezda. Kako se proces razvija, materija stare zvezde koja se obrušila kondenzuje se u centru u jednu vrlo gustu zvezdu tipa belog patuljka, dok se izbačene mase postepeno hlade i nastavljaju da se šire formirajući onu vrstu magline kakva je, naprimer, Rak-maglina.

3. Prvobitni haos i vasiona u širenju

Ako razmišljamo o vasioni kao celini, odmah nailazimo na ključno pitanje o njenom razvitku u toku vremena. Moramo li pretpostaviti da je vasiona uvek bila i da će uvek ostati približno u istom stanju kao što je sada? Ili se vasiona stalno menja, prolazeći kroz razne etape evolucije?

Izučavajući ovo pitanje na osnovu empiričkih činjenica koje su skupile razne grane nauke, dolazimo do jednoga određenog odgovora. **Da, naša vasiona se postepeno menja;** njeno stanje u dalekoj prošlosti, njeno stanje u sadašnjosti i ono što će biti u dalekoj budućnosti su tri različita postojanja. Mnogobrojne činjenice koje su skupile razne grane nauke ukazuju na to da je naša vasiona imala izvestan **početak** iz koga se procesom postepene evolucije razvila u sadašnje stanje. Kao što smo ranije videli, starost našeg planetarnog sistema ceni se na nekoliko milijardi godina — broj koji se uporno pojavljuje kao rezultat niza izučavanja tog istog problema iz raznih pravaca. Formiranje Meseca, koji je kako izgleda bio otrgnut iz tela Zemlje jakim gravitacionim silama Sunca, takođe mora da se odigralo pre nekoliko milijardi godina.

Izučavanje evolucije individualnih zvezda (vidi prethodni odeljak) ukazuje na to da je većina zvezda koje mi sada vidimo na nebu stara takođe nekoliko milijardi godina. Izučavanje kretanja zvezda uopšte, a naročito relativnog kretanja dvojnih i višestrukih zvezdanih sistema, kao god i kretanja komplikovanijih zvezdanih grupa poznatih pod imenom zvezdanih jata, dovodi astronome do zaključka da takve konfiguracije nisu mogle da postoje duže od gore naznačenog vremena.

Nezavisno od toga imamo dokaze na osnovu razmatranja relativne obimnosti raznih hemiskih elemenata, a naročito količina radioaktivnih elemenata kao što su torijum i uran za koje se zna da se postepeno raspadaju. Ako uprkos njihovog postepenog raspadanja ti elementi još uvek postoje u vasioni, moramo pretpostaviti bilo da oni stalno nastaju od lakih jezgara i u današnje vreme, bilo da su oni poslednji ostaci jedne rezerve koju je priroda formirala u dalekoj prošlosti.

Naše sadašnje znanje procesa nuklearnih transformacija prisiljava nas da odbacimo prvu pretpostavku, pošto čak i u unutrašnjosti najtoplijih zvezda temperatura nikad ne dostiže ogromne razmere potrebne za »kuvanje« radioaktivnih jezgara. Ustvari, kao što smo videli u prethodnom odeljku, temperature unutrašnjosti zvezda mere se u desetinama miliona stepeni, dok je za »kuvanje« radioaktivnih jezgara iz lakših elemenata potrebna temperatura od nekoliko milijardi stepeni.

