

**LION LEDERMEN.**  
**SA**  
**DIKOM TEREZIJEM**

**BOŽIJA**  
**ČESTICA**

**Ledermen Lion**

# **BOŽIJA ČESTICA**

**Prevod: Nedeljković B. Aleksandar**

**Lederman Leon GOD PARTICLE (THE), 1993.**

# SADRŽAJ

<b>UVOD</b> .....	
DRAMATIS PERSONAE .....	
<b>1. NEVIDLJIVA FUDBALSKA LOPTA</b> .....	
KAKO DEJSTUJE VASELJENA .....	
POČETAK NAUKE .....	
KAKO JE LAV (LION) UPAO U KLOPKU .....	
BIBLIOTEKA MATERIJE .....	
KVARKOVI I PAPA .....	
NEVIDLJIVA FUDBALSKA LOPTA .....	
PIRAMIDA NAUKE .....	
EKSPERIMENTATORI I TEORETIČARI: FARMERI, SVINJE I TARTUFI .....	
TIPOVI KOJI SU OSTAJALI BUDNI DO DUBOKO U NOĆ .....	
AJOJ! MATIŠ! .....	
VASELJENA JE STARA SAMO IZVESTAN BROJ SEKUNDI (NEKIH 1018 SEKUNDI) ....	
PRIČA O DVA GRADA I O KONAČNOJ MAJICI .....	
TAJANSTVENI GOSPODIN HIGGS .....	
KULA I AKCELERATOR .....	
<b>2. PRVI FIZIČAR ČESTICA</b> .....	
U DUBINI NOĆNOG MIRA, SA LEDERMENOM .....	
GLEDANJE KROZ KALEIDOSKOP .....	
<b>3. TRAGANJE ZA ATOMOM: MEHANIKA</b> .....	
GALILEJ, ZAZA GABOR I JA .....	
LOPTE I NAGIBI .....	
PERCE I NOVČIĆ .....	
ISTINA O TORNJU .....	
GALILEJEVI ATOMI .....	
AKCELERATORI I TELESKOPI .....	
KARL SEGAN IZ 1600. GODINE .....	
ČOVEK BEZ NOSA .....	
MISTIK POSTIŽE USPEH .....	
PAPA GALILEJU: CRKNI .....	
SUNČANI SUNĐER .....	
GOSPODAR KOVNICE .....	
NEK SILA BUDE SA NAMA .....	
ISAKOVO OMILJENO F .....	
A ŠTA GURA NAGORE? .....	
TAJNA DVE MASE .....	
ČOVEK SA DVA UMLAUTA .....	
DONOSILAC VELIKE SINTEZE .....	
NEVOLJA SA GRAVITACIJOM .....	
ISAK I NJEGOVI ATOMI .....	
ONO UTVARNO .....	
DALMATINSKI PESNIK .....	
<b>4. NASTAVLJAMO TRAGANJE ZA ATOMOM: HEMIČARI I ELEKTRIČARI</b> .....	
ČOVEK KOJI JE OTKRIO DEVET PALČEVA NIČEGA .....	
SABIJANJE GASA .....	
IGRA NAZIVIMA .....	
PELIKAN I BALON .....	
POVRATAK ATOMU .....	
KARTANJE S ELEMENTIMA .....	
ELEKTROŽABE .....	
TAJNA HEMIJSKE VEZE: OPET ČESTICE .....	
ŠOK U KOPENHAGENU .....	

OPET DEJA VU .....	
SVEĆE, MOTORI, DINAMO-MAŠINE .....	
NEKA POLJE BUDE SA VAMA .....	
BRZINOM SVETLOSTI .....	
HERC PRISKAČE U POMOĆ .....	
MAGNET I KUGLA .....	
VREME DA SE KRENE KUĆI? .....	
PRVA PRAVA ČESTICA .....	
<b>5. GOLI ATOM</b> .....	
KAD DUGA NIJE DOVOLJNA .....	
ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 1: ULTRALJUBIČASTA KATASTROFA .....	
ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 2: FOTOELEKTRIČNI EFEKAT .....	
ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 3: KO ĆE PUDING OD ŠLJIVA? .....	
BITKA .....	
BOR NA KRILIMA LEPTIRA .....	
DVA MINUTA ZA ENERGIJU .....	
PA ŠTA? .....	
ZAVIRITI POD VEO .....	
ČOVEK KOJI SE NIJE RAZUMEO U BATERIJE .....	
TALASI MATERIJE I DAMA U VILI .....	
TALAS VEROVATNOĆE .....	
ŠTA OVO ZNAČI, ILI FIZIKA ZA SEČENJE TKANINE .....	
IZNENAĐENJE NA VRHU PLANINE .....	
NEODREĐENOST I SVE TO .....	
SILNE MUKE NA DVOSTRUKOM PROREZU .....	
NJUTN PROTIV ŠREDINGERA .....	
TRI STVARI KOJE TREBA ZAPAMTITI O KVANTNOJ MEHANICI .....	
Međuigra B: RAZIGRANI ŠUĆ-MUĆ MAJSTORI .....	
PRVA TUTNJAVA REVOLUCIJE .....	
<b>6. AKCELERATORI: ATOME RAZBIJAJU, ZAR NE?</b> .....	
DA LI BOGINJA SVE OVO IZMIŠLJA U HODU? .....	
ZAŠTO TAKO MNOGO ENERGIJE? .....	
RAZMAK .....	
PONDERATOR .....	
MONEOVA KATEDRALA, ILI TRINAEST NAČINA DA GLEDAMO PROTON .....	
NOVA MATERIJA: NEKI RECEPTI .....	
PUNO NIŠTA ČESTICA .....	
TRKA .....	
GLAVNI DRMATOR U KALIFORNIJI .....	
VELIKA NAUKA I KALIFORNIJSKO 'ONO NEŠTO' .....	
SINHROTRON: VRTI DO MILE VOLJE .....	
AJK I PIONI .....	
BEPOVE DAME .....	
PRVI SPOLJAŠNJI ZRAK: KO HOĆE DA SE KLADI, MOLIM! .....	
IZLET U SOCIOLOGIJU: POREKLO VELIKE NAUKE .....	
POVRATAK MAŠINAMA: TRI ZNAČAJNA TEHNIČKA UNAPREĐENJA .....	
DA LI JE VEĆE UVEK I BOLJE? .....	
ČETVRTO VELIKO OTKRICE: SUPERPROVODLJIVOST .....	
KAUBOJ DIREKTOR .....	
JEDAN DAN U ŽIVOTU PROTONA .....	
ODLUKE, ODLUKE: PROTONE ILI ELEKTRONE? .....	
KOLAJDERI PROTIV META .....	
PRAVLJENJE ANTIMATERIJE .....	
OSMATRANJE CRNE KUTIJE: DETEKTORI .....	
MNOGO POSLA, MALO MEHURIĆA .....	
ŠTA SMO TO OTKRILI: AKCELERATORI I NAPREDAK FIZIKE .....	
TRI FINALA: VREMEPLOV, KATEDRALE I AKCELERATOR NA ORBITI	

Međuigra C: KAKO SMO ZA JEDAN VIKEND NARUŠILI PARNOST... I OTKRILI BOGA.	
OPIT U OGLEDALU .....	
KAFE 'ŠANGAJ' .....	
OPIT .....	
<b>7. A-TOM!</b> .....	
ELEKTRIČNA SILA .....	
VIRTUELNE ČESTICE .....	
MUONOV LIČNI MAGNETIZAM .....	
SLABA SILA .....	
MALČICE SLOMLJENA SIMetriJA, ILI ZAŠTO UOPŠTE POSTOJIMO .....	
HVATANJE MALOG NEUTRALNOG U KLOPKU .....	
EKSPLOZIJA JEDNE JEDNAČINE .....	
KOMPANIJA ZA UBISTVA I OPIT SA DVA NEUTRINA .....	
BRAZILSKI DUG, KRATKE SUKNJICE I OBRATNO .....	
JAKA SILA .....	
KRICI KVARKA .....	
ZAKONI OČUVANJA .....	
NIOBIJUMSKE LOPTE .....	
POVRATAK 'RADERFORDA' .....	
NOVEMBARSKA REVOLUCIJA .....	
LOV NA DŽOMBU .....	
ČEMU FRKA? ZAŠTO KISELO GROŽĐE? .....	
GOLI ŠARM .....	
TREĆE POKOLENJE .....	
SLABOJ SILI PONOVO U POHODE .....	
VREME DA SE DIŠE BRŽE .....	
NAĐITE ZE NULA .....	
JAKOJ SILI PONOVO U POHODE: GLUONI .....	
NEMA DALJE? .....	
<b>8. KONAČNO - BOŽIJA ČESTICA</b> .....	
JEDAN ODLOMAK CRNIH MUKA OKO STANDARDNOG MODELA .....	
SKRIVENA JEDNOSTAVNOST: STANDARDNOME MODELU NAJVEĆA RADOST .....	
MODEL STANDARDNI, GODINA 1980. ....	
HIMERA OBJEDINJENJA .....	
BAŽD... .....	
NAĆI W .....	
KARLO I GORILA .....	
VOŽNJA NA DVADESET DEVETKI .....	
TRIJUMF! .....	
DOPUNITI STANDARDNI MODEL DO RUBA ČAŠE .....	
O ČEMU PRIČAMO? .....	
TRAGANJE ZA VRHOM .....	
STANDARDNI MODEL, KLIMAVA PLATFORMA .....	
I KONAČNO.....	
KRIZA MASE .....	
KRIZA JEDINSTVENOSTI .....	
HIGSOVA KRIZA .....	
DIGRESIJA NI O ČEMU .....	
PRONAĆI HIGSA! .....	
PUSTINJATRON .....	
PREDSEDNİK REGAN I SUPERKOLAJDER: ISTINITA PRIČA .....	
<b>9. MIKROKOSMOS, MAKROKOSMOS I VREME PRE VREMENA</b> .....	
MIKROKOSMOS/MAKROKOSMOS .....	
AKCELERATOR SA NEOGRANIČENIM BUDŽETOM .....	
IMA TEORIJA I TEORIJA .....	
GUTOVI .....	
SUZI .....	

---

SUPERSTRUNE .....	
RAVNOST I TAMNA MATERIJA .....	
ČARLTON, GOLDA I GUT .....	
INFLACIJA I SKALARNA ČESTICA .....	
PRE POČETKA VREMENA .....	
POVRATAK GRKA .....	
ZBOGOM I DO VIĐENJA .....	
KRAJ FIZIKE .....	
OBAVEZAN ZAVRŠETAK S BOGOM .....	
<b>ZAHVALNICE .....</b>	
<b>BELEŠKA O ISTORIJI I IZVORIMA .....</b>	
<b>POGOVOR SRPSKOM IZDANJU.....</b>	

## **UVOD**

Sviđaju mi se relativnost i kvantna teorija.  
Doduše, ništa o njima jasno ne uspevam da naučim,  
ali vidim da se u njima prostor pomera, uvija  
kao labud na vodi kad ga neki nemir muči.  
Uzalud mu prilaziš sa metrom i satom,  
za merenje prostora nikad nije pravi dan.  
Jer neku volju, vidite, ima i atom,  
pa svaki čas menja svoje htenje i plan.

D. H. Lorens

## DRAMATIS PERSONAE

Atomos ili a-tom: Teorijski predviđena čestica. Pronašao ju je Demokrit. Ovaj a-tom mora biti nedeljiv i nevidljiv. On je najmanja jedinica materije. Ne treba ga mešati sa takozvanim hemijskim atomom, koji je samo najmanja jedinica nekog hemijskog elementa (vodonika, recimo, ili ugljenika, kiseonika i tako dalje).

Kvark: I ovaj je a-tom. Postoji šest različitih kvarkova - pet ih je otkriveno, a za onim šestim se još traga (sada, godine 1993). Svaki od te šestorice junaka može biti u tri boje. Samo dvojica od njih šestorice, kvark gore i kvark dole, postoje prirodno u današnjoj Vaseljeni.

Elektron: Prvi otkriveni a-tom, još godine 1898. Za njega se, kao i za sve savremene a-tome, veruje da ima čudnovatu odliku 'nultog prečnika'. Član je leptonske porodice a-toma.

Neutrino: Još jedan a-tom iz porodice leptona. Postoje tri vrste neutrina. Od njih se ne gradi materija, ali su bitni za izvesne reakcije. Pobeđuju na takmičenjima minimalista: imaju naelektrisanje nula, prečnik nula, a i masu, najverovatnije, nula.

Muon i tau: Ovi leptoni su rođaci elektrona, samo su mnogo teži.

Foton, graviton, W+, W- i Z0: sve vam je ovo jedna porodica. Jesu čestice, ali nisu čestice materije kao kvarkovi i leptoni. Prenose elektromagnetnu, gravitacionu, slabu i jaku silu, tim redom kako ih nabrojismo. Od svih njih, jedino još graviton nije otkriven.

Praznina: Ništa. Ništavilo. To vam je ono prazno kroz koje se a-tomi kreću. Današnji teoretičari su zasuli prazninu (kao izletnici otpacima) svakojakim kršem virtuelnih čestica i drugim smećem. Savremena reč za prazninu glasi 'vakuum'. Ali ponekad se kaže i 'eter' (vidi ispod).

Eter: Izmislio ga je ser Isak Njutn (Isaac Newton), po drugi put ga je izmislio Džejms Klerk Maksvel (James Clerk Maxwell). To vam je ono nešto što, ipak, ispunjava prazninu Vaseljene. Ajnštajn (Albert Einstein) je dokazao njegovo nepostojanje i odbacio ga, ali eter se sada, ipak, krišom nekako vraća i uvlači na pozornicu, kao onaj bivši američki predsednik Ričard Nikson. Jeste, eter je vakuum, zaista, ali, natovaren česticama koje su samo teorijski postojeće, dakle, samo su aveti, duhovi čestica.

Akcelerator: Sprava u kojoj povećavamo energiju čestica. Pošto je  $E = mc^2$ , akcelerator učini da te čestice postanu teže.

Eksperimentator: fizičar koji vrši opite.

Teoretičar: fizičar koji ne vrši opite.

Predstavljamo vam i glavnog glumca...

BOŽIJU ČESTICU

(poznatu i pod nazivima Higsova čestica, ili Higsov bozon, ili Higsov skalarni bozon)



# 1. NEVIDLJIVA FUDBALSKA LOPTA

*Ništa ne postoji osim atoma i praznog prostora; sve ostalo su samo mnjenja.*

Demokrit iz Abdere

U samom početku beše praznina - jedna neobična vrsta vakuuma - jedno ništa u kome nije bilo ni prostora, ni vremena, ni materije, ni svetlosti, ni zvuka. Pa ipak su zakoni prirode bili tu, i bili su na snazi, a ovaj čudnovati vakuum imao je svoj potencijal. Kao divovska stena koja leži na samom rubu ogromno visoke litice...

E, čekajte malo.

Pre nego što stena padne, bilo bi pošteno da priznam da zaista pričam sasvim napamet. Logično je da priča počne od početka. Ali ovo je priča o Vaseljenu, a mi, nažalost, nemamo nikakvih podataka o Samom Početku. Nikakvih. Nula, ništa. Ne znamo mi baš ništa o Vaseljenu pre nego je navršila jedan milijarditi deo bilionitog dela prve sekunde - veoma kratko razdoblje posle trenutka samog njenog stvaranja u Velikom prasku. Prema tome, dobro pazite: kad god čitate ili slušate 'kako je rođena Vaseljena', to neko izmišlja. Tu ste na području filozofije. Samo Bog zna šta se desilo na Samom Početku. Ali, do dana današnjeg, Ona nam to nije rekla.

Dobro, gde smo stali? A-ha...

Kao divovska stena koja se nadnosi nad zjapeći bezdan, Ništavilo je čekalo, u ravnoteži tako izvrsnoj da je samo jedan najobičniji hir, ništa više, jedno proizvoljno 'e baš mi se hoće', bio sasvim dovoljan uzrok za promenu - koja se, stvarno, i dogodila, i stvorila Vaseljenu. Tek tako: bum! Ništavilo je eksplodiralo. U toj prvoj provali ognja stvoreni su i prostor i vreme.

Iz te energije izronila je materija - gusta plazma čestica koja se rastopila u zračenje, a onda opet zgusnula u materiju. (Sad već imamo u rukama bar poneku činjenicu, i bar nešto malo teorije, makar i spekulativne. Sa to malo činjenica, i malo nekih hipotezica, već može da se radi.) Čestice su se sudarale, i na taj način dovodile do rađanja novih čestica. Vreme i prostor su ključali i penušali se, crne rupe su se stvarale i rastakale. Kakav je to prizor bio!

U toku tog širenja, Vaseljena se i hladila. Osim toga, postajala je manje gusta. Čestice su se učvršćivale, a sile su se razdvajale jedna od druge. Nastajali su protoni i neutroni, zatim atomska jezgra, pa i celi atomi; i ogromni oblaci prašine su nastajali, a oni su, nastavljajući da se rasprostiru u sve šira prostranstva, ponegde ipak počinjali - onako, lokalno, samo u najbližem susedstvu - da se zgrušavaju, stvarajući zvezde, galaksije i planete. Na jednoj planeti, jednoj sasvim običnoj, koja kruži oko jednog sasvim osrednjeg sunca, kao trunčica u jednom spiralnom kraku jedne sasvim obične galaksije - vaspostavili su se zatalasani kontinenti i uzavreli okeani, a posle se u okeanima pojavilo i mnogo nečeg ljigavog. To ljigavo bili su organski molekuli, koji su otpočeli svoje reakcije, sagradili belančevine, i život je počeo. Iz jednostavnih organizama razvile su se, evolucijom, biljke i životinje, i jednog dana pojavila su se i ljudska bića.

Glavna razlika između ljudskih i ostalih bića bila je u tome što je jedino ta živa vrsta osećala silnu radoznalost u vezi sa svojom okolinom. Tokom dugog vremena, među ljudima su se dogodile i mutacije; jedna čudnovata podvrsta ljudskih stvorova počela je da lunja tamo-amo po svetu. Nadmeni neki stvorovi to behu. Umesto da naprosto uživaju u veličanstvenosti Vaseljene, oni stalno nešto zapitkuju. Kako ovo? Kako ono? Kako je stvorena Vaseljena? Kako je moguće da jedna ista vasseljenska 'tvar' proizvede tako nepojamnu raznovrsnost našeg sveta - zvezde i planete, morske vidre i okeane, korale i Sunčev sjaj, ljudski mozak? Na ovo poslednje pitanje mutanata mogao se naći odgovor, ali tek posle nekoliko hiljada godina mukotrpnog truda, silnog posvećivanja tom radu, upornog prenošenja znanja sa učitelja na učenika, i tako dalje, i tako dalje... stotinama pokolenja. Pitanje je dovelo i do mnoštva netačnih i postidujuće glupavih odgovora. Ali ovi mutanti su urođeno nesposobni da se postide u slučaju da nešto ne znaju ili promaše. Nazivaju se: fizičari.

Oni su mozgali o tom pitanju već nekih dve i po hiljade godina. Da se razumemo - to je, na kosmološkoj skali vremena, tek treptaj oka. Mi danas, posle dvadeset pet vekova njihovog truda, počinjemo naslućivati celinu priče o Postanju. Pomoću naših mikroskopa i teleskopa, opservatorija i laboratorija - i pomoću naših svezaka u kojima beležimo štošta - počinjemo nazirati čistu i prečistu lepotu i simetriju koje vladahu prvim trenucima Vaseljene. Maltene vidimo kako je to izgledalo. Ali, maltene; ne baš sasvim. Slika još nije jasna - štaviše, osećamo da nam nešto zaklanja pogled; nešto, neka mračna sila koja pomućuje, prikriva, zapetljava suštinsku jednostavnost našeg sveta.

## **KAKO DEJSTUJE VASELJENA**

Ova knjiga posvećena je jednom problemu, a to je onaj koji izaziva pometnju u nauci još od antičkih vremena. Šta su poslednji, krajnji, najmanji delići od kojih je materija sagrađena? Grčki filozof Demokrit dao im je naziv atomi. Na grčkom jeziku bi 'a tomos' značilo: onaj koji se ne može seći. Mi ćemo reći da je to a-tom; tako napisano, sa crticom. Pazite dobro, to nije onaj atom o kome ste učili na času hemije u srednjoj školi - recimo, atom vodonika, helijuma, litijuma, i tako redom sve do urana i još težih. Hemijski atom jeste (sa našeg današnjeg stanovišta, ali, zaista, i sa Demokritovog stanovišta) jedna velika, složena i zamršena hrpa koječega. Hemijski atom je prepun raznoraznih i kojekakvih 'celina'. Gledano očima fizičara, hemijski atom je puna kanta (i to kanta za smeće) elektrona, protona i neutrona, a protoni i neutroni su takođe kante, ili kofe, pune nekih manjih momaka. Međutim, mi baš hoćemo da znamo šta je ono najsitnije, najprimitivnije, i kakve sile upravljaju društvenim životom tih najjednostavnijih čestica. E, ta najjednostavnija, koju još nismo pronašli, to je Demokritov a-tom, to je ključ za shvatanje materije.