Prema tome moramo pretpostaviti da su jezgra teških elemenata nastala u nekom prošlom stadiumu razvitka vasione, i da **je u toj određenoj eposi sva materija bila podvrgnuta nekim strahovitim temperaturama i odgovarajućim pritiscima.**

Možemo doći i do neke procene približnog datuma ove etape vasione. Znamo da se torijum i U238, koji imaju srednji život od 18, odnosno 4,5 milijarde godina, nisu raspali u većem procentu, pošto su sada isto tako obilni kao neki drugi stabilni teški elementi. S druge strane, uran 235, čiji je život svega pola milijarde godina, je 140 puta ređi od U238. Sadašnja velika obilnost U238 i torijuma ukazuje na to da se nastajanje elemenata nije moglo odigrati pre više od nekoliko milijardi godina, a mala količina U235 omogućuje još preciznije određivanje. I zaista, ako se količina ovog elementa smanjivala svakih 500 miliona godina, onda je potrebno sedam takvih perioda, tj. 3.500.— milijarde godina da se ona smanji na 140-i deo (jer je:

$$\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}=\frac{1}{128}$$

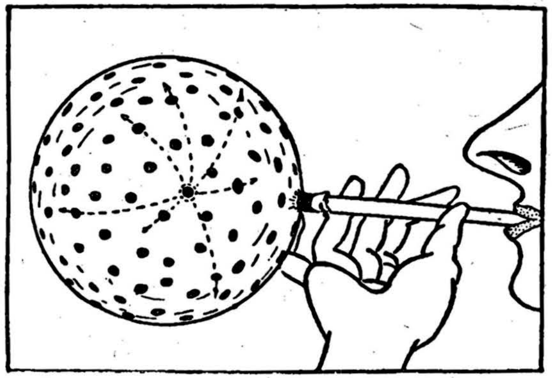
Ova procena starosti hemiskih elemenata, dobivena isključivo na osnovu podataka nuklearne fizike, savršeno se podudara sa procenom starosti planeta, zvezda i zvezdanih sistema do kojih smo došli čisto astronomskim podacima!

Ali kakvo je bilo stanje vasione u toj ranoj mladosti, pre nekoliko milijardi godina kada je, izgleda, sve nastalo? I kakve su se sve promene mogle odigrati u međuvremenu da bi vasiona došla u svoje sadašnje stanje?

Najpotpuniji odgovor na ta pitanja može se dobiti proučavanjem fenomena »širenja vasione«. U prethodnom poglavlju smo videli da je ogromni prostor vasione ispunjen velikim brojem zvezdanih sistema ili galaksija, i da je naše Sunce samo jedna od nekoliko milijardi zvezda u jednoj od tih galaksija, poznatoj kao Mlečni Put. Takođe smo videli da su ove galaksije manje-više ravnomerno rasprostranjene kroz prostor dokle god oko (razume se uz pomoć teleskopa od 2,5 m.) može da dopre.

Izučavajući spektre svetlosti kod tih udaljenih galaktika, astronom E. Habl sa opservatorije Mt. Vilson primetio je da su spektralne linije pomerene malo ka crvenom delu spektra i da je ovo »crveno pomeranje« veće za udaljenije galaksije. I zaista, utvrđeno je da je ovo crveno pomeranje koje je primećeno kod raznih galaksija direktno proporcionalno njihovoj udaljenosti od nas.

Najprirodniji način da se rastumači ova pojava je da se pretpostavi da se **sve galaksije udaljuju od nas brzinom koja raste sa njihovom udaljenošću od nas.** Ovo tumačenje zasniva se na takozvanom »Doplerovom efektu«, po kojem svetlost iz jednog izvora koji nam se približuje menja svoju boju u pravcu ljubičastog kraja spektra, dok se svetlost izvora koji se udaljuje pomera ka crvenom kraju. Razume se, da bi se dobilo primetno pomeranje, relativna brzina izvora



Sl. 127 — Tačke se razilaze jedna od druge kad se gumeni balon širi

u odnosu na posmatrača mora biti znatno velika. Kada je profesor R. Vud (Wood) bio uhapšen zato što je prošao pored crvenog saobraćajnog znaka u gradu Baltimoru i rekao sudiji da mu je usped Doplerovog efekta svetlo izgledalo zeleno, jer mu se približavao svojim automobilom, profesor je ovde prosto namagarčio sudiju. Da je sudija znao nešto više fizike, on bi upitao prof. Vuda kojom je brzinom morao da vozi kola da bi mu crveno svetlo izgledalo zeleno, a zatim bi ga kaznio zbog prebrze vožnje.

Razmatrajući problem »crvenog pomeranja« koji se primećuje kod galaksija, u prvi mah dolazimo do jednog nezgodnog zaključka. Izgleda kao da sve galaksije u vasioni beže od našeg Mlečnog Puta kao da je to neki galaktički

Frankenštajn! Kakva su to, dakle, strašna svojstva našeg zvezdanog sistema, i zašto je tako omražen među svim drugim galaksijama? Ako malo razmislite o ovom pitanju lako ćete doći do zaključka da se ništa naročito rđavo ne događa sa našim Mlečnim Putem, i da druge galaksije ne beže samo od njega, već da sve one beže uzajamno jedne od drugih. Zamislite jedan balon na čijoj je površini nacrtano puno tačkica (sl. 127). Ako počnete da ga naduvavate, povećavajući tako njegovu površinu sve više, razdaljine između pojedinih tačaka stalno će rasti, tako da će neka bubica koja sedi na jednoj tački imati utisak kao da sve druge tačke beže »od nje«. I dalje, brzine udaljavanja raznih tačaka na ovom balonu koji se širi biće direktno proporcionalne njihovim razdaljinama od bubine osmatračnice.

Ovaj primer jasno pokazuje da udaljavanje galaksija koje je utvrdio Habl nema nikakve veze sa svojstvima ili položajem naše galaksije, već da ga treba rastumačiti prosto na osnovu **opšteg ravnomernog širenja sistema galaksija razasutih kroz prostor vasione.**

Na osnovu uočene brzine proširenja i sadašnjih razdaljina između susednih galaksija može se lako izračunati da je **ovo proširenje moralo da počne pre 2—3 milijarde godina.**[5])

Pre toga vremena odvojeni oblaci zvezda koje mi sada nazivamo galaksijama sačinjavali su delove ravnomerne raspodele zvezda kroz čitav prostor vasione, a u još ranijem dobu i same zvezde su bile zgusnute i na taj način vasiona je bila puna ravnomerno raspodeljenoga veoma toplog gasa. Ako idemo još više unazad, videćemo da je ovaj gas bio i gušći i topliji i da je to verovatno bilo ono doba kad su nastali razni hemiski — a naročito radioaktivni — elementi. Još jedan korak unazad u vremenu i videćemo da je materija vasione bila zgusnuta u jednu neobično gustu i neobično toplu nuklearnu tečnost o kojoj smo raspravljali u VII poglavlju.

5) Prema prvobitnim podacima Habla, srednja razdaljina između dve susedne galaksije iznosi oko 1,7 miliona svetlosnih godina (ili $1 \times 6 \times 10^{19}$ km), dok je njihova uzajamna brzina udaljavanja oko 300 km. na sekund. Ako pretpostavimo ravnomernu brzinu širenja, dobićemo da je vreme ekspanzije $\frac{1 \times 6 \times 10^{19}}{300} = 5 \times 10^{16}$ sec. Noviji podaci, međutim, dovode do nešto dužeg vremena.

Sad možemo da saberemo sva ova posmatranja i da sagledamo razne događaje koji su obeležili evoluciju vasione u njihovom pravilnom redu.

Čitava priča počinje embrionalnim stadijumom vasione kada je sva materija koju mi sada vidimo razbacanu po prostoru dokle god možemo dopreti teleskopom Mt. Vilsona (tj. u prečniku od 500 miliona svetlosnih godina) bila zgusnuta u jednu sferu sa plupречnikom od svega 8 Sunčevih poluprečnika.[6]) Međutim, ovo ekstra-gusto stanje nije dugo trajalo, pošto je brza ekspanzija morala svesti gustinu vasione do stepena koji je bio oko milion puta veći od gustine vode i to u roku od 2 sekunde, a do gustine vode u roku od nekoliko sati. Otprilike u to vreme prethodno kontinuirano-skupljeni gas morao se razbiti u odvojene sfere gasa koje sada sačinjavaju pojedine zvezde. Ove zvezde koje su se razdvajale usled ekspanzije, docnije su se odvojile u odvojene zvezdane oblake, koje mi zovemo galaksije i koje se još udaljuju jedna od druge u nepoznate dubine vasione.