Materija koju danas vidimo oko sebe prilično je složena. Postoji stotinak različitih vrsta hemijskih atoma. Broj korisnih, upotrebljivih kombinacija tih atoma (hemijskih) može se izračunati, i ogroman je: postoje milijarde i milijarde toga. Priroda je iskoristila neke od tih kombinacija hemijskih elemenata (za koje imamo i naziv: molekuli) i napravila planete, sunca, viruse, planine, čekove za plaćanje bez gotovog novca, pilule aspirina, literarne agente i druge korisne predmete. Ali nije oduvek bilo tako. Tokom najranijih trenutaka posle nastanka Vaseljene, dakle posle Velikog praska, nije postojala ta raznovrsnost materije kakvu poznajemo danas. Nije bilo atomskih jezgara, a ni atoma, nije bilo ničeg što bi se sastojalo od nekih manjih, jednostavnijih delića. A zašto? Zato što ogromna vrelina te rane Vaseljene nije još dopustila da se ma šta složeno uobliči ili održi; ako je u nekom sudaru i nastalo nešto što bi bilo složeno od, recimo, dva delića, odmah se i raspadalo zbog tako visoke temperature. Tada je postojala, možda, samo jedna jedina vrsta čestica i samo jedna jedina sila - ili, čak, samo jedna, objedinjena sila/čestica - a postojali su i zakoni fizike. U tom praiskonskom entitetu, već su se krile klice iz kojih će nastati kasniji složeni svet, u kome će jednog dana, evolucijom, nastati i ljudski rod, čija je možda glavna svrha postojanja upravo da razmišlja o tim stvarima. Vama će se možda učiniti da je ta praiskonska Vaseljena bila dosadna, ali za fizičara koji radi na polju elementarnih čestica to su bila zlatna vremena! Iako ih danas sagledavamo tek kao kroz maglu, samo kroz naša nagađanja, ipak osećamo da su to bila vremena predivna u svojoj jednostavnosti.

## **POČETAK NAUKE**

Čak i pre mog junaka Demokrita, bilo je grčkih filozofa koji su se usuđivali da pokušaju objasniti svet pomoću racionalnih dokaza, strogo izbegavajući praznoverja, mitove i uskakanja raznih bogova u igru. Pomenute tri stvari (praznoverice, mitovi i bogovi) bile su, u to doba, veoma korisne ljudima, kao ispomoć za opstajanje u jednom svetu koji je bio pun zastrašujućih i prividno nasumičnih pojava. Ali Grci su bili zadivljeni i postojanjem mnogih pravilnih stvari na svetu: redovnim smenjivanjem dana i noći, kao i godišnjih doba, delovanjem vatre, vode i vetra. Već oko 650. godine pre Hrista, u

Sredozemlju je postojala moćna tehnologija. Ljudi su umeli da premeravaju zemljište. Na moru su znali da se orijentišu po zvezdama. Imali su vrlo usavršenu metalurgiju. Podrobno su poznavali položaje zvezda i planeta, zahvaljujući čemu su pravili kalendare i predviđali kad će se šta dešavati. Proizvodili su elegantne alatke, fine tkanine, keramiku kitnjasto oblikovanu i obojenu. U jednoj od kolonija grčkog carstva gde je trgovina bila veoma razvijena, u gradiću Miletu na zapadnoj obali poluostrva koje danas pripada Turskoj, rodilo se uverenje da je svet, iako izgleda zamršen i složen, u biti ipak jednostavan i da se logičkim razmišljanjem može proniknuti do te suštinske jednostavnosti sveta. Još dve stotine godina je prošlo - i pojavio se u drugom gradiću, Abderi, taj Demokrit, koji je izneo pretpostavku da ključ za jednostavnu Vaseljenu jesu a-tomi. Potraga je tog trenutka krenula.

Fizika je nastala iz astronomije zato što su najraniji filozofi dizali pogled sa strahopoštovanjem ka noćnom nebu i tragali za logičkim modelima pomoću kojih bi mogli objasniti raspored zvezda na nebu, pomeranje planeta, izlazak i zalazak Sunca. Kako je vreme prolazilo, tako su neki od naučnika počinjali gledati i Zemlju i pojave na njoj - pad jabuke sa drveta, let strele, ravnomerno kretanje klatna, vetar, plimu; iz svega toga izveli su 'zakone fizike'. U doba renesanse fizika je procvatela i postala, negde oko 1500. godine, zasebna naučna disciplina. Valjali su se vekovi dalje, a naše moći opažanja su se izoštravale zato što smo pronašli mikroskop, teleskop, vakuumsku pumpu, razne vrste časovnika i tako dalje; nailazili smo na sve veći broj pojava koje možeš potanko opisati tako što ćeš zapisivati brojeve u svoju svesku, praviti tablice, iscrtavati grafikone, a onda trijumfalno izjaviti da se priroda tačno držala matematičkih zakona.

Dok smo dogurali do početka dvadesetog veka, atomi su postali prednja, udarna granica napretka fizike; a oko 1940. godine glavna istraživanja usmerila su se na atomsko jezgro. Sve više raznih oblasti ulazilo je u domet naše moći opažanja. Pravili smo sve moćnije instrumente i zavirivali u stvari sve sitnije. Iza posmatranja i merenja neizbežno su nastupale naše sinteze, sažeta zbrajanja svega dotad saznatog. Sa svakim krupnim nadiranjem napred, polje fizike se delilo na potpolja. Neki naučnici su odmicali redukcioniističkim putanjama ka nuklearnom i subnuklearnom području, dakle ka sve sitnijim česticama, dok su drugi išli putanjom ka objedinjenom sagledavanju celog atoma (to je atomska fizika), celog molekula (to radi molekularna fizika, a i hemija) i tako dalje.

## **KAKO JE LAV (LION) UPAO U KLOPKU**

Počeo sam kao dete koje su zanimali molekuli. Naime, bio sam klinac koji je u srednjoj školi i na početku studija voleo hemiju, ali malo-pomalo prelazio sam na fiziku, koja mi je bila nekako čistija - u suštini, slobodna od svih onih, znate, mirisa. Veoma su na mene uticali klinci sa fizike zato što su bili zabavniji i bolje igrali košarku. U našoj grupi džin ka kome smo svi dizali pogled bio je klinac po imenu Ajzak Halpern (Isaac Halpern), sada profesor fizike na Vašingtonskom univerzitetu. On je govorio da do oglasne table odlazi, na dan kad se tamo pojave naše ocene, samo iz jednog razloga: da vidi da li su uz njegovo ime slova 'A' - oznaka za najvišu ocenu - štampana 'sa ravnim vrhom ili sa šiljatim'. Naravno da smo ga svi voleli. Osim toga, on je mogao da skoči u dalj znatno više od nas.

Razne teme iz fizike mene su zanimale zato što sam u njima nalazio sasvim izoštrene logiku i opite sa sasvim jasnim posledicama. Na mojoj završnoj godini studija moj najbolji prijatelj iz srednje škole Martin Klajn (Martin Klein), koji je sad istaknuti ajnštajnist na Univerzitetu Jel, počeo je da me ubeđuje u to kakve su sve divote fizike. Jedne duge večeri, posle mnogo popijenih čaša piva, ubedio me je. Stupio sam u vojsku kao diplomirani hemičar rešen da postane fizičar, kad i ako preživi pešadijsku obuku i Drugi svetski rat.

Tek godine 1948. ja sam se konačno 'rodio' u svetu fizike, tako što sam počeo pripremati doktorsku disertaciju radeći na tada najmoćnijem akceleratoru čestica na svetu. Bio je to sinhrotron na Univerzitetu Kolumbija. Predsednik tog univerziteta zvao se Dvajt Ajzenhauer (Dwight Eisenhower). Tek juna 1950. godine Ajzenhauer je presekao vrpce i svečano pustio ovaj sinhrotron u rad. Pošto sam ja pomogao Ajku da dobije rat,

vlasti na Univerzitetu Kolumbija su me volele - mnogo. Zato su mi plaćali, čak, celih četiri hiljade dolara za godinu dana rmbanja od po devedeset sati nedeljno. Bila su to vrtoglava vremena. Tokom pedesetih godina, taj sinhrotron i drugi akceleratori stvoriše jednu novu naučnu disciplinu, fiziku čestica.

Za posmatrače spolja verovatno najprimetnija odlika fizike čestica jeste oprema koju mi imamo, naši instrumenti. Ja sam se u potragu uključio upravo u doba kad su akceleratori sazrevali. Sledećih četrdeset godina oni su dominirali fizikom, a dominiraju i danas. Prvi 'razbijač atoma' bio je spravica nekih dvadesetak centimetara u prečniku. Današnji najjači akcelerator nalazi se u Fermijevoj nacionalnoj akceleratorskoj laboratoriji (skraćeno: Fermilabu) u gradu Batavija, u saveznoj državi Ilinoj. Ova Fermilabova mašina, zvana 'Tevatron', ima obim od šest i po kilometara; u njoj se izvode čeoni sudari protona i antiprotona, energijom većom nego igde drugde na svetu. Neće ni Tevatron dugo biti najjači na 'prednjoj granici'; oko 2000. godine biće dovršen superprovodni superkolajder (SSC - 'Superconducting Super Collider') u Teksasu. Izgradnja ove 'majke svih akceleratora' već je započeta. Obim će joj biti osamdeset sedam kilometara.

Zapitamo se, pokatkad, nismo li negde, na nekoj raskrsnici, otišli na pogrešnu stranu. Nije li nam ta naša grdna oprema prerasla u svojevrsnu opsesiju? Da li je fizika čestica postala nekakva tajanstvena 'kiber-nauka' u kojoj čitavi bataljoni naučnika, koristeći mašineriju ogromnih razmera, pokušavaju da proniknu u probleme toliko apstraktne da čak ni sama Boginja (ili Bog) ne zna baš tačno šta se dešava kad se Njene (ili Njegove) čestice sudare na tako visokim energijama? Ali vraća nam se samopouzdanje (kao i nadahnuće) kad sagledamo sav naš posao kao jedan hronološki Put, za koji se može opravdano tvrditi da je započet 650. godine pre Hrista u grčkoj naseobini Miletu. Na krajnjoj tački tog Puta nalazi se grad u kome je sve shvaćeno - u kome i radnici gradske čistoće, a i gradonačelnik, znaju kako Vaseljena deluje. Mnogi su išli Putem: Demokrit, Arhimed, Kopernik (Copernicus), Galileo Galilej (Galilei), pa Njutn, Faradej (Faraday), sve do Ajnštajna, Fermija (Fermi) i mojih savremenika.

Negde se put proširuje, negde sužava; prolazi kroz velika prostranstva ničega (kao američki autoput 80 kroz Nebrasku), a ima i neke veoma krivudave i prometne delove. U veliko iskušenje putnika dovode razne bočne staze i putanje pored kojih su table sa natpisima 'elektroinženjerstvo', 'hemija', 'radio-komunikacije', ili 'kondenzovana materija'. Oni koji su skrenuli na te druge puteve, izmenili su život ljudskog roda na ovoj planeti. Ali oni drugi, koji istrajno ostaju baš na samom Putu, vide da je celom dužinom obeležen jednim istim, uvek ponavljanim natpisom: 'Kako deluje Vaseljena?' E, vidite, na tom Putu nalazimo i akcelatore iz devedesetih godina.

Ja sam na raskrsnici avenije Brodvej i Sto dvadesete ulice u gradu Njujorku zaokrenuo i prešao na Put. Bili su to dani kad se činilo da su naučni problemi veoma jasni i veoma važni. Trebalo je iznalaziti odlike nečega što smo tad nazivali 'jako nuklearno međudejstvo', a i naći neke čestice, tada tek teorijski predviđene, koje bi se zvale 'pi-mezoni' ili 'pioni'. Akcelerator u Univerzitetu Kolumbija bio je udešen da bombarduje nedužne mete pravim pljuskovima protona, ne bi li nastao neki pi-mezon. Instrumenti su bili prilično jednostavni. Diplomac ih je mogao razumeti.

Silni uspesi fizike događali su se na Univerzitetu Kolumbija pedesetih godina. Čarls Tauns (Charles Townes) otkrio je laser i dobio Nobelovu nagradu. Takvu istu - napišimo skraćeno - Nagradu dobio je i Džejms Rejnwater (James Rainwater) za svoj model atomskog jezgra. Zatim Vilis Lem (Willis Lamb) zato što je izmerio majušne pomake u spektralnim linijama vodonika. Nobelovac Isador Rabi (Isadore Rabi), koji je nadahnuo sve nas, predvodio je ekipu u kojoj su bili i Norman Remzi (Norman Ramsey) i Polikarp Kuš (Polykarp Kusch), koji su, obojica, kasnije dobili Nobelove nagrade. Za teoriju o narušavanju parnosti Nagradu je takođe dobio T. D. Li (T. D. Lee), ali ne sam nego zajedno sa još jednim naučnikom. Gustina profesora poprskanih švedskom svetom vodicom bila je, u toj našoj fakultetskoj posudi, i oduševljavajuća i obeshrabrujuća. Neki od nas mladih profesora nosili su tada bedževe sa natpisom 'Još ne'.

Za mene je Veliki prasak profesionalne slave došao u razdoblju između 1959. i 1962, kad smo dvojica mojih kolega sa Univerziteta Kolumbija i ja prvi u istoriji izmerili visokoenergetske sudare neutrina. Od svih čestica ja najviše volim neutrine. Neutrino

nema gotovo nijednu osobinu: nema masu (ili ima nešto vrlo malo), nema naelektrisanje, baš kao ni prečnik - a da bismo baš sasvim dodali 'zlo na gore', nije podložan dejstvu jake sile. Ublaženo govore oni koji kažu da je neutrino 'teško uhvatljiv'. Neutrino je samo jedna činjenica i ništa više, a i to jedva. On može da proleti kroz milione kilometara debeo olovni oklop, a da pri tome izgledi za merljiv sudar budu sasvim mali.

Naš opit iz 1961. poslužio je kao kamen-temeljac onome što je kasnije, u sedamdesetim godinama, dobilo naziv 'standardni model' fizike čestica. Tek 1988. godine švedska Kraljevska akademija nauka potvrdila je vrednost tog opita Nobelovom nagradom. (Svi me pitaju isto: zbog čega je Akademija čekala dvadeset sedam godina? Ja to zaista ne znam. Kad god su me to pitali članovi moje porodice, ja sam im govorio - jeftino izvrđavanje, priznajem - da je Akademiji trebalo toliko vremena da odluči koje od mojih velikih otkrića da nagradi.) Dabome da sam se oduševio kad sam dobio Nobelovu nagradu. Ali to oduševljenje nije ni bleđa sen onog našeg silnog uzbuđenja koje nas je zahvatilo u trenu kad smo shvatili da nam je opit uspeo.

Fizičare danas obuzimaju ista osećanja kao i druge naučnike tokom vekova. Život fizičara prepun je zabrinutosti, bola, tegoba, napetosti, naleta obeshrabrenosti, potištenosti, beznađa. Ali je isprekidan bleskovima oduševljenja, smeha, radosti, trijumfa. Ove pojave nastupaju u nepredvidivim trenucima. Često nastaju naprosto zato što shvatiš, u jednom neočekivanom trenu, nešto novo, važno i divno, a što proističe iz tuđih, starih otkrića. Ali ako si 'smrtan čovek', a većina naučnika koje ja poznajem jesu takvi, daleko ti je slađe kad sam, lično, postigneš novo otkriće o Vaseljenu. Neverovatno je koliko često se događa da takvi trenuci nastupe oko tri sata ujutro, dok sediš sam samcijat u laboratoriji i uviđaš da si upravo otkrio nešto duboko, nešto što, u tom trenu, ne zna niko od preostalih pet milijardi ljudi na svetu. Ili se bar ti nadaš da ne zna niko. Naravno da ćeš onda pojuriti da to što pre kažeš svima. To se zove: objavljivanje.

Ovo je knjiga o jednom nizu beskonačno slatkih trenutaka koje su naučnici doživeli tokom poslednjih dve i po hiljade godina. Sabrani, svi ti slatki trenuci daju naše sadašnje znanje o tome šta Vaseljenu jeste i kako ona 'radi'. Bol i tuga takođe su deo te priče. Često se zbog nečije tvrdoglavosti, zadrživosti ili zbog čistog 'baksuzluka' prirode nije mogao ostvariti eureka-trenutak.

Naučnik, međutim, ne može da se osloni na eureka-trenutke ako hoće da mu život bude uspešan. Mora biti neke radosti i u svakodnevnim delatnostima. Ja tu radost nalazim u planiranju i izgradnji aparata koji treba da nam donesu neko saznanje o ovoj izuzetno apstraktnoj oblasti. Kad sam bio mlad student na Univerzitetu Kolumbija, veoma prijemčiv, pomogao sam jednom svetski proslavljenom profesoru iz Rima, koji je došao kod nas u posetu, da napravi brojač čestica. Ja sam u tom poslu bio potpuni početnik, bio mi je to 'prvi put', a on je u tome bio stari velemaistor. Zajedno smo pritegli mesinganu cev na strug i zavrtili je (bilo je već prošlo pet sati po podne, i svi naši metalostrugari otišli su kući). Zavarili smo specijalne poklopce na oba kraja. Svaki poklopac imao je stakleni vrh proboden metalnom 'slamkom'. Provukli smo zlatnu žicu kroz te dve slamke i zategli je. Zalemili smo to. Nekoliko sati smo ispirali unutrašnjost brojača posebnim gasom, a za to vreme smo priključivali jedan osciloskop na zlatnu žicu, zaštićen posebnim kondenzatorom od izvora napona jačine 1.000 volti. Moj prijatelj profesor - ime mu beše Đilberto - bacao je pogled na iscrtani trag na zelenom ekranu osciloscopa, ali nije prestajao da mi drži predavanje, na svom savršeno italijanskom engleskom, o istoriji i razvoju brojača čestica. Najednom je Đilberto načisto pošandrcio. "Mama mia! Pogledalo ovo, inkredibilo! Primo sekurso!" - tako nekako je zvučalo to što je on vikao. Pokazivao je prstom, dernjao se, podigao me u vazduh, iako sam ja bio petnaest centimetara viši i dvadeset pet kila teži od njega. Povukao me je da plešemo po sali.

"Šta se dešava?" mucao sam ja.

"Mufileto!" vikao je on. "Ono e proradilo! E proradilo!"

Možda je malo i glumio, za moje dobro, ali zaista se i radovao što 'je proradilo' - a brojač je zaista proradio. Mi smo svojim rukama, očima i pameću skrpili jednu spravu koja je počela registrovati prolazak kosmičkog zračenja: kad god neka čestica iz kosmosa pogodi i prostrela takvu cev, na osciloskopu se pokaže tačkica, a to se i čuje. Mada je sigurno hiljadama puta gledao takve pojave, Đilberto se nikad nije prestao uzbuđivati

zbog te lepote. Jedan deo uzbuđenja potiče od činjenice da je savršeno stvarna pretpostavka da je neka od tih čestica započela svoje putovanje u nekoj dalekoj galaksiji, milionima svetlosnih godina daleko, samo da bi sad pogodila našu skalameriju na desetom spratu zgrade na uglu avenije Brodvej i Sto dvadesete ulice u gradu Njujorku. Dilbertov entuzijazam, kome kao da nije bilo kraja, širio se neodoljivo i na druge osobe.

## **BIBLIOTEKA MATERIJE**

Kad objašnjavam nekome fiziku elementarnih čestica, često pozajmim (i malo ulepšam, onako, dodatno) metaforu rimskog pesnika i filozofa Lukrecija. Pretpostavimo da nam neko poveri zadatak da otkrijemo najosnovnije elemente u nekoj biblioteci. Šta bismo radili? Prvo bismo možda pomislili da razvrstamo knjige po kategorijama: istorijske, naučne, biografske i tako dalje. Ili bismo ih možda organizovali po veličini: debele i tanke, velike i male. Razmislimo o mnogim takvim mogućim podelama i setimo se da su knjige složeni predmeti koje je lako podeliti na manje delove. Zato zavirimo u knjige, u njihovu unutrašnjost. Brzo odbacimo poglavlja, pasuse i rečenice, kao elemente koji jesu konstitutivni (zaista sačinjavaju knjigu), ali nisu dovoljno elegantni. Reči! Padne nam na um da postoji, blizu ulaza, jedan debeli katalog koji sadrži sve reči ispisane u tim knjigama: rečnik. Ako se pridržavamo određenih pravila ponašanja, zapisanih u knjizi koja je poznata pod nazivom gramatika, možemo sastaviti baš sve tekstove u celoj toj biblioteci. Jer, za pisanje knjiga koriste se iste reči, ponovo i iznova, samo ih pisac uvek uklapa u nove celine.

Međutim, reči u rečniku ima baš mnogo. Još malo razmišljanja dovešće nas do slova, jer svaku reč možemo da 'sečemo'. A-ha, sad smo se setili prave stvari! Dvadeset šest slova engleske abecede dovoljno je da se sastavi desetine hiljada najrazličitijih reči engleskog jezika, a onda pomoću tih reči možemo napisati milione (milijarde?) najrazličitijih knjiga. Samo, sad moramo uvesti u upotrebu još jedan skup pravila, poznat kao pravopis. Ne možemo slova kombinovati i nagomilavati baš bilo kako, nego i tu ima neke pravilnosti. I nadomak smo da objavimo kako smo rešili problem, kad, iznenada, oglasi se jedan mladi kritičar. "Znaš šta, deda, nije ti potrebno dvadeset šest slova", kaže taj momak. "Dovoljno ti je da imaš nulu i jedinicu." Danas deca još od kolevke dohvataju digitalne igračke, pa im je najnormalnije da upotrebe neki od algoritama za pretvaranje slova azbuke u nizove nula i jedinica. Ako si suviše mator (matora) za to, možda pamtiš staru dobru Morzeovu azbuku, u kojoj je svako slovo pretvoreno u crtice i tačke, što mu dođe isto kao nule i jedinice. Dakle, kombinovanjem dva znaka načiniš celu azbuku, uz pomoć pravila pravopisa i gramatike napišeš reči, rečenice, poglavlja i sve te knjige. A knjige, dabome, sačinjavaju biblioteku.

Sada, ako je besmislen pokušaj da rastavimo nulu ili jedinicu na neke još manje sastavne delove, imamo praiskonske, a-tomske sastojke naše biblioteke. U ovoj alegoriji, koja je naravno nesavršena, Vaseljena je biblioteka, sile prirode su gramatika, pravopis i algoritam, a nula i jedinica su kvarkovi i leptoni, naši današnji kandidati za titulu Demokritovih a-toma. A sve pomenuto, osim naravno biblioteke, nevidljivo je.

## **KVARKOVI I PAPA**

Jedna gospođa u publici bila je uporna. "Jeste li vi ikada videli atom?" Za naučnika koji je dugo živeo sa objektivnom stvarnošću atoma ovakvo pitanje je shvatljivo, ali ga ipak nervira. Ja umem sebi vizuelno da dočaram unutrašnju strukturu atoma. Zamišljam elektron koji leti ukруг, toliko brzo da se slika 'zamuti' pa i ne vidiš elektron sam, nego jedan oblačić elektronovog prisustva uokolo jezgra. Zamišljam jezgro koje je sićušna tačka u sredini, ali ipak uspeva da privlači elektron (taj magleni kružni oblačić) dovoljno snažno da on ne pobegne. Ova mentalna slika nije ni kod jednog naučnika ista kao kod nekog drugog, jer svako zamišlja na osnovu raspoloživih jednačina. A jednačine nisu baš, što bi se danas reklo, 'prijateljski nastrojene prema korisniku' sa stanovišta ljudske

prirodne potrebe da sve bude zamislivo u neakvim slikama, vizuelizovano. Pa ipak, ima načina na koji mi uspevamo da 'vidimo' atome, protone, čak i kvarkove.

Moji pokušaji da odgovorim na ovo trnovito pitanje uvek počinju nastojanjem da se nađe neko šire, uopštenije značenje reči 'videti'. Da li ti vidiš ovu stranicu ako nosiš naočare? Ako gledaš mikrofilmovanu verziju? Fotokopiju (ovo bi značilo da me neko pljačka, jer prodaje fotokopije moje knjige, a ne plaća mi ni paricu za moj autorski trud)? A ako čitate tekst moje knjige na ekranu, to jest monitoru kompjutera? Najzad, u očajanju, ja pitam: "A vi, gospođo, da li ste ikada videli rimskog papu?"

"Uh, pa naravno", obično glasi odgovor. "Vid'la sam ga na televiziji." Je l' te, molim vas? Vid'li ste elektronski zrak koji je udarao u sloj fosfora namazan po unutrašnjoj strani jednog staklenog ekrana. Moji dokazi da postoji atom, ili kvark, nisu ništa lošiji od toga.

A koje to dokaze ja imam? Tragove čestica u maglenoj komori (ili 'Wilsonovoj komori'). U akceleratoru u Fermilabu 'krhotine' koje nastanu posle sudara protona sa antiprotonom snimamo elektronski, pomoću detektora koji je visok tri sprata i košta šezdeset miliona dolara. Ovde se 'dokaz', to jest 'gledanje', sastoji u tome što u hiljadama senzora nastaje jedan impuls dok čestica proleće. Sve te impulse vodimo kroz stotine hiljada žica, do elektronskih naprava za obradu podataka. Na kraju snimak stane na jedan namotaj magnetne trake. Snimak je kodiran nizovima nula i jedinica. Na toj traci, dakle, imamo snimljene vrele sudare proton-antiproton. A jedan takav sudar može dati i do sedamdeset čestica, koje se razlete kud koja, u razne delove detektora.

Nauka, a naročito fizika čestica, stiče pouzdanje ponavljanjem. Na primer, neki opit u Kaliforniji ponove neki drugi naučnici, u Ženevi, na akceleratoru drugačije vrste, i potvrde da je rezultat tačan. Osim toga, mi u svaki opit ugradimo mere unutrašnje kontrole i provere da bismo bili sigurni da je sve deštvovalo kako treba. Dug je to posao i naporan, a u njega je ugrađeno iskustvo prikupljano decenijama.

Pa ipak, fizika čestica ostaje nedokučiva mnogim ljudima. Ona uporna dama u publici nije jedina koja ne shvata kako to gomila naučnika juri neke nevidljive, sićušne truni. Zato pokušajmo sa još jednom alegorijom...

## **NEVIDLJIVA FUDBALSKA LOPTA**

Zamislite jednu inteligentnu rasu sa planete Sutonije. Sutonci izgledaju manje-više kao mi, pričaju otprilike kao mi i rade sve kao ljudi - osim jedne stvari. Imaju jednu neobičnu slabost u svom čulu vida. Ne vide nijedan predmet sačinjen od oštih kontrasta crne i bele boje. Ne vide, na primer, zebre. Niti košulje sudija u hokeju na ledu. Niti fudbalske lopte. Nije to neki strašan nedostatak vizuelnog aparata, jer mi Zemljani imamo još bizarniji kvar. Imamo dve, bukvalno, slepe mrlje, po jednu u svakom oku, blizu sredine vidnog polja. Ali ne primećujemo rupe na ta dva mesta zato što naš mozak pravi interpolaciju na osnovu informacija iz okolnih delova vidnog polja, tako da mozak zapravo nagađa šta bi trebalo da se nalazi na ta dva mesta i onda nam javlja da se to tamo odista i nalazi. Čovek tera automobil 165 kilometara na sat, obavlja moždanu hirurgiju, žonglira sa nekoliko upaljenih buktinja u isto vreme, a ipak jedan deo onoga što vidi zapravo je samo dobro nagađanje, a ne stvarno viđenje.

Recimo da su posetioci sa planete Sutonije došli na Zemlju kao grupa, u misiju dobre volje. Da bismo im omogućili da vide kakva je naša civilizacija, odvedemo ih da pogledaju jedan od najpopularnijih planetno-kulturnih događaja: utakmicu na svetskom fudbalskom prvenstvu. A ne znamo da Sutonci loptu ne mogu da vide jer je sačinjena od crnih i belih delova ušivenih tako da su naizmenice jedan do drugog. I, eto, Sutonci sede na stadionu i gledaju utakmicu. Njihovi izrazi lica su ućtivi, ali zbunjeni. Jer šta oni vide - grupu ljudi u šortsevima, na jednom polju. Ti ljudi u šortsevima jurcaju tamo-amo, bez razloga zamahuju nogama po vazduhu, sudaraju se, padaju. Ponekad jedno službeno lice dune u pištaljku, a tada jedan igrač pritrči ivičnoj liniji, stane na nju, i pruži obe ruke, sastavljene, iznad glave; drugi igrači ga gledaju. Ponekad se desi (ali veoma retko) da jedan od 'golmana' neobjašnjivo padne na zemlju, na stadionu nastaje opšte klicanje i mahanje, a jedan poen se pripíše... onom drugom, protivničkom timu!

Prvih petnaest minuta igre Sutonci gledaju, ne shvatajući ništa. Onda, čisto da im bude manje dosadno, pokušaju da shvate šta se to radi. Neki Sutonci pribegnu tehnicima klasifikacije. Dedukuju, dobrim delom na osnovu odeće, da na terenu postoje dve ekipe koje igraju jedna protiv druge. Znači, tu je neki sukob? Neki Sutonci nacrtaju grafičke prikaze na kojima se vidi kako se koji igrač kretao; ispostavi se da svaki igrač ostaje manje-više na istom 'geografskom' području terena. Pokaže se da kod raznih igrača preovlađuju različiti telesni pokreti. Sutonci postupe kao ljudi: da bi dalje tumačenje igre bilo uspešnije, pripišu položaju svakog igrača po jedan naziv. Zatim kategorizuju te položaje - gde je ko; upoređuju ih, gledaju po čemu se razlikuje igra jednih od igre nekih drugih. Sutonci izrade divovsku tabelu u koju ubeležavaju prednosti i ograničenja svakog igračkog položaja. Krupan preokret u ovom istraživanju nastupi kad otkriju simetriju na terenu. Svakom igraču tima A odgovara jedan na suprotnoj strani, simetričan u mnogo čemu, igrač tima B.

Do kraja utakmice ostane još dva minuta. Sutonci su ispisali desetine grafikona i mapa, stotine tablica i formula, desetine složenih pravila koja im kažu šta kako dejstvuje u fudbalskoj utakmici. Neka od tih pravila su doista takva - znači, Sutonci su ih, u jednom ograničenom smislu, shvatili ispravno; pa ipak, nije im ni najmanje jasno u čemu je, zapravo, suština igre. Onda jedan mladi Sutonac, koji je sve do tad ćutao, zatraži reč. Dopuste mu da i on kaže svoje mišljenje. A junosa, onako tankim glasom, pa još i nervozno, kaže: "Pretpostavimo da tu negde postoji nevidljiva lopta."

"Šta reče? Šta priča ovaj?" uzvrate stariji Sutonci.

Dok su stariji pazili na ono što je, po njihovom mišljenju, bilo jezgro utakmice, a to su dolaznja i odlaznja raznih igrača i njihova prelaženja preko linija na terenu, momak je obraćao pažnju na pojedine retke, izuzetne događaje na terenu. Dogodio se, neko vreme posle početka utakmice, jedan takav. Neposredno pre nego što je službenik na terenu proglasio jedan poen, gomila publike je kriknula i dala se u produženo divlje urlikanje; ali samo delić sekunde pre toga, u zadnjem delu mreže na jednom голу pojavila se kratkotrajna izbočina. Mladi Sutonac je opazio tu izbočinu u mreži. Fudbal je igra u kojoj se postiže vrlo malo poena, pa su se ovakve izbočine u mrežama pojavljivale vrlo retko. Ipak, bilo je i toga, dogodilo se dovoljno puta da mladi Sutonac uoči da je izobličene mreže svaki put bilo poluloptasto. Otud njegov ludo smeli zaključak da se cela igra vrti oko lopte, ali nevidljive (bar Sutoncima nevidljive).

Ostali članovi sutonske grupe posetilaca saslušaju njegovu hipotezu i zaključuju, posle rasprave, da je mladićev dokazni materijal, doduše, veoma 'tanak', ali da tu, ipak, verovatno ima nečeg. Jedan stariji državnik, među Sutoncima posebno ugledan, izjavi da se ponekad više može saznati na osnovu nekoliko retkih događaja nego na osnovu hiljada običnih, opštepoznatih. Ali ono što na kraju prevagne u korist mladićeve hipoteze jeste činjenica da na terenu naprosto mora postojati i lopta. Jer ako se usvoji pretpostavka da je lopta prisutna, ali da je Sutonci iz nekog razloga ne primećuju, najednom se sve uklapa, sve dejstvuje. Igra dobija smisao. I ne samo to: sve teorije, mape, dijagrami i tablice nacrtani tokom tog popodneva - ostaju na snazi. Lopta naprosto daje smisao već uočenim pravilima.

Ovo je jedna proširena metafora, alegorija zapravo, za mnoge zagonetke u fizici. Naročito je značajna za fiziku čestica. Ne možemo shvatiti pravila igre (zakone prirode) ako ne znamo predmete pomoću kojih se igra vodi (loptu); ako ne bismo verovali da postoji jedan logičan skup pravila, nikad ne bismo uspeli dedukovati postojanje svih čestica.

## **PIRAMIDA NAUKE**

Pričamo o nauci, a naročito o fizici. Pre nego što nastavimo, hajde da odredimo neke termine. Šta je to 'fizičar'? Kako se opis njegovog posla uklapa u opštu shemu ljudske nauke?

Postoji tu jedna hijerarhija, i ona je opaziva, ali to nije hijerarhija u smislu ko je koliko cenjen u društvu, niti ko je koliko pametan. O kakvoj je hijerarhiji reč, lepo je iskazao Frederik Tarner (Frederick Turner), stručnjak za društvene nauke na Teksaškom



univerzitetu. Postoji, kaže on, piramida nauke. Osnovicu piramide čini matematika, ne zato što je apstraktnija ili što je u nekom smislu 'bolja' ili voljenija od drugih nauka, nego zato što ne mora da se oslanja ni na koju drugu nauku, dok fizika, koja je sledeći sloj (ili sprat) piramide, mora, neizbežno, da se oslanja na matematiku. Iznad fizike je hemija, koja ne može bez svog oslonca, a oslonac joj je, dabome, ono što je ispod nje (fizika). Ako priznamo da je sve ovo jedno veliko pojednostavljenje, možemo reći da fizika može bez hemije jer je zakoni hemije ne zanimaju. Evo primera: hemičari žele da znaju kako se atomi kombinuju u molekule i kako se molekuli ponašaju kad su sasvim blizu jedan drugome. Sile između atoma su složene, ali u suštini se svode na zakon o privlačenju i odbijanju naelektrisanih čestica - dakle, na fiziku. Sledeći sprat je biologija, koja se mora osloniti na dobro poznavanje i fizike i hemije. Još viši spratovi ove hijerarhije, to jest piramide, počinju da se pretapaju i mešaju, sve teže ih je razdeliti; dok stignemo do fiziologije, medicine, psihologije, postane nemoguće zaključiti šta je iznad čega. Na prelaznim površinama između pojedinih nauka pojavljuju se discipline složene od dvaju ili više drugih: matematička fizika, fizička hemija, biofizika. Astronomiju, dabome, moram nekako da uguram u fiziku, ali stvarno ne znam kuda ću sa geofizikom ili, recimo, neurofiziologijom - naukom o nervima i nervnim ćelijama.

Ovu piramidu možemo sažeti na obrnut način, jednom starom izrekom: fizičari priznaju samo matematičari da je iznad njih, a matematičari priznaju samo Bogu da je iznad njih. (Ali pokušajte da nađete matematičara koji će ispoljiti toliko skromnosti.)

### **EKSPERIMENTATORI I TEORETIČARI: FARMERI, SVINJE I TARTUFI**

U disciplini zvanj fizika čestica imate teoretičare i eksperimentatore. Ja sam ovo drugo. Fizika kao celina napreduje uglavnom kroz međudejstvo i nadopunjavanje te dve svoje 'divizije'. U večnom odnosu ljubav-mržnja koji postoji između teorije i opita, vode se bilansi - ko je koliko postigao. Koliko je važnih opitnih otkrića prvo predskazano u radovima teoretičara? A koliko ih je došlo sasvim iznenadno? Na primer, postojanje pozitivnog elektrona (pozitrona) predvidela je teorija. Predvidela je, isto tako, i postojanje pi-mezona, antiprotone i neutrina. Međutim, tau lepton, muon i upilon iskočili su kao potpuna iznenađenja. Kad se ozbiljnije, analitički upustimo u ovu smešnu i nerazumnu raspravu, pokaže se da je rezultat otprilike izjednačen. Ali zavisi od toga koga pitate, ko broji.

Opit je posmatranje i merenje. Mora se izvoditi pod posebnim uslovima da bi posmatranje i merenje dali što plodonosnije rezultate. Drevni Grci i moderni astronomi imaju jedan zajednički problem. Oni tada nisu upravljali, a ni ovi danas ne mogu upravljati i preuređivati po svojoj volji predmete koje posmatraju. Drevni grčki naučnici ili nisu mogli, ili naprosto nisu hteli da vrše opite; zadovoljavali su se time da posmatraju svet. Astronomi bi danas mnogo voleli da mogu da dohvate dva sunca i tresnu jedno u drugo; još bolje - dve galaksije. Ali još nemaju tu moć. Zato se moraju zadovoljiti poboljšavanjem kvaliteta svojih osmatranja. Ali, kao što kažu, 'mi u Španiji imamo 1.003 načina' da proučavamo odlike naših čestica.

Upotrebljavamo akceleratorne, smišljamo opite koji će omogućiti da se ustanovi postojanje ili nepostojanje novih čestica. Organizujemo čestice tako da se one sudaraju sa atomskim jezgrima, a pojedinosti ishoda tih sudara čitamo kao što proučavaoci drevne Mikene čitaju pismo linear B: naime, možemo pročitati ako uspemo da 'provalimo' šifru kojom je to zapisano. Pravimo čestice, a onda 'gledamo' da bismo videli koliko će koja dugo živeti.

Nova čestica je predviđena kad neki pronicljiv teoretičar tako objedini postojeće činjenice da se stekne utisak da mora postojati i jedna takva čestica. Dešava se u više od polovine slučajeva da predskazana čestica ipak ne postoji. To je, onda, udarac teoriji koja ju je predskazivala. Da li će ona tim udarcem biti uništena ili ne, zavisi od otpornosti teoretičara. Poenta je u tome što mi obavljamo obe vrste opita: one koji treba da provere valjanost neke teorije i one koji treba da zadru u nepoznatu teritoriju. Naravno da je često mnogo zabavnije dokazati da nečija teorija ne valja. Kao što je napisao Tomas Haksli (Thomas Huxley): "Velika tragedija nauke: kad neka ružna činjenica ubije

predivnu hipotezu." Dobre teorije objašnjavaju ono što je već poznato i predskazuju rezultate novih opita. Ovo međudejstvo teorije i prakse jeste jedna od radosti fizike čestica.

Bilo je u istoriji nekoliko velikih eksperimentatora koji su ujedno bili i odlični ili bar solidni teoretičari: Galilej, Kirhof (Kirchhoff), Faradej, Amper (Ampère), Herc (Hertz), obojica Tomsona (J. J. Thomson, G. P. Thomson) i Raderford (Rutherford). Ali eksperimentator-teoretičar jeste rasa u izumiranju. U naše doba takav je bio Enriko Fermi, istaknuti izuzetak od ovog pravila. Svoju zabrinutost zbog ove sve šire provalije izrazio je Rabi komentarom da evropski eksperimentatori ne umeju da saberu stubac brojeva, a evropski teoretičari ne umeju da vežu sebi pertle na cipelama. Danas su to dve grupe fizičara koji imaju, doduše, zajednički cilj da shvate Vaseljenu, ali se veoma razlikuju po kulturološkoj orijentaciji, veštinama i radnim navikama. Teoretičar dolazi na posao kasno, sedi na dugotrajnim, teškim konferencijama na grčkim ostrvima ili navrh neke švajcarske planine, ide na prave godišnje odmone, i kod kuće je dovoljno da može češće izbacivati đubre. Brine ih nesanica. Priča se da je jedan teoretičar otišao fakultetskom lekaru i požalio se: "Doktore, pomagajte! Noću spavam dobro, a i pre podne isto tako, ali po podne nikako da oka sklopim, sve se nešto prevrćem po krevetu." Ovakvo ponašanje omogućilo je da se u bestseller-knjizi Dokolica teoretičarske klase (The Leisure of the Theory Class) Torstajna Veblena (Thorstein Veblen) pojavi ne baš poštena karakterizacija likova.