Sada se možemo upitati koje sile prouzrokuju širenje vasione, i da li će se ova ekspanzija ikad zaustaviti ili se čak preobraziti u kontrakciju. Postoji li mogućnost da se mase vasione, koje se sad šire, okrenu prema nama i da zgnječe naš Sunčev sistem, Mlečni Put, Sunce, Zemlju i čovečanstvo na Zemlji u neku smesu gustine jezgra?

Na osnovu zaključaka koji se zasnivaju na dosada najboljim podacima to se nikad neće dogoditi. Davno, u ranim etapama, njene evolucije, u vasioni su se raskinule sve veze koje su je mogle održavati u stanju kontinuirane celine, i sad se ona širi u beskonačnost na osnovu običnog zakona inercije. Te veze koje smo baš spomenuli sačinjavale su gravitacione sile koje su imale tendenciju da spreče mase u vasioni da se razbegnu.

[6]) Pošto je gustina nuklearne tečnosti $10^{14} \frac{gr.}{cm^3}$, a sadašnja srednja gustina materije u prostoru vasione iznosi $10^{-30} \frac{gr.}{cm^3}$, linearna kontrakcija iznosi $\sqrt[3]{\frac{10^{14}}{10^{-30}}} = 5.10^{14}$. Na taj način sadašnje razdaljine od 5×10^8 svetlosnih godina bile su u ono vreme svega $\frac{5.10^8}{5 \cdot 10^{14}} = 10^{-6}$ svetlosnih godina = 10,000.000 km.

Da bismo izneli neki primer koji bi uneo malo razjašnjenja, pokušajmo da ispalimo jednu raketu sa površine Zemlje u međuplanetarni prostor. Znamo da nijedna od postojećih raketa, čak ni čuvena V-2, nemaju dovoljno pogonske snage da pobegnu u slobodni prostor, da bivaju uvek zaustavljene u svome dizanju silama gravitacije koje ih privlače nazad na Zemlju. Međutim, kad bismo bili u stanju da napravimo raketu sa pogonskom snagom koja bi joj omogućila da krene sa početnom brzinom od 11 km. na sekund — što ne izgleda neostvarljivo u svetlosti razvitka atomskih mlaznih raketa — ta raketa bi uspela da izađe izvan domena gravitacionog privlačenja Zemlje, da pobegne u slobodni prostor gde će nastaviti da se kreće bez uznemirenja. Brzina od 11 km. na sekundu obično se naziva »brzinom bekstva« od Zemljine gravitacije.

Zamislite sada jednu artiljerisku granatu koja je eksplodirala u vazduhu i čija parčad lete u svim pravcima (sl. 128a). I ova parčad, koja su izbačena silom eksplozije, lete protiv

Sl. 128 — Artiljeriska granata eksplodira u vazduhu

grvitacionih sila koje teže da ih privuku zajedničkom centru. Očvidno je bez daljnjega kad su u pitanju parčad granate da su ove sile uzajamnog privlačenja zanemarljive, tj. one su tako slabe da ne utiču ni malo na kretanje parčadi kroz prostor. Međutim, da su one jake, one bi bile u stanju da zaustave parčad u njihovom letu, i da ih prisile da se vrate nazad ka svom zajedničkom centru teže (sl. 128b). Pitanje da li će se parčad jedne granate vratiti ili odleteti u beskonačnost određuje se relativnim vrednostima kinetičke energije kretanja i potencijalne energije gravitacionih sila između njih.