Eksperimentator ne može da zakasni kući - jer kući i ne ide. Kad se posao u laboratoriji zahukće, spoljašnji svet prestaje da postoji. Posvećenost opitu postaje potpuna. Spavanje je kad uspeš da se sklopčaš negde na podu uz akcelerator i odremaš jedan sat. Teoretičar može provesti ceo život, a da ne oseti, nijednom, intelektualni izazov opitnog rada, niti uzbuđenja i opasnosti laboratorije - kran koji polako prenosi deset tona tereta iznad tvoje glave, paljenje i gašenje znakova sa ucrtanom lobanjom i dve ukrštene kosti, ili natpise OPASNOST, RADIOAKTIVNO. Jedina stvarna opasnost koja pretila teoretičaru jeste da se može ubosti olovkom u prst dok napada naku bubicu koja puzi po njegovim proračunima. Moj stav prema teoretičarima jeste mešavina zavisti i straha, ali ja ih ipak i poštujem i volim. Sve popularne knjige o nauci napisali su teoretičari: Hajnc Pejdzels (Heinz Pagels), Frenk Vilček (Frank Wilczek), Stiven Hoking (Stephen Hawking), Ričard Fajnmen (Richard Feynman) i ostala družina. A što i ne bi pisali ljudi? Imaju slobodnog vremena koliko god hoće. Teoretičari su skloni i nadmenosti. Sećam se, dok sam bio na vlasti u Fermilabu, našoj grupi teoretičara sam svečano skrenuo pažnju na to da ne budu nadmeni. Bar jedan od njih je to primio ozbiljno. Nikad neću zaboraviti molitvu koju sam uskoro čuo - dopirala je iz njegove kancelarije: "Gospode Bože na nebesima, oprosti mi greh nadmenosti. A kad kažem nadmenost, Gospode, onda imaš da znaš da to znači tačno sledeće slučajeve. Nabrajam. Prvo..."

Teoretičari mogu biti, kao i mnogi drugi naučnici, opsednuti osećanjem međusobnog takmaštva, i to žestoko, ponekad do besmisla. Neki su, međutim, smireno vedri, plove daleko iznad bitaka u koje se upuštaju obični smrtnici. Klasičan primer jeste Enriko Fermi. Taj veliki italijanski fizičar nikada nije čak ni nagoveštaj dao da bi mu suparništvo moglo išta značiti. Neki običan fizičar mogao bi povikati: "Mi smo to uradili prvi!" ali Fermi je samo pitao za pojedinosti. Međutim, jednog lepog letnjeg dana na plaži blizu laboratorije Brukhejven na Long Ajlendu pokazao sam mu kako se od vlažnog peska mogu izvajati realistične skulpture. Već sledećeg trenutka on je navalio da se takmičimo ko će izvajati bolju figuru gole ženske. (Neću vam reći ko je pobedio. Ishod zavisi od toga da li ste više opredeljeni za mediteransku ili za pelhamsko-zalivsku školu peščanih statua nagih žena.)

Jednom, na jednoj konferenciji, kad smo otišli na ručak, našao sam se do Fermija. Ispunjen strahopoštovanjem zbog prisustva tog velikana, pitao sam ga šta misli o predavanju koje smo upravo čuli: da li je bila ubedljiva argumentacija da postoji čestica koja bi se zvala K-nula-dva. Fermi je neko vreme zurio u mene, a onda rekao: "Mladi čoveče, da sam mogao da pamtim imena svih tih čestica, bio bih botaničar." Ovu istu priču prepričali su mnogi fizičari, ali istina glasi ovako: taj mladi, sugestibilni fizičar bio sam ja.

Teoretičari umeju biti topla, poletna ljudska bića sa kojima eksperimentatori (dakle, vodoinstalateri i električari; zanatlijski svet - to smo mi) vole da razgovaraju, ne bi li nešto i naučili. Imao sam sreću da uživam u dugim razgovorima sa nekima od najistaknutijih teoretičara naše epohe: sa pokojnim Ričardom Fajnmenom, sa njegovim kolegom na Kalteku Marejem Gel-Manom (Murray Gell-Mann), sa gordim Teksašaninom po imenu Stiven Vajnberg (Steven Weinberg) i sa jednim koji je komedijant isto koliko i ja, a zove se Šeldon Glešou (Sheldon Glashow). Džejms Bjorken (James Bjorken), Martinus Veltman (Martinus Veltman), Meri Gajar (Marry Gaillard) i T. D. Li bili su takođe velikani nauke, ali i ljudi sa kojima si mogao da se šališ i da ti bude zabavno u njihovom društvu, kao i da naučiš mnogo od njih. Značajan deo mojih opita potekao je iz stručnih radova, ili iz rasprava, ovih znalaca. Neki teoretičari su daleko manje prijatni kao ljudi; njihova blistavost pomućena je čudnovatom nesigurnošću, koja možda podseća na stav Salijerija prema mladome Mocartu u filmu Amadeus: "Zašto si, Bože, uneo tako izvanrednog i nadmoćnog kompozitora u telo jednog dupeglavca?"

Teoretičari postižu svoje vrhunske životne domete najčešće u mladosti; kod njih kreativni sokovi krenu vrlo rano, a počnu da presušuju već sa petnaest godina - tako se, barem, čini. Potrebno je da teoretičar ima samo onoliko znanja koliko je dovoljno, i ne više od toga; dok je mlad, još nije poguren pod teretom suvišnog intelektualnog prtljaga koji se vremenom nagomilava.

Naravno, teoretičarima se priznaje mnogo veći udeo u slavi konačnog otkrića nego što to oni zaslužuju. Sled teoretičar-eksperimentator-otkriće neko je uporedio sa sledom seljak-svinja-tartuf. Seljak odvede svinju do mesta gde bi se mogle naći te izuzetno skupocene gljive. Svinja navali, pa rije po zemlji vredno, i posle dužeg vremena nađe gljivu; ali kad zine da je pojede, seljak je ščepa i uzme je za sebe.

## **TIPOVI KOJI SU OSTAJALI BUDNI DO DUBOKO U NOĆ**

U sledećih nekoliko poglavlja pristupiću priči o istoriji i budućnosti materije kroz oči onih koji su to otkrivali; naglasak stavljam - nadam se da u tome ne preterujem - na eksperimentatore. Pomislite kako je Galilej lupkao po kamenom podu onim svojim papučama sve do vrha Krivog tornja u Pizi samo da bi ispustio, sa visine, dva tega nejednako teška, a onda osluškivao da li će se čuti dva 'tup' ili samo jedno 'tup'. Zamislite kako Fermi i njegove kolege otpočinjju prvu kontrolisanu lančanu reakciju ispod ragbi igrališta Čikaškog univerziteta.

Kad govorim o bolu i mukama u životu naučnika, nije to samo u psihološkom smislu, 'tuga postojanja i opstajanja na ovom svetu' i tome slično. Galilejev rad Crkva je osudila; gospođa Kiri je svoje delo glavom platila jer je od prevelikog izlaganja radioaktivnom zračenju dobila leukemiju. Mnogo je i premnogo nas koji dobijemo katarakte očiju. Niko ne uspeva da spava dovoljno dugo. Glavninu onoga što je čovečanstvu poznato o Vaseljenu ne bismo znali da nije bilo mnogo tipova (i dama) koji ostaju budni do kasno u noć.

U priči o a-tomu pojavljuju se, naravno, i teoretičari. Oni nam pomažu da prebrodimo ona razdoblja za koja Stiven Vajnberg kaže da su "mračna vremena između opitnih proboja koji gotovo neprimetno dovedu do izmena u ranijim verovanjima". Vajnbergova knjiga Prva tri minuta jedna je od najboljih ikada napisanih (iako sad pomalo zastarela) popularnih knjiga o rođenju Vaseljene. (Smatrao sam, čim sam video njen naslov, a smatram i danas, da se tako dobro prodaje zato što narod misli da je to još jedan priručnik o seksu.) Ja ću naglašavati ona presudna merenja u atomu, koja smo izvršili. Samo, nema ni govora o tome da možeš pričati o podacima, a da ne pomeneš ponekad i teoriju. Šta znače sva ta merenja?

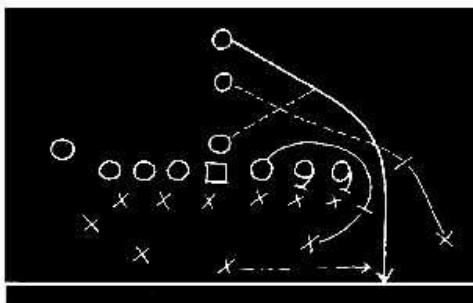
## **AJOJ! MATIŠ!**

Moraće se malo pomenuti i matematika. Čak ni eksperimentatori ne mogu da se provuku kroz život bez poneke jednačine, poneke brojke tu i tamo. Izbegavati

matematiku sasvim, bilo bi to kao da si antropolog, a izbegavaš jezik one kulture koju proučavaš, ili kao da si šekspirolog, a ne znaš engleski. Matematika tako prožima istančano tkanje nauke, a naročito fizike, da njenim izostavljanjem gubiš veliki deo lepote, prikladnosti izraza, pa i ritualističkog kostimiranja svoje teme. Na praktičnom nivou, matematika nam olakšava da objasnimo kako su se zamisli razvijale, kako razne sprave rade, kako je sve to utkano u jednu celinu. Nađeš jedan broj na jednom mestu; na drugom mestu nađeš, gle, isti taj broj; možda su nekako povezani?

Hrabro, samo hrabro. Neću baš da izračunavam ovde. Nećete dobiti 'matiš' na završnom ispitu. Jedne godine držao sam, na Čikaškom univerzitetu, tečaj za studente završne godine čiji glavni predmeti nisu bili iz oblasti prirodnih nauka (takozvana 'kvantna mehanika za pesnike'). Zaobilazio sam matiš tako što sam iscrtavao štošta matematičko na tabli i onda samo pokazivao prstom i govorio o tome. Nisam stvarno izračunavao ništa. Daleko bilo i ne daj Bože da neko radi matematiku pred tolikim svetom! Pa ipak, i samo pojavljivanje apstraktnih simbola na tabli dovodi do jedne automatske reakcije organizma - naime, stimuliše se neki organ, neka žlezda valjda, koji ustakli pogled studentskih očiju. Napišem, na primer,  $x = vt$  (a to se čita, znate, 'iks jednako ve puta te'), a slušaoci, puna sala studenata, samo jeknu: Auh! Blistavi su to studenti, a roditelji svakoga od njih plaćaju školarinu od 20.000 dolara godišnje; nije, baš, da ti momci i te devojkice ne mogu da savladaju  $x = vt$ . Ako im daš vrednosti za  $x$  i za  $t$  i zatražiš da ustanove koliko je  $v$ , 48 procenata njih će nabosti tačan odgovor, 15 posto će odbiti da odgovore dok se ne posavetuju sa svojim advokatom, a 5 posto će se izjasniti da su prisutni. (Dobro... Znam da zbir ovde ne iznosi sto posto. Ali ja sam samo eksperimentator, nisam, znate, teoretičar. Osim toga, kad ja napravim neku tako glupu grešku, studenti se ohrabre.) Ono zbog čega studenti gotovo skrenu sa uma i ukoče se od strave jeste saznanje da ću ja od tog trenutka tek početi da govorim o matišu. Matiš je za njih nešto novo i užasavajuće.

Da bih ponovo pridobio poštovanje i privrženost studenata, ja brže-bolje promenim temu. Pređem na nešto što je svima mnogo bolje poznato, nešto sa čime se osećaju daleko udobnije. Evo: gledajte.



Zamislite kako neki Marsovac zuri u ovaj dijagram i pokušava da shvati njegov smisao. Napreže se sve dok mu suze ne pocure iz pupka. Međutim, tipični američki srednjoškolac odmah drekne: "To je shema 'Blast' pomoću koje se vašingtonski Redskinski probijaju do gol-linije!" Da li je ovaj prikaz prodora jednog ragbi beka prema gol-liniji zaista toliko jednostavnija stvar od formule  $x = vt$ ? Kad pogledate, jednako je apstraktna, samo daleko manje poznata u svetu. Jednačina  $x = vt$  deluje jednako uspešno svuda, uzduž i popreko celog kosmosa. A Redskinski sa tim svojim fazonima mogu da postignu neki gol samo u Detroitu ili Bafalu, a već protiv Bersa - ni slučajno.

Pomislite, dakle, na ovo: jednačine imaju neko značenje u stvarnom svetu, baš kao što i dijagrami ragbista, zamršeni i neelegantni, imaju značenje kad ih u stvarnom svetu trener okači na tablu. Zapravo, i nije toliko bitno da li smo u stanju da manipuliramo jednačinom  $x = vt$ . Daleko je važnije da smo u stanju da je pročitate, da je shvatimo kao jednu izjavu o svetu u kome živimo. Razumeti ovo  $x = vt$  znači imati moć. Naime, moć da predviđiš budućnost i pročitaš prošlost. To ti je i tabla za igru 'uidža' i ploča iz Rozete. Pa dobro - da pogledamo šta ta jednačina znači.

Ono  $x$  kaže gde je nešto. A to nešto može biti Hari, dasa koji juri autoputem u svom poršeu, ili može biti elektron koji je upravo izleteo iz akceleratora. Kad je  $x = 16$  nekih jedinica, na primer, to znači da je Hari (ili je elektron) 16 tih jedinica udaljen od nekog mesta koje mi nazivamo 'nula'. A ono  $v$ , to vam je brzina kojom se kreće Hari (ili elektron) - na primer Hari gazi 160 kilometara na sat, ili se elektron vuče mlitavo i polako, nekih jadnih milion metara u sekundi. A šta nam je ono  $t$ ? To je vreme, vreme koje protekne od trena kad neko drekne "Sad!" i Hari (ili elektron) jurne napred. Eto, stekli smo moć da predskazemo gde će naše 'nešto' biti u bilo kom času u budućnosti, svejedno da li je  $t = 3$  sekunde, ili 16 sati, ili 100.000 godina. Štaviše, sad smo osposobljeni da kažemo gde se to pomenuto 'nešto' nalazilo i u prošlosti, recimo u trenu  $t = -7$  sekundi (znači 7 sekundi pre  $t = 0$ ) ili, što da ne,  $t = -1$  milion godina. Drugim rečima, ako je Hari bio parkiran ispred tvoje kuće, i krenuo odatle, i vozio neprekidno na istok, postojanom brzinom od 160 kilometara na sat, onda, jasna stvar, biće 160 kilometara istočno od tvoje kuće u trenu kad istekne ceo jedan sat od tvog povika "Hari, kreeni... sad!" I obratno, možeš izračunati gde je Hari bio pre jedan sat, dakle u vreme zvano 'minus jedan sat', pod pretpostavkom da je još odranije vozio tako i da je tom brzinom  $v$  samo prohujao pored tvoje kuće. Doduše... u ovom poslednjem postoji jedan problem, kritična pretpostavka: možda Hari nije uvek vozio brzinom  $v$ , možda je on 'ljudsko biće kome treba piće', pa je usput stao i nacvrcao se u baru 'Kod Džoa'.

Ričard Fajnmen dočarava nam na drugi način istančanost ove jednačine. U Fajnmenovoj verziji, saobraćajna patrola zaustavlja jednu ženu koja vozi onaj veliki auto sa proširenim zadnjim delom. Policajac se došeta polako do prozora kola i kaže, a više reži nego što govori, toj ženi: "Gospođo, je li znate vi da ste išli preko osamdeset milja na sat?"

"Ma, hajte, molim vas, nemojte biti smešni", odgovara mu žena. "Nema ni petnaest minuta kako sam krenula od kuće." Fajnmen je pričao studentima ovaj vic, misleći da će ih tako lakše uvesti u pojam diferencijalnog računa, i zapanjio se kad su ga kritikovali da je seksista. Iz tog razloga neću da vam ispričam kako se vic završava.

Poenta ovog našeg kratkog izleta u zemlju matematike je sledeća: jednačine imaju rešenja, a ta rešenja mogu biti upoređena sa 'stvarnim svetom' merenja i opažanja. Pa ako ishod ovog suočenja nekog zakona sa stvarnošću bude povoljan, mi onda sa većim pouzdanjem gledamo na taj zakon - čvršće smo uvereni da je tačan. Opet, dogodi se, s vremena na vreme, da rešenja nekih jednačina ne budu baš u skladu sa onim što izmerimo i opazimo; u tom slučaju, mi proverimo još jednom, proverimo još mnogo, mnogo puta, i najzad bacimo taj tobožnji zakon kao još jednu našu zabludu u koš za smeće, u istoriju. Desi se, katkad, da rešenja nekih jednačina koje iskazuju neki prirodni zakon budu sasvim neočekivana i bizarna, zbog čega cela teorija dolazi pod znak pitanja. Ako kasnija osmatranja pokažu da je teorija ipak bila ispravna, mi se radujemo. Kakav god ishod da bude, mi znamo da i najkrupnije istine o Vaseljenu, i male istine o rezonanciji jednog elektronskog kola ili o vibriranju neke čelične grede, mogu biti iskazane jezikom matematike.

### **VASELJENA JE STARA SAMO IZVEŠTAN BROJ SEKUNDI (NEKIH 1018 SEKUNDI)**

Još nešto o brojevima. Naša tema je takva da se često prebacujemo iz sveta majušnih, najmanjih stvari u svet ogromnih, najvećih. Znači, moramo se suočiti, mnogo puta, sa brojevima ogromnim i brojevima veoma malim. Pošto je to tako, pisaću ih na naučni način - naučnom notacijom. Na primer, umesto da 'jedan milion' napišem sa šest nula (dakle 1.000.000), ja ću ga napisati ovako:  $10^6$ . To vam znači deset dignuto na šesti stepen, i čita se "deset na šesti". Jedinica i šest nula, dakle, a samo da znate - otprilike toliko dolara iznose troškovi američke savezne vlade na svakih dvadeset sekundi. Neki veliki brojevi ne počinju tako zgodno, samo jedinicom. Ali umemo mi i njih da napišemo naučnom notacijom. Recimo pet i po miliona (5.500.000) pišemo ovako:  $5,5 \times 10^6$ . A kad su brojevi ne veliki, nego naprotiv, mali, nema problema, samo ubacimo minus. Milioniti deo nečega ( $1/1.000.000$ ) pišemo ovako:  $10^{-6}$ . Može ovo da se

napiše i kao decimalni broj, ako tako više volimo; onda pišemo nula zapeta nula nula... i jedinicu stavimo čak na šesto mesto desno od decimalne zapete, dakle: 0,000001.

Važno je shvatiti kakve su međusobne razmere ovih brojeva. Jedna od nezgodnih osobina naučne notacije sastoji se u tome što ona donekle i prikriva koliko su neki brojevi, zapravo, ogromni (ili majušni). Raspon raznih vremena važnih za nauku kreće se od malih do tako ludo, ludo malih da čoveku stvarno pamet stane. Na primer, 10<sup>-1</sup> (desetinka sekunde) - to je ono vreme koje ti je potrebno da trepneš; bukvalno tren oka. Čestica zvana muon živi 10<sup>-6</sup> sekundi. A foton, čestica svetlosti, prevali rastojanje jednako prečniku jednog atomskog jezgra za samo 10<sup>-23</sup> sekunde. Nadam se da nismo zaboravili da kad god se ovi brojevi 'malo podignuto napisani' povećaju za jedan, stvar postaje deset puta veća, ili manja; kao da neko svaki put poveća neku opkladu desetostruko! Evo, gledajte šta eksponent radi: 10<sup>7</sup> sekundi je nešto oko četiri meseca, ali 10<sup>9</sup> sekundi je trideset godina. A pomislite samo: 10<sup>18</sup> sekundi je otprilike starost cele Vaseljene - vreme koje je minulo od Velikog praska. Fizičari mere i starost kosmosa u sekundama... samo što tih sekundi ima mnogo.

Vreme nije jedina dimenzija koja ima raspon od nepojamno malog do velikog, divovskog. Najmanja udaljenost koja u nauci danas ima neku važnost jeste 10<sup>-17</sup> centimetara: toliko daleko uspe da se odvuče jedna stvarčica koju zovemo Z<sup>0</sup> (ze nula) pre nego što iščezne iz našeg sveta. Teoretičari ponekad razmišljaju i o daleko manjim rastojanjima; na primer, kad se povede razgovor o superstrunama, veoma modernoj, ali i veoma apstraktnoj i hipotetičkoj teoriji čestica, neki teoretičari kažu da bi prečnik jedne superstrune trebalo da bude 10<sup>-35</sup> centimetara. To je, znate, zaista vrlo malo. Nasuprot tome, u oblasti velikog, krajnost čini poluprečnik cele Vaseljene koju smo do sada uspeli da opazimo: on iznosi negde blizu 10<sup>28</sup> centimetara.

## **PRIČA O DVA GRADA I O KONAČNOJ MAJICI**

Kad sam imao deset godina, razbolim se ja od malih boginja, a tata, da me razveseli, kupi mi jednu knjigu štampanu vrlo krupnim slovima; naslov joj je bio Priča o relativnosti. Napisali su je Albert Ajnštajn i Leopold Infeld (Leopold Infeld). Nikada neću zaboraviti početak te knjige Ajnštajna i Infelda. Bio je o detektivskim pričama: kako u svakoj detektivskoj priči postoji zagonetka, postoje nagoveštaji i naznake, i postoji detektiv. Taj detektiv, pomoću postojećih tragova, nastoji da reši zagonetku.

U priči koja je pred nama postoje, u suštini, samo dve zagonetke. Obe se ispoljavaju kao čestice. Prva je dugo traženi a-tom, nevidljiva i nedeljiva materijalna čestica koju je, kao postulat, prvi dao Demokrit. Ovaj a-tom leži u samom srcu najosnovnijih pitanja fizike čestica.

Već dve i po hiljade godina mi bijemo bitku da rešimo tu prvu zagonetku. Nagoveštaja ima na hiljade, a svaki od njih otkrili smo mukotrpnim radom i trudom. U prvih nekoliko poglavlja posmatračemo kako su se naši preci trudili da reše zagonetku. Iznenađićete se kad vidite koliko je naših 'najnovijih' zamisli u stvari bilo poznato ljudima još u sedamnaestom veku, i u šesnaestom, pa i ranije - zapravo, još vekovima pre Hrista. A pre kraja knjige vratićemo se na sadašnjost i na jurnjavu za drugom, možda i većom tajnom, a to je čestica koja, po mom mišljenju, upravlja celom kosmičkom simfonijom. Videćete, čitajući ovu knjigu, koliko je velika srodnost između onog matematičara iz šesnaestog veka koji ispušta teške predmete sa tornja u italijanskom gradu Pizi i današnjeg fizičara čestica koji u američkoj saveznoj državi Ilinoj, usred zime, u ledenoj, vetrovitoj preriji, radi svoj posao, polusmrznutih prstiju, u nekoj šupi - uzima podatke iz akceleratora koji se nalazi dole, ispod sleđenog zemljišta. Obojica su postavljala ista pitanja. Koja je osnovna struktura materije? Kako radi Vaseljena?

Dok sam rastao u Bronksu, običavao sam da posmatram, satima, mog starijeg brata kako se igra hemikalijama. Bio je pravi čarobnjak. Ja uradim sve teške poslove u kući za taj dan, a on me, zauzvrat, pusti da gledam njegov rad. Danas se on bavi prodajom raznih domišljatih novih proizvoda. Prodaje stvari kao što su 'vupi jastučići', ogromne registarske tablice i majice sa privlačnim natpisima koji omogućavaju ljudima da iskažu svoj pogled na svet zaista vrlo jezgrovito - jednom izjavom napisanom na prostoru koji

nije širi od njihovih sopstvenih prsa. Trebalo bi da cilj nauke nije manje uzvišen od toga. Moja ambicija u životu jeste da doživim trenutak kad će cela fizika moći da bude svedena na jednu formulu tako jednostavnu i elegantnu da ćemo je moći napisati na prednjoj strani jedne majice.

Znatan napredak postignut je u poslednjih dvadeset i nešto vekova u približavanju ovoj konačnoj majici. Ser Isak Njutn je, na primer, doprineo ovom poslu tako što je objasnio gravitaciju, tu silu koja, opet, objašnjava jedan zapanjujuće širok raspon različitih pojava: plimu i oseku, pad jabuke, orbite planeta, grupisanje galaksija u jata. Na Njutnovoj majici piše  $F = ma$ . Kasnije su Majkl Faradej i Džejms Klerk Maksvel razotkrili tajnu elektromagnetnog spektra - naime, ustanovili su da elektricitet, magnetizam, svetlost Sunca, radio-talasi i rendgenski zraci jesu, svi, samo različita izražavanja jedne iste sile. U svakoj dobroj knjižari u studentskom gradu prodaće vam majicu sa Maksvelovim jednačinama ispisanim na njoj.

Danas, mnogo čestica kasnije, imamo standardni model, koji svodi celu stvarnost na samo nekih desetak čestica i na samo četiri sile. Taj standardni model predstavlja zbir svega onoga što smo doznali uz pomoć svih naših akceleratora još od Krivog tornja u Pizi, pa do dana današnjeg. On organizuje čestice zvane kvarkovi (šest njih) i druge čestice, a to su leptoni (takođe šest komada), u samo jedan, elegantan raspored, na samo jednoj tablici. Zaista možete na jednoj majici nositi dijagram celog standardnog modela, mada će to biti dosta sitno i gusto ispisana majica. Mukotrпно je izborna ta jednostavnost; izborile su je legije fizičara koje su sve nadirale jednim istim drumom. Međutim, majica sa standardnim modelom vas vara. Jeste da ima dvanaest čestica i četiri sile i da je sve to lepo i tačno, ali ona je i nepotpuna, štaviše sadrži unutrašnje protivurečnosti, nedoslednosti. A ako biste hteli na nekoj drugoj majici ispisati zadovoljavajuća objašnjenja za sve što nije u redu na prvoj, morali biste naći jednu slonovski veliku majicu, a možda ni ona ne bi bila dovoljna.

Ko nam to smeta, ko nam se isprečio na putu, ko nam ne dâ da napravimo savršenu majicu? Eto kako se vraćamo na onu drugu zagonetku. Da bismo stigli do kraja zadatka koji započne rešavati još stari Grci, moramo razmotriti mogućnost da protivnik, koga lovimo, ostavlja namerno lažne tragove, da bi nas zavarao. Ponekad, kao uhoda u nekom romanu Džona Le Kareja, eksperimentator mora da postavi zamku. Mora da 'navuče' sumnjivca da se sam oda.

## **TAJANSTVENI GOSPODIN HIGS**

Fizičari čestica upravo sada pripremaju jednu takvu zamku. Gradimo tunel osamdeset sedam kilometara u obimu, u kome će biti smeštene dve uporedne cevi superprovodnog superkolajdera. Nadamo se da ćemo tu ukecati našega zloću.

A taj zloća je - najgori od svih! Najveći podlac svih vremena! Verujemo da postoji jedno avetinjsko prisustvo koje se raširilo kroz celu Vaseljenu i koje nas onemogućava da shvatimo pravu prirodu materije. Maltene kao da nešto, ili neko, baš namerno sprečava nas, ljude, da se probijemo do konačnog znanja.

Ova nevidljiva prepreka koja nas sprečava da doznamo istinu zove se Higsovo polje. Pružila je svoje ledene pipke u svaki kutak Vaseljene, a njene naučne i filozofske implikacije takve su da se od njih fizičar sav naježi. Higsovo polje ostvaruje svoju crnu magiju pomoću jedne čestice, dabome (a pomoću čega drugog bi moglo?). Tu česticu znamo pod nazivom Higsov bozon. Vidite, Higsov bozon jeste glavni razlog za izgradnju superprovodnog superkolajdera, jedine sprave koja će imati dovoljno energije da proizvede i uoči tu česticu. (Bar mi verujemo da će imati.) A taj bozon je od tako središnjeg značaja za stanje fizike danas, tako presudan za naše konačno razumevanje materije, a opet tako neuhvatljiv, da sam mu ja dao nadimak: Božija čestica. Zašto Božija? Iz dva razloga. Prvo, izdavač mi ne dopušta da na knjigu stavim naslov Vražija, iako bi bio možda tačniji, ako imamo u vidu koliko štetu nam Higsov bozon čini i kolike materijalne troškove iziskuje. Drugo, postoji svojevrsna veza između ove knjige i jedne mnogo, mnogo starije...

## **KULA I AKCELERATOR**

A beše na cijeloj Zemlji jedan jezik i jednake riječi.

A kad otidoše od istoka, nađoše ravnicu u zemlji Senarskoj, i naseliše se onde. Pa rekoše među sobom: hajde da pravimo ploče i da ih u vatri pečemo. I bjehu im opeke mjesto kamena i smola zemljana mjesto kreča. Poslije rekoše: hajde da sazidamo grad i kulu, kojoj će vrh biti do neba, da stečemo sebi ime, da se ne bismo rasijali po zemlji.

A Gospod siđe da vidi grad i kulu, što zidahu sinovi čovječiji. I reče Gospod: gle, narod jedan, i jedan jezik u svijeh, i to počеше raditi, i neće im smetati ništa da ne urade što su naumili. Hajde da siđemo, i da im pometemo jezik da ne razumeju jedan drugoga što govore.

Tako ih Gospod rasu odande po svoj zemlji, te ne sazidaše grada. Zato se prozva Vavilon.

'Prva knjiga Mojsijeva', 11, 1-9

Bilo je jednom jedno doba, mnogo pre nego što je ta gore navedena knjiga napisana, kada je cela priroda govorila samo jednim jezikom. Svugde materija beše ista - predivna u svojoj elegantnoj ognjenoj simetriji. Ali minuše eoni, a materija se izmeni. Preobražena, razasuta u mnogo raznih oblika po kosmosu, ona sad dovodi u zabunu nas koji stanujemo na ovoj običnoj planeti na orbiti oko jedne nimalo posebne zvezde.

U traganju čovečanstva za racionalnim razumevanjem sveta bilo je prilika kad se napredovalo brzo, kad su se često dešavali proboji, i kad su naučnici bili puni optimizma. U nekim drugim razdobljima vladala je pometnja. Često su najsmetenija razdoblja, razdoblja intelektualne krize i potpunog nerazumevanja, bila nagoveštaji da će se uskoro nešto preokrenuti nabolje.

U poslednjih nekoliko decenija fizike čestica bili smo u razdoblju tako čudnovate intelektualne napregnutosti da alegorija o Kuli Vavilonskoj izgleda tačno odgovarajuća. Fizičari čestica koristili su svoje divovske akceleratora da proučavaju kosmos i procese u njemu delić po delić. Traganju su, poslednjih godina, doprinosili i astronomi i astrofizičari, koji, metaforički govoreći, zaviruju kroz divovske teleskope ne bi li ugledali preostale iskricice u pepelu jedne kataklizmične eksplozije koja se, po njihovom mišljenju, dogodila pre petnaest milijardi godina, a za koju oni imaju naziv 'Veliki prasak'.

Obe ove grupe naučnika napredovale su ka jednom jednostavnom, u celinu povezanom, sveobuhvatnom modelu koji će objasniti sve: strukturu materije i energije, ponašanje prirodnih sila u rasponu od najranijih trenutaka bebe-Vaseljene sa onako nepojamno visokom temperaturom i gustinom, pa sve do srazmerno hladnog i praznog sveta koji vidimo danas. Lepo nam je išlo, prividno lepo, sve dok se nismo spotakli o jednu čudnovatu pojavu, jednu, reklo bi se, 'neprijateljsku' silu koja stupa kosmosom. To je pojava koja iskače iz ovog nama poznatog, sveprisutnog prostora u koji su usađene naše planete, zvezde i galaksije. Ne možemo, još, da otkrijemo to; izgleda kao da je stvoreno da nas zbunjuje, da stavi na iskušenje našu moć. Da li smo se primakli bliže nego što smo smeli? Postoji li neki nervozni 'Veliki čarobnjak iz Oza' koji menja, ali aljkavo menja, arheološke nalaze?

Pitanje je da li će fizičari dozvoliti da ih ovaj problem razbije, ili će, za razliku od zlosrećnih Vavilonjana, nastaviti da zidaju svoju kulu i, naposljetku, kako reče Ajnštajn, "dokučiti um Božiji".

A beše u celoj Vaseljeni jedan jezik i jedan govor.

Dogodi se, dok su putovali sa istoka, da nađu jednu ravnicu u zemlji Vaksahači, i da se tu nastane. Pa rekoše među sobom: hajde da napravimo džinovski kolajder, čiji bi sudari mogli dosegnuti unazad do početka vremena. Počеше da prave superprovodne magnete da im posluže za savijanje zraka, a protone da uzimaju i razbijaju.



A Gospod siđe da vidi superprovodni superkolajder što deca čovekova grade. I reče Gospod: gle, ono kako sam ih ja spetljao, ovi, izgleda, otpetljavaju. Pa uzdahnu Gospod i zaključi: dobro, sići ćemo i daćemo im Božiju česticu. Neka vide, po njoj, kako je divotna Vaseljena ova koju ja stvorih.

'Vrlo novi zavet', 11, 1

## **2. PRVI FIZIČAR ČESTICA**

Izgledao je iznenađen. "Pronašao si nož kojim se može preseći atom?" upita on. "U ovom gradu?"

Klimnuo sam glavom. "Upravo sad sedimo na glavnom nervu tog noža", rekoh.

Izvinjavamo se Hanteru S. Tompsonu

Ko god hoće može da se doveze automobilom (ili biciklom, ili da dođe pešice) u Fermilab, iako je to najusavršenija naučna laboratorija na svetu. Većina američkih federalnih ustanova ratoborno čuva svoju privatnost. Ali posao Fermilaba jeste da sve tajne otkriva i obznanjuje ih 'na sva zvona', a ne da ih sakriva. Tokom radikalnih šezdesetih godina ovog veka, Komisija za atomsku energiju (AEC) saopštila je Robertu R. Vilsonu (Robert R. Wilson), koji je pre mene bio direktor Fermilaba, da mora pripremiti neki plan šta da se radi ako se studentske demonstracije primaknu kapiji Fermilaba. Vilson je smislio plan, veoma jednostavan. Saopštio je AEC-u da će sam stupiti pred demonstrante, naoružan samo jednim oružjem: predavanjem iz fizike. Ali to predavanje je tako smrtonosno, nagovestio je Vilson, da će zajemčeno rasterati čak i najhrabrije kolovođe studentskog protesta. I do danas direktori ove laboratorije imaju pri ruci spremno takvo predavanje. Ne daj Bože da ikad nastupi situacija u kojoj bismo ga morali upotrebiti.

Fermilab se prostire na oko dve hiljade osam stotina hektara bivših kukuružišta, osam kilometara istočno od gradića Batavije u saveznoj državi Ilinoj, jedno sat vožnje na zapad od Čikaga. Na kapiji ka Četinarskoj ulici stoji divovska čelična skulptura, delo Roberta Vilsona, koji ne samo što je bio prvi direktor nego je u velikoj meri i upravljao izgradnjom Fermilaba, zdanja koje je pravi trijumf arhitekture, umetnosti i nauke. Skulptura se zove Slomljena simetrija i sastoji se od tri velika luka koji streme uvis, kao da se žele preseći u nekoj tački petnaestak metara iznad tla. Ali taj presek ne uspevaju da postignu, ili bar ne čisto i jasno. Susreću se u vazduhu nekako neuredno, nasumično, kao da su ih pravile tri različite građevinarske firme, a svaka u svađi sa ostale dve. Skulptura ostavlja utisak nesavršenosti, otprilike kao i naša današnja Vaseljena. Ako se prošetáš ukруг oko ove skulpture, taj ogromni skup čeličnih delova izgledaće ti, iz svakog ugla, upadljivo asimetričan. Ali ako legneš na leđa tačno na sredinu i pogledáš pravo uvis, videćeš, samo i jedino iz tog ugla gledanja, da je skulptura ipak simetrična. Ovo Vilsonovo umetničko delo savršeno odgovara Fermilabu, pošto posao fizičara ovde i jeste da tragaju za nagoveštajima skrivenih simetrija koje možda postoje u jednoj Vaseljenu koja je, koliko možemo videti, vrlo asimetrična.

Kad prođeš autom kroz kapiju sa te strane kompleksa, naiđeš na najistaknutiju građevinu Fermilaba. To je Vilson Hol, središnja laboratorijska zgrada, šesnaest spratova visoka. Ona se diže naglo, pravo uvis, iz prostrane ravnice, donekle nalik na crtež srednjovekovnog slikara Albrehta Direra koji prikazuje ljudske ruke sklopljene u molitvi. Zgrada je nadahnuta jednom katedralom koju je Vilson video kad je boravio u francuskom gradu Bove. Tamošnja katedrala podignuta je negde oko godine 1225; ima dve kule bliznakinje, a između njih oltarski deo. Vilson Hol, dovršen 1972. godine, ima takođe dve kule bliznakinje (to su te 'ruke sklopljene u molitvi') ali i prolaze nalik na tunele kroz vazduh (pasarele) na nekoliko spratova, kao i jedan od najprostranijih atrijuma na svetu. Na jednom ulazu u zgradu nalazi se bazen koji odsijava, a na njegovom jednom kraju je visoki obelisk, poslednji Vilsonov umetnički doprinos ovoj laboratoriji, poznat kao 'Wilsonova poslednja konstrukcija'.

Ova ogromna građevina, Vilson Hol, dodiruje (ali samo tangencijalno) ono što je *raison d'etre* cele stvari: akcelerator čestica, naravno. Cev od nerđajućeg čelika, prečnika nekoliko inča, ukopana je deset metara duboko pod preriju, kružnog je oblika, sa obimom od oko četiri milje. Cev je provučena kroz hiljadu superprovodnih magneta koji usmeravaju protone po predviđenoj kružnoj putanji. Akcelerator je prepun sudara i vreline. Kroz ovu akceleratorску cev protoni jurcaju brzinama koje su bliske brzini svetlosti, samo da bi se uništili kad se čeomice sudare sa svojom braćom suprotnog predznaka, antiprotonima. U takvom sudaru ostvari se, na tren, temperatura od deset miliona milijardi stepeni iznad apsolutne nule (10<sup>16</sup> stepeni), što je daleko prevazilazi jaru u jezgru Sunca ili u sredini razbesnele eksplozije supernove. Naučnici koji ovde rade su 'vremeplovcii' u jednom mnogo legitimnijem smislu nego oni u SF filmovima. Jer, pomenuta temperatura poslednji put je prirodno postojala samo prilikom rađanja Vaseljene, u nekom malenom deliću sekunde posle Velikog praska; nikada posle toga.

Akceleratorski prsten jeste duboko ispod površine tla, ali se odozgo ipak sa lakoćom vidi gde je zato što se iznad njega, celom dužinom, pruža zemljani nasip visok sedam metara. (Zamislite veknu francuskog hleba, ali veoma dugačku i savijenu ukруг.) Mnogi ljudi misle da je svrha nasipa da apsorbuje zračenje iz mašine, ali nasip je, uistinu, dodat samo zato što je Vilsonovo osećanje za estetiku tako zahtevalo. Uložio čovek onoliko trud u izgradnju akceleratora - pa, zar sad da ne vidi gde se akcelerator nalazi? I zato je naredio, kad su radnici kopali rupe za hlađenje svud oko akceleratora, da iskopanu zemlju nabacaju u jedan ogroman kružni bedem tačno iznad akceleratorске cevi. A da bi nasipu dao i 'akcenat', naredio je da se sa spoljašnje strane iskopa i kanal, tri metra širok, napuni vodom, i u njega ugrade pumpe koje štrcaju mlazeve vode u vazduh. Doduše, taj kanal služi i nečemu što je od neposredne koristi: ta ista voda hladi akcelerator. Ukupna slika, tako sa vodoskocima, čudnovato je lepa. Pravljenе su satelitske slike sa visine od pet stotina kilometara; taj naš nasip i kanal izgledaju, tako snimljeni, kao savršeni krug, i predstavljaju najoštrije vidljivu odliku predela u severnom delu države Ilinoj.

Površina zemljišta obuhvaćena kružnim kanalom i nasipom (267 hektara ravnog tla) danas prikazuje svojevršni 'put u prošlost'. Naša laboratorija se trudi da unutar ovog svog prstena vrati u život onu negdašnju preriju. Ponovo smo zasadili stare prerijske trave, koje su tokom protekla dva veka gotovo sasvim ugušene navalom raznih evropskih trava; ovo smo postigli zahvaljujući trudu nekoliko stotina dobrovoljaca koji su prikupljali seme trava sa pojedinih ostataka prerije u okolini Čikaga. Labudovi trubači, kanadske guske i peščani ždralovi nastanili su se u jezercima unutar ovog prostora; a ta nam jezercа služe za prikupljanje vode.

S druge strane ulice ostvaruje se još jedan projekat restauracije prirode - pašnjak po kome luta krdo od oko stotinu severnoameričkih bizona. To su uglavnom životinje dovedene iz Kolorada i Južne Dakote, mada se našlo nekoliko i u državi Ilinoj. Iako nije bilo nijednog krda u blizini Batavije poslednjih osam stotina godina. A pre tog doba, krda bizona bila su najnormalnija stvar na tim ravninama gde sada luta i više od stotinu fizičara. Arheolozi nam kažu da su ljudi lovili bizone na ovim prostorima još pre devet hiljada leta; dokaz za to jesu nebrojeni vrhovi strela pronađeni unaokolo. Izgleda da je jedno pleme domorodaca Amerike, nastanjeno na obližnjoj Lisičjoj reci, vekovima slalo svoje lovce na prostor gde je sad Fermilab, a lovci su onda tu logorovali, ubijali bizone i nosili ih nazad do reke, do naseobine plemena.