Zamenite parčad granate odvojenim galaksijama i dobićete sliku vasione u širenju, kao što je opisana na prethodnim stranicama. Ovde, međutim, usled velikih masa pojedinih galaksija, potencijalna energija gravitacionih snaga postaje od velike važnosti u odnosu na kinetičku energiju,[7]) tako da se o budućem proširenju može govoriti samo na osnovu pažljivog izučavanja dveju spomenutih veličina.

Na osnovu najautoritativnijih podataka o masama galaksija izgleda da je u sadašnje vreme kinetička energija galaksija koje se udaljuju jedna od druge nekoliko puta veća od njihove uzajamne potencijalne gravitacione energije, iz čega sledi da se **naša vasiona širi u beskonačnost bez ikakve verovatnoće da će sile gravitacije ponovo da je skupe.** Međutim, ne treba zaboraviti da u većini numerički podaci o vasioni kao celini nisu vrlo precizni, i da je moguće da buduće studije opovrgnu ovaj zaključak. Ali čak i kad bi vasiona odjednom stala u svome širenju, a proces širenja se preobratio u skupljanje, bilo bi potrebno nekoliko milijardi godina pre nego što dođe do onog strašnog dana o kome se peva u crnačkoj pesmi »Kada zvezde počnu da padaju«, i mi budemo zgnječeni pod teretom srušenih galaksija.

Koja je to vrsta visokoeksplozivnog materijala koja je izbacila delove vasione da se oni kreću u svim pravcima tako ogromnom brzinom? Odgovor će biti malo razočaravajući: verovatno nije bilo eksplozije u običnom smislu reči. Vasiona se širi pošto se u pređašnjem periodu svoje istorije — o kome razume se nema nikakvog podatka — bila skupila u jedno vrlo gusto stanje, a zatim se proširila kao da je izbačena jakim elastičnim silama koje se pojavljuju u kompresovanoj materiji. Ako uđete u neku sobu baš u trenutku kad vidite kako lopta za ping-pong leti od poda visoko u vazduh, vi ćete zaključiti — i ne razmišljajući — da je lopta udarila u pod sa znatne visine i da je sad otskočila u vis usled elasticiteta.

Sad možemo pustiti na volju svojoj mašti i da se, prelazeći preko svih obzira, zapitamo da li se u onim etapama

[7]) Dok je kinetička energija kretanja proporcionalna njihovoj masi, njihova uzajamna potencijalna enegrija raste sa kvadratom njihovih masa.

vasione koje su prethodile ovom današnjem njenom širenju sve možda događalo obrnutim redom od ovog današnjeg. Da niste vi čitali ovu knjigu od zadnje stranice ka prvoj pre nekih 6—8 milijardi godina? Da nisu ljudi u to vreme proizvodili pečene kokoši, izvlačeći ih iz usta, oživljavali ih u kujni, slali ih u dvorište gde su kokoši rasle do pilića, konačno se zavlačile u ljuske jaja i posle nekoliko nedelja iz njih nastajala sveža jaja? Koliko god ova pitanja bila interesantna sa naučne tačke gledišta, na njih se ne može odgovoriti, pošto je maksimalna kompresija vasione, koja je zgnječila svu materiju u jednu ravnomernu nuklearnu tečnost, potpuno izbrisala sve podatke o tom ranijem stanju.

SADRŽAJ

Džordž GAMOV
JEDAN, DVA, TRI... DO BESKONAČNOSTI

Preveli: Stevan Dedijer i Bora Drenovac
Tehnički urednik: Ratko A. Jovčić
Korektor: Branko Mijatović
Izdanje: Novinsko-izdavačko preduzeće »Tehnička knjiga« — Beograd, 7 jula 26/I
Štampa: Beogradski grafički zavod — Beograd, Bulevar vojvode Mišića br. 17
Štampanje završeno oktobra 1955