Neke ljude malčice uznemirava današnje prisustvo bizona ovde. Jednom, dok sam učestvovao u emisiji Fila Donahjua (i govorio promotivne stvari o našoj laboratoriji), javila se telefonom jedna gledateljka koja živi u blizini Fermilaba. "Kad dr Ledermen govori, stiče se utisak da je akcelerator srazmerno bezopasan", požalila se ona. "Ali, ako je tako, šta će im onoliko krdo bizona? Mi svi znamo da su bizoni životinje izuzetno osetljive na radioaktivnost." Ona je mislila da su bizoni nešto kao oni kanarinci u rudniku, ali uvežbani da popadaju kad osete radioaktivnost, a ne ugljen-monoksid. Znači, računala je ovako: ja iz moje kancelarije u Vilson Holu motrim krajičkom oka na krdo, spreman da pojurim prema parkingu ako se neki bizon preturi i legne 'sa sve četiri uvis'. Istina glasi: bizoni su naprosto bizoni. Gajgerov brojač mnogo bolje otkriva radioaktivno zračenje nego bizon, a osim toga, jede mnogo manje sena.

Ako se povežeš Četinarskom ulicom ka istoku, udaljavajući se od Vilson Hola, stigneš do nekoliko drugih važnih zgrada, među kojima je Postrojenje za otkrivanje sudara, kao i novoizgrađeni 'Kompjuterski centar Ričard P. Fajnmen', nazvan po tom velikanu sa Kalteka, matematičaru koji je umro pre nekoliko godina. Vozi dalje, pa ćeš uskoro stići u ulicu Eola. Skreni desno i teraj još jedno kilometar i po, i videćeš s leve strane seosku kuću staru oko sto pedeset godina. Tu sam ja stanovao dok sam bio direktor Fermilaba: ulica Eola broj 137. Ali to nije službena, poštanska adresa, nego se meni dopalo da na tu kuću nakačim, eto, baš taj broj.

U stvari je Ričard Fajnmen predložio da svi fizičari okače po svojim kućama i kancelarijama tablu sa tim brojem, koji će nas stalno podsećati na to koliko je veliko naše neznanje. Na tabli treba da piše naprosto: 137. Vidite, sto trideset sedam je recipročna vrednost nečega što se zove 'konstanta fine strukture'. Taj broj izražava verovatnoću da će jedan elektron emitovati, ili apsorbovati, foton. Ova konstanta ima i drugi naziv, alfa, a možete je dobiti tako što ćete uzeti kvadrat naelektrisanja elektrona, podeliti ga brzinom svetlosti i pomnožiti Plankovom konstantom. Eto puno priče, a šta smo stvarno rekli? Rekli smo da taj jedan broj, 137, objedinjuje u sebi jezgro elektromagnetizma (a to vam je elektron, dabome), jezgro teorije relativnosti (brzinu svetlosti) i jezgro kvantne teorije (Plankovu konstantu). Mnogo bi prijatnije bilo kad bi se pokazalo da je odnos između ta tri jezgra neki jednostavniji broj, recimo jedan, ili tri, ili možda neki umnožak broja  $p$ . Ali 137? Zašto baš 137?

Najizuzetnija stvar o tom izuzetnom broju jeste ta da on nema dimenzije. Brzina svetlosti je oko 300.000 kilometara u sekundi. Abraham Linkoln bio je visok oko dva metra. Većina brojeva nam dolazi tako, sa prikazanim nekom dimenzijom. Ali pokazalo se da kad kombinujemo veličine koje čine alfu (konstantu fine strukture), sve dimenzije, do poslednje, ponište jedna drugu! Dođe sam broj 137, go, ogoljen, ništa nema osim što ima samoga sebe. I takav, go, on se pojavljuje - baš svuda. To znači da neki naučnici na Marsu, ili neki drugi naučnici na, recimo, četrnaestoj planeti Sirijusa, koji koriste Bog bi ga znao koje i kakve grozne jedinice za naelektrisanje i brzinu, kao i neku svoju verziju Plankove konstante, moraju, neizbežno, takođe dobiti broj 137. To je jedan čist broj.

Fizičari se nepojamno muče oko broja 137 već pedeset godina. Verner Hajzenberg (Werner Heisenberg) je jednom prilikom proglasio da će sve nedoumice kvantne fizike naprosto da ispare i nestanu čim konačno razrešimo tajnu broja 137. Govorio sam mojim studentima da ako se ikad nađu u nevolji u nekom velikom gradu ovog sveta, treba da napišu na nekoj ploči, vrlo krupno, '137' i drže to kao transparent iznad glave, i to na uglu neke prometne ulice. Ranije ili kasnije naići će neki fizičar, videće da je tu neki kolega u nevolji, pa će priskočiti u pomoć. (Ne znam da li je iko ikada pokušao ovo, ali trebalo bi da uspe.)

Jedna od divnih priča (mada joj nedostaje potvrda) iz oblasti fizike ilustruje značaj broja 137, ali i nadmenost fizičara. Naime, slavni austrijski matematičar i fizičar Wolfgang Pauli (Wolfgang Pauli) koji je posle postao Švajcarac, ode, posle smrti, kroz rajске dveri. I, pošto je za života bio tako slavan naučnik, puste ga da iziđe na razgovor sa samim Bogom.

"Pauli, tebi je dopušteno jedno pitanje. Šta želiš znati?"

Pauli smesta postavi jedno pitanje, ono na koje je, grdnim ali uzaludnim naporom, pokušavao naći odgovor tokom deset poslednjih godina svog života. "Zašto alfa iznosi jedan kroz 137?"

Bog (ili Boginja, ako niste zaboravili) sa osmehom dohvati kedu i počne pisati po jednoj školskoj tabli jednačine. Posle nekoliko minuta okrene se Pauliju koji samo odmahne rukom i kaže: "Das ist falsch!" (Na nemačkom: "To je pogrešno!")

Dobro, ali istinita je priča, i zaista potvrđena, koja se dogodila ovde na Zemlji. Pauli je uistinu bio opsednut brojem 137 i trošio je bezbrojne sate razmišljajući o tom broju i njegovom smislu i značaju. Nije ga ta stvar prestala mučiti bukvalno ni u sudnjem času: do same smrti. Kad je jedan asistent došao da ga poseti u bolničkoj sobi u kojoj je bio smešten uoči kobne operacije, Pauli ga je zamolio da, prilikom odlaska, obrati pažnju na broj sobe. Asistent je pogledao. Pauli je ležao i provodio poslednji dan svog života u sobi 137.

Eto, vidite, ja sam tu stanovao: ulica Eola broj 137.

## **U DUBINI NOĆNOG MIRA, SA LEDERMENOM**

Vraćao sam se u tu kuću jedne noći, posle pozne večere u Bataviji; a bio je vikend. Sa nekoliko raznih tačaka u ulici Eola možete videti središnju laboratorijsku zgradu kako se uzdiže, osvetljena, naspram neba prerije. Kad gledate Vilson Hol u pola dvanaest noću (u subotnju ili nedeljnu noć), odmah vam je jasno koliko je silna želja fizičara da razreše preostale tajne Vaseljene. Naime, svetla su još upaljena u mnogo prostorija, širom svih šesnaest spratova; a svako svetlo označava po jednog fizičara koji, iako su mu oči kao sarme, i dalje pokušava da dokuči nešto o nekoj teškoj teoriji u vezi sa materijom i energijom. Na sreću, ja sam mogao da se odvezem kući i srušim u krevet. Sad sam bio direktor Fermilaba, pa su moje obaveze u pogledu ostajanja kasno u noć bile drastično svedene. Mogao sam da prespavam svaki problem i pogledam ga tek sutra, nisam morao ni na jednom problemu da radim noću. Te noći svalio sam se u postelju zaista sa osećanjem zahvalnosti što mogu tako, a ne moram da ležim negde na podu pokraj akceleratora i dremam samo dok ne pristignu podaci. Pa ipak, u snu se počeh nešto okretati, prevrtati: brinem se šta ću sa leptonima, šta sa Sofijicom, sa kvarkovima, sa onom Ćinom... Naposletku počnem da brojim ovce da bih prestao misliti na fiziku. Brojim ja ovce: "...134, 135, 136, 137!..."

Najednom se izvijem između čaršava i jorgana i ustanem, gonjen osećanjem hitnosti, i krenem napolje, iz kuće. Izvučem bicikl iz šupe i - još u pidžami, a sve ove medalje koje sam u životu nadobijao padaju mi jedna po jedna sa revera pidžame dok vozim bicikl - krenem ka detektoru sudara. Nažalost, bicikl se kreće nepodnošljivo sporo. Znam da ima nešto hitno da se uradi u detektoru, ali ne uspevam da prisilim bicikl da krene brže. Onda se setim šta mi je pričao jedan psiholog, nedavno: da postoji takozvano lucidno sanjanje, kad sanjaš, a znaš da sanjaš, svestan si te činjenice. Kad sanjač shvati da je to tako, rekao mi je psiholog, onda može u svome snu da radi šta god hoće. Prvi korak je da nađeš neki nagoveštaj da sanjaš, da to što vidiš oko sebe nije stvarnost. To je bilo lako. Prokleta dobro sam znao da je sve samo san zato što sam video da je napisano kosim slovima - kurzivom. Mrzim kurziv. Teško se čita. Dabome, iskoristim ovu situaciju, preuzmem kontrolu nad svojim snom, i kao prvo, kriknem: "Beži sa tim kurzivom!"

Ohhh. Koliko ovo prija. Sad je mnogo, mnogo bolje. Prebacim bajns u maksu brzinu i krenem brzinom svetlosti (zašto ne, u snu može sve) ka postrojenju za otkrivanje sudara. Ajoj, i prebrzo: obletim Zemlju osam puta i vratim se do ispred moje kuće. Zato prebacim bicikl na nešto umereniju brzinu i zaputim se sa razboritih 200 na sat do postrojenja. Jest da je bilo tri ujutro, ali parking je, ipak, bio manje-više pun; u akceleratorским postrojenjima protoni se ne smiruju ni noću.

Zviždućem jednu avetinjsku laganu melodijicu i ušetavam se u postrojenje zvano CDF, koje je veliko kao industrijski hangar, a u njemu sve obojeno u plavu i svetlonarandžastu boju. Ima tu mnogo kancelarija, kompjuterskih soba i kontrolnih sala, ali su one sve raspoređene duž jednog zida; a sve ostalo je jedna ogromna prostorija, u kojoj je smešten sam detektor, instrument visok tri sprata i težak pet hiljada tona. Oko dvesta fizičara i uz njih dvesta inženjera radilo je više od osam godina da bi sklopilo ovaj švajcarski časovnik od pet hiljada tona. Detektor je raznobojan, ima zvezdasti izgled (kao zraci koji se šire iz središta), a svi delovi detektora se, zapravo, šire simetrično iz jedne male rupe u sredini. Ovaj detektor je krunski dragulj naše laboratorije. Bez njega ne bismo mogli da 'vidimo' šta se dešava u akceleratorskoj cevi koja prolazi kroz samo središte detektora. A dešava se to da baš tačno u središtu svega toga, u sredini cevi, tresnu protoni u antiprotone: to je taj njihov čeonu sudar. Radijalni 'paoci' od kojih se detektor uglavnom i sastoji namešteni su tako da se podudaraju sa pravcima u kojima se, kao kakve sitne rasprštane kapljice, razleću stotine čestica koje u sudarima nastaju.

Detektor se pokreće po šinama koje mu omogućavaju, iako je tako ogroman, da ponekad iziđe iz akceleratorskog tunela i pređe na pod montažne hale, da bi se obavilo redovno održavanje. Mi obično namestimo da to održavanje padne nekako u juli i avgust, kad je struja najskuplja (ko plaća struju više od deset miliona dolara godišnje mora da misli i na takve okolnosti da bi uštedeo bar malo). Ali ove noći detektor je uključen. Pre

uključivanja odvezen je natrag u tunel, na svoje mesto, naravno, a obližnja sobica za majstore koji ga održavaju zaštićena je od zračenja tako što su zatvorena čelična vrata u obliku čepa, tri metra debela. Akcelerator je načinjen tako da se sudari protona i antiprotona dešavaju (ponajviše) u onom delu cevi koji prolazi kroz detektor. Taj deo se zove oblast sudara. Sasvim je jasno šta detektor treba da radi: opaža i stavlja u naše kataloge svaku česticu koja nastane u sudaru p-ova i p minus-a. (Protona i 'minusnih protona', to jest antiprotona.)

I dalje u pidžami, odlazim u kontrolnu salu na drugom spratu, iz koje stalno nadgledamo nalaze koje detektor beleži. Sala je tiha, kao što bi se u ove sitne sate moglo i očekivati. Nemaš zavarivače i druge radnike da se vrmaju posvuda i večito nešto popravljaju ili održavaju, što je u dnevnim smenama redovna pojava. Svetla u ovoj kontrolnoj sali su, kao i obično, prigušena, da bolje vidimo plavkasti sjaj desetina kompjuterskih monitora. Naši računari u kontrolnoj sali CDF su 'mekintoši', isti kao oni koje možeš kupiti da vodiš svoje finansije ili da igraš igricu 'Kosmički Ozmo'. Informacije primaju od ogromnog, ovde izgrađenog glavnog kompjutera koji je povezan sa detektorom i zajedno sa njim pretražuje kroz mnoštvo 'krhotina' nastalih u sudarima. Taj namenski sklopljen glavni računar je, zapravo, jedan veoma usavršen sistem za pribavljanje podataka (DAQ). Našeg DAQ-a su pravili neki od najboljih naučnika celoga sveta, naučnici sa petnaestak univerziteta širom planete koji su saradivali i u izgradnji detektora. Pošto se svake sekunde u cevi dešava na stotine hiljada sudara, neko mora da odabere one koji su dovoljno zanimljivi i važni da ih vredi snimiti na magnetnu traku i detaljnije proučiti. Taj neko je DAQ. 'Mekintoši' samo paze na mnogobrojne pomoćne podsisteme koji prikupljaju podatke.

Osmotrim ja salu, uočim mnogobrojne prazne plastične čaše za kafu i grupicu mladih fizičara, do besvesti premorenih, ali ipak i sad prenapetih: to nastaje kao posledica dugog prekovremenog rada i preterivanja u pijenju kafe. U tri noću ovde rade uglavnom mladi postdiplomci i novi doktori - dakle, ljudi koji još nemaju dovoljno visoko mesto u našem sistemu starešinstva i zato ne mogu da se uvuku u neku pristojnu smenu. Začudo, dobar deo te grupice čine mlade žene, a njih u većini laboratorija za fiziku ima vrlo malo. Međutim, mi smo za potrebe našeg detektora preduzeli odlučnu, agresivnu 'regrutaciju', pa smo uspeali da pridobijemo i ženske da se zaposle ovde - na zadovoljstvo i dobitak svih.

Međutim, u jednom uglu sedi jedan čovek koji se nekako ne uklapa. Mršav, brada razbarušena. Dobro, pa takvi su i mnogi drugi naši istraživači; ali ja po nečemu ipak znam da on nije kod nas zaposlen. Možda po tome što je odeven u togu. Zuri u 'mekintoše' i prigušeno, nervozno se smeje. Zamislite: smejati se u kontrolnoj sali CDF! Smejati se jednom od najveličanstvenijih opita u istoriji nauke! Vreme je da ja preduzmem odlučne mere ovde. Što je mnogo - mnogo je.

LEDERMEN: Pardon. Jesi li ti taj novi matematičar koga je trebalo da pošalju sa Čikaškog univerziteta?

TIP U TOGI: Profesiju si pogodio, grad promašio. Ime mi je Demokrit. Iz Abdere dohodim, ne iz Čikaga. Zovu me Nasmějani Filozof.

LEDERMEN: Iz Abdere?

DEMOKRIT: Grad u Trakiji, na kopnenom delu Grčke.

LEDERMEN: Ne pamtim da sam tražio nekog iz Trakije. Našem osoblju nepotreban je Nasmějani Filozof. Ovde sve šale pričam ja.

DEMOKRIT: Da, čuo sam za Nasmėjanog direktora Fermilaba. Nemoj da te to zabrinjava. Ne verujem da ću ovde biti dugo. S obzirom na to šta sam dosad video - neću dugo.

LEDERMEN: Onda, zašto nam zauzimaš prostor u kontrolnoj sali?

DEMOKRIT: Tragam za nečim. Nečim doista malenim.

LEDERMEN: Na pravo mesto si došao. Mi smo stručnjaci za sitno.

DEMOKRIT: I rekoše mi tako. A ja, evo, tragam za tom stvarčicom već dve hiljade četiri stotine leta.

LEDERMEN: A, ti si taj Demokrit.

DEMOKRIT: Znaš nekog drugog?

LEDERMEN: Sad mi je jasno. Ti si kao onaj anđeo Klarens u delu Život je divna stvar - upućen si da me odgovoriš od samoubistva. A ja i jesam razmišljao o samoubistvu. Nikako da nabodemo kvark vrh.

DEMOKRIT: Samoubistvo! Podsećaš me na Sokrata. Ne, anđeo nisam. Ta predstava o besmrtnosti smišljena je posle mog vremena. Popularisao ju je onaj tupavi Platon.

LEDERMEN: Kako bi ti mogao biti ovde, da nisi besmrtn? Umro si pre više od dva milenijuma.

DEMOKRIT: Ima više stvari na nebesima i na Zemlji, Horacio, nego što vaša filozofija i sanja.

LEDERMEN: Zvuči poznato.

DEMOKRIT: Pozajmio sam to od jednog tipa sa kojim sam se upoznao u šesnaestom veku. Nego, da ti odgovorim: bavim se onim što bi ti nazvao putovanje kroz vreme.

LEDERMEN: Putovanje kroz vreme? Vi ste problem putovanja kroz vreme rešili u petom veku pre Hrista, u Grčkoj?

DEMOKRIT: Vreme je vrlo lak problem: mačji kašalj. Teče napred, teče i nazad. Udeš u njega i voziš se neko vreme kroz vreme, pa iziđeš, kao oni surferi na talasima na vašim kalifornijskim plažama. Nešto drugo je teško za shvatanje: materija. Mi smo čak poslali neke naše postdiplomce da se ubace u vašu eru. Jedan od njih, Stefaneos Hokingos, čak je i postigao poprilične uspehe, koliko čujem. On se specijalizovao za to takozvano 'vreme'. Ali sve što zna, naučio je od nas.

LEDERMEN: Zašto niste objavili to vaše otkriće?

DEMOKRIT: Objavili? Ja šezdeset sedam knjiga napisah, i mogli su se prodati strašni tiraži, ali izdavač nije hteo ništa da uloži u reklamu. Ono što ste vi o meni saznali, saznali ste uglavnom iz Aristotelovih pisanija. Nego, da ja tebe obavestim o nečem drugom. Putovao sam - ahej, koliko sam ja putovao! Prošao sam kroz više mesta nego ijedan čovek u mome vremenu, obavio sam najobimnija istraživanja, video više zemalja i klima, čuo više slavnih ljudi...

LEDERMEN: Ali Platon te je mrzeo. Da li je istina ono da se njemu tvoje knjige toliko nisu dopadale, da je tražio da budu sve spaljene?

DEMOKRIT: Da, i umalo da uspe, matori, sujeverni jarac. Ali onaj požar u Aleksandriji stvarno je upropastio moj ugled. Zato vi takozvani moderni znate tako malo ili nimalo o manipulisanju vremenom. Ništa čovek ne može da čuje od vas nego samo: Njutn, Ajnštajn...

LEDERMEN: I, dobro, čemu sad ova poseta Bataviji u 'letima gospodnjim' devedesetim veka dvadesetog?

DEMOKRIT: Samo proveravam jednu od mojih zamisli, jednu koju su moji zemljaci, na nesreću, napustili.

LEDERMEN: Kladam se da o atomu, atomosu, zboriš, Demokrite.

DEMOKRIT: Da, o njemu, a-tomu, čestici krajnjoj, nevidljivoj i nedeljivoj. O onoj od koje sva ostala materija sazdana je. Preskačem sve dalje i dalje kroz vreme, napred, da vidim koliko je ljudski rod postigao u usavršavanju moje teorije.

LEDERMEN: A tvoja teorija kaže...

DEMOKRIT: Izazivaš me, mladi čoveče! Kakva su moja uverenja bila, to ti dobro znaš. Ne zaboravi, ja jesam preskakao kroz vreme, ali sam ipak išao redom, iz veka u vek, iz decenije u deceniju. Znano mi je veoma dobro da su u veku devetnaestom hemičari, a u dvadesetom fizičari, pokušavali mojim zamislima da se igraju. Nemoj me pogrešno shvatiti - dobro je što su to radili. Kamo lepe sreće da je Platon tako mudar bio.

LEDERMEN: Ma, samo htedoh da čujem tvoju teoriju od tebe lično, tvojim rečima iskazanu. Jer mi o tvom stvaralaštvu uglavnom kroz iskaze drugih znamo.

DEMOKRIT: Pa, hajd, nek ti bude. Evo, po ko zna koji put. Ako zvučim kao da se dosađujem, to je zato što sam nedavno sve isto ovako pričao onom drugaru Openhajmeru. Samo jedno nemoj: nemoj me prekidati nekim dosadnim mozganjima o navodnoj paralelnosti između fizike i hinduističke religije.

LEDERMEN: Da li bi ti hteo čuti moju teoriju o ulozi kineske hrane u narušavanju ogledalske simetrije? Teorija je to koja ima jednaku vrednost kao ono vaše da je svet sačinjen od vazduha, zemlje, vatre i vode.

DEMOKRIT: Hajd, kao da ti malo ćutiš i pustiš me da počnem od početka. Sedi, eto, pored te 'mekintoš' stvari, i čuj me i počuj. Ako misliš moj rad razumeti, i rad svih nas, atomista, moramo se vratiti dvadeset šest vekova u prošlost. Nekih dvesta leta pre rođenja mog, procvao je u svome radu jedan čovek imenom Tales, oko šest stotina godina pre rođenja Isusa Hrista, a u Miletu, naselju nekih teških seljačina, u pokrajini Joniji, za koju vi sad kažete da je 'Turska'.

LEDERMEN: I taj Tales filozof beše?

DEMOKRIT: I te kako! Prvi grčki filozof, štaviše. Ali su filozofi pred Sokratovske Grčke zaista znali mnogo toga. Tales beše matematičar uspešan, kao i astronom. Svoje studije izoštri u Egiptu, i u Mesopotamiji potom. Jeste li znali da je on predskazao jedno pomračenje Sunca koje se dogodilo pred sam kraj rata između Lidijaca i Medejaca? On je načinio i jedan od prvih almanaha - koliko čujem, vi taj zadatak danas prepuštate ratarima - a mornare je naše naučio kako da usmeravaju lađu kroz noć, gledajući na sazvežđe Mali medved. Beše on i politički savetnik, pronicljiv poslovni čovek i fini inženjer. Rani grčki filozofi behu cenjeni ne samo zbog lepote umnog rada svoga nego i zbog praktičnih veština, ili, kako biste vi danas rekli, zbog primenjene nauke. Sa fizičarima danas da li je drugačije?

LEDERMEN: Dešavalo se da i mi učinimo ponešto korisno, pokatkad. Ali žao mi je što reći moram da su naša znanja danas uglavnom ka vrlo uskim ciljevima usmerena i da malo ko od nas grčki jezik zboriti zna.

DEMOKRIT: Sreća je tvoja, dakle, što ja znam engleski tako dobro, zar ne? Čuj, dakle: Tales je, kao i ja, sebi neprestano jedno pitanje, ono najosnovnije, postavljao: Od čega je svet sazdan, i kako to 'nešto' dejstvuje? Vidimo prividan haos posvud oko nas. Cvati cveće, pa umire. Poplave zemlju uništavaju. Jezera se u pustinje preobraćaju. Iz nebesa meteorit padne. Kovitlaci vetra pojave se prividno niotkud. S vremena na vreme poneka planina prasne. Ljudi ostare, umru i u prah se pretvore. Postoji li, ipak, nešto trajno, jedan identitet koji ispod svega toga leži, i koji kroz svu tu stalnu menu i promenu istrajava? Može li se sve to, što postoji, svesti na pravila tako jednostavna, da ih čak i naša malena pamet uspe shvatiti?

LEDERMEN: Talesov odgovor, ako ga je našao, šta beše?

DEMOKRIT: Voda. Tales reče da voda jeste element konačni i osnovni.

LEDERMEN: Na osnovu čega je on to?

DEMOKRIT: Pa i nije mu to bila tako luda zamisao. Nisam sasvim siguran šta se u njegovoj glavi dešavalo. Ali pomisli: voda je presudna za rast, biljaka bar. Semenke imaju prirodu vlažnu. Gotovo svaka stvar ispušta, kad je zagrevaš, vodu. Voda je, štaviše, jedina znana tvar koja može postojati i kao čvrsto telo, i kao tečnost, i kao gas - naime, kao vodena para. Možda je Tales mislio da bi se voda, nastavljanjem nekih od pomenutih procesa, mogla preobraziti u zemlju. Ne znam šta je mislio. Ali svakako je odlično počeo u oblasti koju vi danas nauka nazivate.

LEDERMEN: Nije bilo loše, za prvi pokušaj.

DEMOKRIT: Utisak vlada uokolo mora Egejskoga da su Talesu i njegovoj družini ugled pokvarili istoričari, a naročito Aristotel. Aristotel beše opsednut razmišljanjem o silama i uzrocima. Uzročnost... gotovo ni o čemu drugom ne možeš s njim pričati. Napadao je Talesa i njegove prijatelje Miletovce. 'Zašto voda?' Pa onda opet: 'Koja to sila iznuđuje promenu iz krute vode u eteričnu vodu? Zašto ima tako mnogo različitih oblika vode?'

LEDERMEN: U modernoj, hm, pardon, hoću reći u ovoj fizici danas, zahteva se da postoje sile, ali i...

DEMOKRIT: Sasvim je lako moguće da su Tales i njegova družina upleli tu zamisao uzročnosti u samu prirodu njihove, na vodi zasnovane, materije. Sila sa materijom ujedinjena! Nego, da ostavimo to za malo kasnije. Naposletku ćeš ti kazati meni o tim vašim, kako ih zovete, gluonima, i o supersimetriji, i...

LEDERMEN (Češe se pomamno svud po telu, a koža mu je najednom sva silno naježena): Da-da. Dobro-dobro. Šta još je taj genije uradio?

DEMOKRIT: Imao je i neke mistične zamisli, koje su mu baš zgodno došle. Verovao je da Zemlja na vodi plovi. Verovao je da magnet, zato što gvožđe pokrenuti može, ima dušu. Ali verovao je, takođe, u jednostavnost, i verovao je da cela Vaseljena jeste objedinjena, bez obzira na to što su pojavni oblici nebrojenih 'materijalnih stvari' oko nas

toliko različiti. Tales je jedan niz razložnih argumenata prepleo sa svakojakim mitološkim mamurlucima koji su se u njegovoj glavi zadržali, i, tako, dao vodi taj poseban položaj.

LEDERMEN: Pretpostavljam da je mislio da ovu planetu na leđima nosi div Atlas koji stoji na kornjači.

DEMOKRIT: Au contraire. Upravo suprotno od toga, prijatelju moj. Tales i njegovi drugari imali su jedan veoma značajan sastanak, verovatno u zadnjoj sali jednog restorana u središtu gradića Mileta. Posle izvesne količine egipatskog vina, šutnuli su Atlasa i svečano se zakleli: 'Od dana ovoga, objašnjenja i teorije o dejstvovanju sveta zasnivaće se strogo samo na logičnim argumentima. Nema sujeverja više. Ništa nam Zevs Gromovnik ne piše. Ne upućujemo Ateni molitve, nisu nam potrebni Herkul niti Ra, ni Lao-Ce ni Buda. Nas jedino ono mami što možemo da utvrdimo sami.' Možda je to najvažniji dogovor u istoriji čovečanstva. Beše leto - pre Hrista - šesto pedeseto, noć verovatno, noć od četvrtka na petak. Tada se rodila nauka.

LEDERMEN: Zamišljaš da smo mi danas slobodni od sujeverica i praznoverica? Nisi imao susret sa našim kreacionistima? A sa našim ekstremistima pokreta za prava životinja?

DEMOKRIT: Ovde u Fermilabu?

LEDERMEN: Ne, ali u blizini. Nego, reci mi, kad je uskočila ta zamisao o zemlji, vazduhu, vatri i vodi?

DEMOKRIT: Polako, polako. Postoje dva-tri druga čoveka, pre nego što stignemo do te teorije. Anaksimander, na primer. Bio je to Talesov mladi pristalica u Miletu. Anaksimander je takođe 'zaradio svoje mamuze' radeći praktične poslove - na primer, tako što je za miletanske mornare nacrtao mapu Crnog mora. Kao i Tales, tragao je i on za osnovnim 'opekama' od kojih je materija sva sagrađena, ali je zaključio da ne može biti od vode.

LEDERMEN: To je svakako bio novi napredak grčke nauke. Anaksimander je za tu ulogu kandidovao - šta? Baklavu?

DEMOKRIT: Smej se ti, zašto ne. Brzo ćemo mi preći na vaše teorije. Anaksimander beše još jedan od tih praktičnih genija. Kao i njegov mentor Tales, koristio je slobodno vreme da se uključi u filozofske rasprave. Anaksimanderova logika bila je prilično istančana. Uvideo je da svet jeste sagrađen od suprotnosti koje između sebe ratuju: toplo protiv hladnog, mokro protiv suvog. Voda vatru gasi; Sunce vodu osuši, et cetera. Otud osnovna tvar Vaseljene ne može biti ni voda, ni ma šta drugo što je određeno ijednom stvari koja pripada tim suprotnostima. Tu ne bi bilo simetrije. A znaš koliko su Grci voleli simetriju. Na primer, ako je u prvo vreme sva materija bila voda, kao što Tales govoraše, onda vreline nikada ne bi moglo biti, niti vatre, jer voda vatru ne daje, već je uništava.

LEDERMEN: Pa šta onda Anaksimander kao pramateriju predloži?

DEMOKRIT: On je to nazvao apeiron, što znači 'ono bez granica'. To prvo stanje materije bilo je jedna masa, nerazdeljena, veličinom ogromna, a možda i beskonačna. Primitivna 'tvar' je to bila, neutralna, negde između svih tih suprotnosti. A ta pomisao duboko je uticala na moje razmišljanje.

LEDERMEN: Znači, taj apeiron bio je nešto nalik na tvoj a-tom - osim što je bio tvar beskonačna, beskrajna, a ne čestica infinitezimalno sićušna? Zar to nije samo zamutilo situaciju?

DEMOKRIT: Ne, Anaksimander je bio na tragu nečega. Apeiron je bio beskonačan, i u prostoru i u vremenu beskrajn, ali i bez ikakve strukture: nikakvih sastavnih delova ne imađase. Ništa ne beše osim apeiron, skroz i sasvim. A ako hoćeš da doneseš odluku koja će ti osnovna tvar biti, onda bi dobro bilo da ona ima tu odliku. Zapravo, poenta moja upravo je ovo: da vas postidim time što, evo, posle dve hiljade godina vi, narode, konačno počinjete ceniti prisutnost moje družine. Anaksimander je, vaistinu, vakuum pronašao. Mislim da je vaš P. A. M. Dirak (P. A. M. Dirac) konačno počeo tek u godinama dvadesetim veka vašega davati vakuumu one odlike koje vakuum zaslužuje. Anaksijev apeiron bio je prototip za moju 'prazninu', ništavilo u kome se čestice kreću. Isak Njutn i Džejms Klerk Maksvel nazvaše to eter.

LEDERMEN: A ono što jeste nešto? Materija?



DEMOKRIT: Ovo počuj. (Izvlači iz toge svitak pergamenta, namešta na nos naočare 'magnavižn' kupljene na nekoj rasprodaji.) Anaksimander zbori ovako: 'Nije to voda, niti ijedan od drugih takozvanih elemenata, nego je tvar jedna drugačija, iz koje se rađaju sva nebesa i svi svetovi u njima. Stvari kada propadaju, rastaču se u ono isto od čega su i dobile svoje bivstvo... Suprotnosti su prvo bile sve u tom jednom, pa su se onda izdvojile i razdvojile.' Nešto mi pada na um činjenica da vi mladići iz dvadesetog veka stalno nešto: materija, antimaterija, obe u vakuumu, pa dolazi do anihilacije...

LEDERMEN: Da, dobro, to jeste tako, ali...

DEMOKRIT: Kad Anaksimander kaže da su suprotnosti u apeironu bile - hajd, nek ga nazovemo i vakuum, i eter - pa su se posle izdvajale i razdvajale, zar to nije donekle nalik na ono što vi mislite?

LEDERMEN: Da, pa, na neki način jeste. Ali ja bih mnogo radije da doznam šta je navelo Anaksimandera na misli takve.

DEMOKRIT: Jasno da on nije unapred stvorio sud o postojanju antimaterije. Ali smatrao je da u vakuumu koji je opremljen svim osobinama koje vakuum, doista, i treba da ima, suprotnosti mogu da se izdvoje: vrelo i hladno, mokro i suvo, slatko i kiselo. Vi danas tome dodajete pozitivno i negativno, jug i sever. Kad se suprotnosti ujedine, njihove odlike se međusobno ponište, i tako opet daju neutralni apeiron. Zar nije to zgodno udešeno?

LEDERMEN: Što ne bismo onda uveli u to i Demokratsku stranku i Republikansku stranku? Da nije bio neki Grk tamo po imenu Republikos?

DEMOKRIT: Ha, ha. Dobra ti je dosetka. Anaksimander je bar pokušao da objasni mehanizam kojim se iz jednog osnovnog elementa stvara raznovrsnost. A ta njegova teorija o razvrstavanju apeirona vodila je do izvesnog broja pretpostavki među kojima ima i takvih koje bi verovatno tvoju saglasnost dobile. Anaksimander je verovao, primerice, da čovek od nižih nastade životinja, i to razvojem, a te niže zveri da, opet, od drugih životinja nastadoše, i to od onih koje su poreklom iz mora. Anaksimanderova najveća kosmološka zamisao bila je da se otarasi ne samo diva Atlasa nego čak i tog Talesovog okeana po kome tobož Zemlja plovi. Znadijaše Anaksimander da Zemlju nije potrebno držati ni oslonce joj podmetati. Ako zamisliš Zemlju, svejedno što još ne znaš da je loptasta, kako u apeironu lebdi, beskonačnome, jasno je da ona nema kuda poći. Potpuno u saglasnosti sa Njutnovim zakonima, ako, kao što su ovi moji Grci mislili, ne postoji nigde ništa drugo. Anaksimander je, međutim, računao na to da mora postojati više od jednog sveta, ili kosmosa. Štaviše, ovako Anaksimander napisao: da postoji neograničen broj Vaseljena, i da svaka ranije ili kasnije propast doživi i nestanak, i sledećom Vaseljenom zamenjena bude.

LEDERMEN: Kao alternativne Vaseljene u 'Zvezdanim stazama'?

DEMOKRIT: Polako sa tim vašim reklamnim porukama. Zamisao o bezbrojnim svetovima postala je veoma važna nama atomistima.

LEDERMEN: Čekaj malo. Pamtim ja neke rečenice koje si ti, Demokrite, napisao, a od kojih sam se ja, gledajući ih u svetlosti moderne kosmologije, zaista naježio. Znam ja te odlomke napamet. Ovako si napisao: 'Postoje nebrojeni svetovi različitih veličina. U nekima nema sunca ni meseca, u drugima ima, ali su razmera većih nego u našem svetu, a ima opet i svetova sa više sunaca i više meseca.'

DEMOKRIT: Da, mi, stari Grci, imali smo neke zamisli u koje veruje i vaš kapetan Kirk. Sa tom razlikom što smo se mi oblačili daleko bolje. Nego, ja bih radije uporedio moju zamisao sa 'mehurovima-Vaseljenama' o kojima vaši 'inflacioni kosmolozi' objavljuju naučne radove ovih dana.

LEDERMEN: Upravo od toga onakvu jezu osetih. Zar nije jedan od tvojih prethodnika verovao da je vazduh onaj krajnji element?

DEMOKRIT: To ti misliš na Anaksimena, koji beše Anaksimanderov mlađani sledbenik i poslednji član Talesove družine. Ali taj Anaksimena je odstupio jedan korak unazad od Anaksimandera i vratio se na ono Talesovo da postoji jedan sveopšti praelement. Samo je insistirao da je to vazduh, ne voda.

LEDERMEN: Trebalo je da sluša svog mentora; onda se ne bi opredelio za nešto tako banalno kao što je vazduh.

DEMOKRIT: Da, ali je zato Anaksimien smislio pametan mehanizam kojim je objasnio kako su od te osnovne tvari, preobražajima, nastali razni oblici materije. Koliko saznanoh iz nekih tekstova koje nedavno pročitah, ti si jedan od onih za koje se kaže da su eksperimentatori.

LEDERMEN: Aha. Imaš neki problem s time?

DEMOKRIT: Primećujem tvoj sarkazam prema glavni teorija grčkih. Naslućujem da je to zato što mnoge od tih teorija, iako se uvidom u ovaj svet oko nas mogu braniti, ipak nisu nijednim opitom presudno potvrđene.

LEDERMEN: Tako je. Eksperimentatori mnogo vole zamisao koju možeš proveriti. Takvim proveravanjem mi, znaš, zarađujemo hleb naš nasušni.

DEMOKRIT: Onda bi trebalo više da ceniš Anaksimena, jer je on svoja uverenja zasnivao na opažanjima. Teorija njegova je bila da se iz vazduha razni elementi materije izdvajaju kondenzacijom i razređivanjem. Vazduh se može svesti na vlagu, i obratno, vlaga pretvoriti u vazduh. Vrelina i hladnoća preobražavaju vazduh u različite tvari. Da bi pokazao kako je toplota u vezi sa razređivanjem, a hladnoća u vezi sa zgušnjavanjem, Anaksimander je savetovao ljudima da izvedu sledeći opit: kad izduvavaju vazduh kroz usne vrlo blisko primaknute, vazduh izlazi osetno hladniji, a kad polako ispuštaju vazduh kroz široko otvorena usta, dah bude приметно topliji.

LEDERMEN: Kongres Sjedinjenih Američkih Država bi voleo Anaksimandera. Njegovi opiti su kudikamo jeftiniji od ovih mojih. Osim toga, oni u Kongresu guraju tolike količine vazduha napolje, kroz svoja usta, svejedno da li toplog ili hladnog, da, zaista...

DEMOKRIT: Dobro, razumeo sam, ali samo želim razagnati tvoj utisak pogrešni da mi antički Grci nikada vršili opite nismo. Glavni problem sa misliocima poput Talesa i Anaksimena beše verovanje njihovo da se tvari mogu preobražavati: voda vazduh da postane, vazduh u oganj da se pretvori. A to ne može. Ovaj čvor koji nas je toliko saplitao ne pokuša niko u našoj ranoj filozofiji da razreši, sve dok ne dođoše dvojica mojih savremenika - Parmenid i Empedokle.

LEDERMEN: Empedokle je tip koji je zastupao ono: vazduh, zemlja i tako dalje. Zar ne? A za Parmenida me podseti, šta ono beše.

DEMOKRIT: Za Parmenida se često govorilo da je otac idealizma zato što je veliki deo njegovih zamisli pokupio onaj idiot Platon; a istina glasi da je Parmenid bio materijalista, i to tvrd: što vi kažete, 'hard-kor'. Poprilično je pričao o Biću, ali to njegovo Biće bilo je materijalno. U suštini, Parmenid je verovao da Biće ne može da nestane, niti da postane. Materija ne može samo tako da uskoči u postojanje, niti da samo učini 'Hop!' i nestane. Materija jeste tu gde jeste, a mi je uništiti ne možemo.

LEDERMEN: Da siđemo nas dvojica časkom do akceleratora, pa da vidiš koliko Parmenid nije bio u pravu. Mi sa materijom radimo svaki dan upravo to. Tras! - i ona više ne postoji. Bum! - i evo je, nastala je.

DEMOKRIT: Dobro, dobro. Ali to je jedna značajna predstava. Parmenid je obuhvatio zamisao koja je nama Grcima bila veoma draga: zamisao jedinstva, jednosti, celosti. Ono što postoji, postoji. Ono je potpuno, ono je trajno. Slutim da ti i tvoje kolege takođe prigrliste jednost.

LEDERMEN: Jest, predstava je to trajna i draga. Mi se trudimo naša uverenja da vodimo ka ujedinjenju kad god je moguće. Velika objedinjena teorija, to je jedna od naših današnjih opsesija.

DEMOKRIT: A to što vi kažete 'Bum!' i nova materija nastane - ja ne bih rekao da je to baš tako, proces čisto voljni, nego, koliko znam, morate u taj proces uneti energiju.

LEDERMEN: Tačno. Imam ovde račune za struju, povelike, pomoću kojih mogu to dokazati.

DEMOKRIT: Znači, u nekom smislu reči, Parmenid nije mnogo promašio. Ako uključimo i materiju i energiju u to što on naziva 'Biće', onda je on baš u pravu. Jer to i takvo Biće ne može nastati niti nestati, bar ne u nekom potpunom smislu. Međutim, naša čula pričaju nam drugu priču. Vidimo da neko drvo sagori do zemlje. Vidimo da voda uništi neku vatru. Vidimo da vrela vazduh leta izazove isparavanje vode. Cvetovi se rascvetaju - pa uvenu. Empedokle je video kako možemo zaobići ove prividne protivurečnosti. Saglasio se sa Parmenidom da mora postojati očuvanje materije, da materija ne može nastajati i nestajati kad se kome prohte. Ali se nije složio sa Talesom i

Anaksimenom da jedna vrsta materije može biti preobražena u drugu. Onda kako objasniti stalne promene koje oko sebe vidimo? Postoje samo četiri vrste materije, rekao je Empedokle. Njegove slavne četiri - zemlja, vazduh, vatra i voda. To su elementi koji se ne preobražavaju ni u kakve druge tipove materije, nepromenljivi su, to su konačne čestice od kojih su sagrađeni svi konkretni predmeti sveta.

LEDERMEN: To je već bolje.

DEMOKRIT: Znao sam da će ti se svideti. Predmeti nastaju tako što se ti elementi mešaju i kombinuju, predmeti nestaju tako što se ti elementi razdvajaju i razilaze. Ali sami elementi - zemlja, vazduh, vatra i voda - niti nastaju, niti nestaju, nego ostaju neizmenjeni. Jasna stvar, ja se ne slažem s njim u pogledu identiteta tih čestica; nisu te četiri koje je on rekao. Ali u načelu, njegova teorija predstavlja jedan značajan intelektualni skok napred. Svet se sastoji od samo nekoliko osnovnih sastojaka, a predmete sazdamo tako što osnovne sastojke pomešamo; postoji mnogo načina na koji mogu biti pomešani. Empedokle je tvrdio da je kost sagrađena od dva dela zemlje, dva dela vode, i četiri dela vatre. Kako je došao baš do tog, a ne do nekog drugog recepta, ne mogu da se prisetim.

LEDERMEN: Mi pokušali sa mešavinom voda-vazduh-zemlja-vatra i dobili samo vruće, mehuravo, ključalo blato. Ništa više.

DEMOKRIT: E, stvarno ovi 'moderni' umeju da srozaju svaku raspravu u... blato.

LEDERMEN: A sile? Čini se da nikome od vas Grka nije palo na um da morate imati i sile, a ne samo čestice.

DEMOKRIT: Ja sam se dvoumio, ali Empedokle bi se složio s tobom. Uvideo je da moraš imati i neke sile koje će spojiti čestice elemenata u predmet. Zaključio je da postoje dve sile: ljubav i borba. Ljubav je ona sila koja privlači i spaja, a borba, ili razdor, jeste ona sila koja razdvaja. Možda to nije mnogo naučno, ali zar nemaju naučnici u vašoj epohi jedan sličan sistem verovanja o Vaseljenu? Da se ona sastoji od izvesnog broja čestica i od nekoliko sila koje čine jedan skup? I zar vi njima ne dajete često nazive sasvim neozbiljne?

LEDERMEN: Mmmm - da, na neki način je tako. Imamo naš takozvani 'standardni model', koji kaže da sve što mi o Vaseljenu znamo može biti objašnjeno međudejstvima dvanaestak čestica i četiri sile.

DEMOKRIT: Eto, vidiš. Empedoklov pogled na svet zvuči otprilike kao to što si sad rekao, zar ne? Empedokle je tvrdio da se svet može objasniti sa četiri čestice i dve sile. Vi ste dodali još nekoliko, ali sklop ta dva modela prilično je sličan, zar ne?

LEDERMEN: Dabome, samo mi ne prihvatamo sadržinu njegovog modela: kakva voda, kakva borba...

DEMOKRIT: Pa, dobro, morate nečim da opravdate šta ste radili dve hiljade godina. Ali, da se razumemo, ni ja ne verujem u Empedoklovu teoriju.

LEDERMEN: Nego u šta?

DEMOKRIT: Aha, konačno prelazimo na samu stvar. Rad Parmenidov i Empedoklov pripremio je teren za moj nastup. Verovao sam u atom, naime u a-tom, a to je ono što se preseći ne može. Atom je cigla od koje je Vaseljenu izgrađena. Sva materija je sačinjena od atoma, različito raspoređenih. Atom je najmanja stvar u Vaseljenu.

LEDERMEN: Vi ste u Grčkoj u petom veku pre naše ere imali uređaje potrebne da se pronađu nevidljivi predmeti?

DEMOKRIT: Ne baš da se 'pronađu'.

LEDERMEN: Nego?

DEMOKRIT: Možda je bolje reći 'da se otkriju'. Ja sam otkrio atom, pomoću čistog razuma.

LEDERMEN: Znači, samo si, naprosto, razmišljao. Nisi se potrudio da izvedeš nijedan opit.

DEMOKRIT (Širi ruke i pokazuje celo prostranstvo laboratorije): Ima nekih opita koje um ume izvesti bolje nego čak i najveći, najprecizniji uređaj.

LEDERMEN: Šta te je navelo na zamisao o atomima? Bila je to, ja moram priznati, sjajna hipoteza. Ali je preskočila na nešto što je veoma udaljeno od zamisli tvojih prethodnika. Kako?

DEMOKRIT: Zbog hleba.

LEDERMEN: Zbog hleba? Neko te je plaćao da smišliš hipotezu o atomima?

DEMOKRIT: Ne, nisam u tom smislu mislio 'zbog hleba'. Bilo je to u epohi kad nismo morali da se dovijamo kako da dobijemo budžetsko finansiranje od savezne države. Mislim bukvalno na hleb, namirnicu. Jednog dana, baš kad sam bio duboko zašao u post, neko je ušao u moju radnu sobu donoseći veknu hleba pravo iz peći. Znao sam da je hleb još mnogo pre nego što sam tu veknu video. Pomislih: neka nevidljiva suština hleba doputovala je do mog grčkog nosa pre nego što je doputovao hleb sam. Sačinio sam tad zabelešku o mirisima, a onda porazmislio i o drugim 'putujućim suštinama'. Barica vode postaje sve manja i naposljetku se isuši sasvim. Kako? Zašto? Mogu li nevidljive suštine vode iskakati iz barice i širiti se sve do dalekih prostora, kao što postiže moj topli hleb? Mnogo takvih malih stvari se našlo, znaš; čovek gleda, razmišlja, pa i priča. Moj prijatelj Leukip i ja raspravu vodismo danima, mnogo dana, pa i mnogo noći, sve do onih časova kad Sunce izlazi, a naše žene dolaze sa motkama u rukama. Na kraju smo zaključili ovo: ako bi svaka tvar bila sastavljena od svojih atoma, koji su nevidljivi zato što su premaleni da ih naše ljudske oči vide, onda bi to značilo da ima premnogo raznih tipova atoma: atomi vode, atomi gvožđa, atomi cvetnih latica, atomi pčelinje prednje noge... Sistem toliko ružan, da je zaista negrčki.

Onda smo se dosetili nečeg drugog. Treba imati samo nekoliko različitih 'stilova' atoma, recimo glatke atome, rapave, okrugle, uglaste, i imati jedan mali, dobro odabran broj oblika atoma, ali, zato, imati beskonačnu zalihu svake od tih vrsta. Staviti ih sve u prazan prostor. (Čoveče, trebalo je da vidiš koliko smo piva popili da bismo shvatili prazan prostor! Kako vi definišete 'baš ništa'?) Pustiti te atome da se nasumično vrzmaju po prostoru. Ako se oni pokreću neprestano, ponekad sudaraju, ponekad zalepe jedni za druge ili grupišu, dobićemo jednu skupinu atoma koja je vino, drugu koja je čaša iz koje ćemo vino piti, i tako isto za sve ostalo: feta sir, masline i baklavu.

LEDERMEN: Zar nije Aristotel tvrdio da bi takvi atomi morali, zbog svoje prirode, padati?

DEMOKRIT: To je njegov problem. Jesi li ikad posmatrao trunčice prašine kako plešu u zraku Sunca koji se probio u zamračenu sobu? Trunčice se pokreću u svakom i u bilo kom pravcu, baš kao atomi.

LEDERMEN: A kako ste se dosetili da atomi budu nedeljivi?

DEMOKRIT: To se odigralo u umu. Zamisli nož od bronzе, dobro uglačan. Zatražimo od našeg slugе da ga glača ceo bogovetni dan, sve dok oštrica ne bude tako oštra da može preseći vlat trave uzdužno, i to polazeći sa vrha kad mi vlat držimo za donji kraj. Konačno zadovoljan, ja stupam u dejstvo. Uzimam komad sira...

LEDERMEN: Fete?

DEMOKRIT: Naravno. Presečem ga tim nožem napola. Onda opet i opet i opet, dok ne dobijem trunčicu sira tako malenu da je ne mogu ni držati. Sad zamislim da sam se smanjio, i to mnogo. U tom slučaju bi ova trunčica meni izgledala velika, mogao bih je držati, a kad bi moj nož bio još bolje naoštren, mogao bih je i seći. Sad još jednom zamišljam da sam se smanjio, da sam postao malen kao bubuljica na nosu nekog mrava. Nastavljam da prepolovljam tu trunku sira. Ako dovoljno puta ponavljam ovaj proces, znaš li koji će ishod biti?

LEDERMEN: Naravno, otpisaćemo fetu kao štetu.

DEMOKRIT (Zastenje) Ufff. Čak i Nasmеjanom Filozofu smetaju tako loše igre reči. Ako mogu nastaviti... Najposle ću naići na parčence tako tvrdo da nikada neće moći da bude presečeno, pa čak i kad bismo imali dovoljno slugu da nam sto godina oštre nož. Verujem da je samo po sebi jasno da najmanji predmet ne može biti presečen zato što je nezamislivo da bi se materija mogla usitnjavati bezgranično, kao što to tvrde neki takozvani učeni filozofi. Stigao sam, dakle, do konačnog nerasecivog predmeta, do atomosa.

LEDERMEN: Ti si došao na tu zamisao u Grčkoj u petom veku pre Hrista?

DEMOKRIT: Da, a zašto ne bih? Da li su tvoje zamisli danas toliko različite od ove?

LEDERMEN: Pa, zapravo, manje-više su iste, nego ja mrzim činjenicu da si ti to objavio prvi.

DEMOKRIT: Međutim, ono za šta vi naučnici kažete da je atom, to nije ono na šta sam ja mislio.

LEDERMEN: Ma, dobro, to je zabuna koja je nastala krivicom nekih hemičara u devetnaestom veku. Naravno da niko danas ne smatra da su oni atomi na periodnoj tablici elemenata - atom vodonika, atom kiseonika, ugljenika i tako dalje - nedeljivi objekti. Ti momci su se malo zaleteli. Mislili su da su pronašli tvoje atome. A do konačnog sira imalo je još da se maše nožem - i-ha-ha.

DEMOKRIT: Vi ste danas to konačno parče pronašli?

LEDERMEN: Pronašli smo njih, parčiće. Nije samo jedno.

DEMOKRIT: Naravno, naravno. Leukip i ja verovali smo da ima mnogo atoma.

LEDERMEN: Mislio sam da Leukip nije stvarno postojao.

DEMOKRIT: Reci ti to gospođi Leukip. Dobro, znam da neki naučnici misle da je on bio izmišljena ličnost. Ali bio je stvaran isto kao ovaj vaš 'mekintoš' ovde (lupa šakom po kompjuteru), mada ja ne znam baš šta vam je ovo i za šta. Leukip je bio iz gradića Mileta, isto kao i Tales i ostali. On i ja smo zajedno razrađivali našu atomsku teoriju, pa je danas teško prisetiti se tačno ko je šta predložio. Neki ljudi govore, samo zato što je Leukip bio nekoliko godina stariji od mene, da mi je bio učitelj.

LEDERMEN: Ali svakako si ti bio taj koji je insistirao na tome da ima mnogo atoma.

DEMOKRIT: Da, to pamtim. Postoji beskrajn broj nedeljivih jedinica. One se razlikuju, dakle atomi se razlikuju, po veličini i obliku, ali, osim toga, nemaju nikakve stvarne odlike osim svoje stamenosti, neprobojne čvrstine.

LEDERMEN: Oblik imaju, ali nikakvu drugu strukturu nemaju.

DEMOKRIT: Da, to je dobar način da se to iskaže.

LEDERMEN: A kako ste vi u tom, hajde da kažem, vašem standardnom modelu, povezali osobine atoma sa stvari od koje su sazdani?

DEMOKRIT: Nije bilo baš toliko konkretno. Računali smo da bi trebalo, na primer, da slatke stvari budu od nekih glatkih atoma, a gorke od oštarih. Ovo poslednje znamo zato što gorke stvari povređuju jezik. Tečnosti su od okruglih atoma, dok, međutim, atomi metala imaju male brave kojima se zaključavaju jedni za druge, pa su zato tako tvrdi. Vatra je sačinjena od sitnih loptastih atoma; čovekova duša, isto tako. Po teorijama Parmenida i Empedokla, ništa ne može stvarno biti ni rođeno, ni uništeno. Predmeti koje vidimo oko sebe menjaju se neprestano, ali to je zato što se atomi u njima sastaju i rastaju.

LEDERMEN: Kako se događa to rastajanje i sastajanje?

DEMOKRIT: Atomi su u stalnom kretanju. Ponekad se uklupe u neku kombinaciju, ako se zadesi da imaju oblike koji se uklopiti mogu. To, onda, stvara veće oblike, koje mi možemo videti: drveće, vodu, punjene paprike. To neprestano kretanje može takođe dovesti do razilaženja atoma, a tad vidimo 'promenu materije' oko sebe.

LEDERMEN: Međutim, ako govorimo iz ugla samih atoma, ne stvara se nikakva nova materija, niti se ikad uništava?

DEMOKRIT: Tako je. Stvaranja i uništavanja su samo prividna.

LEDERMEN: Ako je sva tvar sačinjena samo od tih atoma koji, u suštini, i nemaju nikakve odlike, zašto su predmeti toliko različiti? Zašto su, na primer, stene tvrde, a ovce meke?

DEMOKRIT: To je lako pitanje. Tvrde stvari imaju u sebi manje praznog prostora. Njihovi atomi su zbijenije upakovani. Mekane stvari sadrže u sebi više prostora.

LEDERMEN: Znači, vi Grci ste prihvatili predstavu o prostoru. Praznini.

DEMOKRIT: Dabome. Moj ortak Leukip i ja izmislili smo atom. Onda smo ga morali staviti negde, u nešto. Leukip se sav spetljao, a i napio, pokušavajući da odredi prazan prostor u koji bismo mogli staviti atome. Ako je taj prostor prazan, ako je ništa, kako definisati ništa? Parmenid je neborivo čvrsto dokazao da prazan prostor ne može postojati. Mi smo konačno zaključili da Parmenidov neborivi dokaz ne postoji. (Smeje se tiho.) Strava problem. Popismo onoliko recine zbog njega. U vreme kad se verovalo u ono vazduh-zemlja-vatra-voda, smatralo se, takođe, da peta suština jeste prazan prostor, ništavilo. Bilo nam je ono peta esencija, ili, kao što biste vi rekli, kvintesencija Vaseljene. Problemčina. A vi moderni prihvatate prazninu sasvim lako - i ne trepnete?

LEDERMEN: Pa, moramo. Ništa ne bi moglo dejstvovati bez, hm, ničega. Ali čak i danas, to 'ništa' je teška i složena predstava. Međutim, kao što i sam kažeš, naše 'ništa', to jest vakuum, stalno se puni novim teorijskim zamislama: eterom, zračenjem, morem

negativne energije, Higsom. Kao kad ukućani bacaju razne nepotrebne stvari na tavan svoje kuće. Ja naprosto ne znam šta bismo radili bez takvog praznog prostora.

DEMOKRIT: A možeš tek zamisliti kako je teško bilo 420. godine pre rođenja Isusa Hrista objasniti prazninu. Parmenid je poricao da je ona stvarna. Leukip je prvi rekao da, bez praznine, ni kretanje ne bi moglo biti, i da prema tome praznina mora postojati. Međutim, Empedokle je spremio jedan lukav odgovor na to i uspeo mnoge ljude neko vreme zavarati njime. Rekao je da je ipak moguće kretanje i bez praznog prostora, jer kako bi se inače ribe kretale kroz okean. Kad riba pliva, glavom raseca vodu, i ta voda se sklanja levo i desno, a onda trenutno popunjava prostor koji preostane posle prolaska ribe, dakle sastavlja se, odmah iza ribljeg repa, opet u jednu neprekinutu masu vode. Riba i voda su stalno u dodiru, i tu ničeg praznog nema. Dakle, onda bi trebalo da zaboravimo reči 'prazan prostor'.

LEDERMEN: I ljudi su prihvatili taj argument?

DEMOKRIT: Empedokle je bio pametan čovek. I ranije je uspevao da opovrgne argumente onih koji su tvrdili da postoji praznina. A tvrdili su pitagorejci, na primer - Empedoklovi savremenici - zato što su smatrali da je sasvim očigledno da praznina mora postojati, jer šta bi inače razdvajalo jedinice.

LEDERMEN: Behu li to oni filozofi koji su odbijali da jedu pasulj?

DEMOKRIT: Da, a to ni u jednoj epohi nije sasvim loša zamisao. Imali su oni i neka druga trivijalna verovanja - na primer, da ne treba sedeti na košari punoj žita, i da, kad sebi potkратиš nokte, ne treba da stojiš na odsečenim delovima koji su pali na pod. Međutim, ti isti pitagorejci su postigli, kao što ti dobro znaš, neke zanimljive stvari u aritmetici i geometriji. Ali u ovoj raspravi oko praznine, Empedokle ih je zaista nadmudrio zato što su oni rekli da je praznina ispunjena vazduhom. Empedokle je naprosto pokazao da je vazduh materijalan, i samim tim njihovi argumenti su pali.

LEDERMEN: A kako se onda dogodilo da ti prihvatiš prazninu? Poštovao si Empedoklova gledišta, zar ne?

DEMOKRIT: Vaistinu jesam, i ta njegova poenta dugo me je poražavala. Nikako mi praznina ne 'leži' dobro. Kako da opišem ništavilo? Ako je stvarno ništa, kako je moguće da postoji? Moje šake dodiruju ovaj tvoj radni sto. Dok se kreću ka njemu, moj dlan oseća blagi protok vazduha kojim je ispunjena praznina između mene i površine stola. Pa ipak, taj vazduh ne može biti praznina sama; Empedokle je to sasvim dovoljno dokazao. Kako mogu zamisliti moje atome, ako ne mogu osetiti tu prazninu kroz koju se oni moraju kretati? Pa ipak, ako želim nekako objasniti svet sačinjen od atoma, moram prvo odrediti nešto što izgleda nemoguće odrediti zato što nema nijednu osobinu.

LEDERMEN: I šta si učinio?

DEMOKRIT: (Smeje se) Odlučio da se ne brinem. Problemi bazni razni su prazni.

LEDERMEN: A-joooj...

DEMOKRIT: Pardon. (Pardon.) Ne, ozbiljno, taj problem sam rešio nožem.

LEDERMEN: Onim tvojim zamišljenim koji seče sir na atome?

DEMOKRIT: Ne, pravim nožem, koji seče, recimo, jabuku, pravu. Sečivo mora naći prazan prostor u koji će prodirati. Dakle, prazan prostor postoji. Ali to nije bilo presudno; već je presudno bilo to što ja sebi tada reko, a i danas tako verujem, da čovek ne sme dozvoliti da ga neka logička prepreka zaustavi zauvek. Idemo dalje; nastavljamo kao da ništavilo može biti prihvaćeno. Ovo je važan korak, ako mislimo dalje da tragamo za objašnjenjem kako sve dejstvuje. Krećemo se po samoj ivici logike; moramo, dakle, biti pripralni da ponekad i padnemo. Pretpostavljam da bi vas, moderne eksperimentatore, šokirao ovaj stav. Da biste iole odmicali napred, morate usput svaku pojedinu tačku do koje stignete da dokažete, temeljito, pa tek onda da krenete dalje.

LEDERMEN: Naprotiv. Tvoj pristup je vrlo moderan. Mi radimo isto tako. Oslanjamo se na svakojače pretpostavke; moramo, inače nikad ništa ne bismo postigli. Ponekad čak obraćamo pažnju na ono što teoretičari pričaju. Dešavalo se da pojedine zagonetke naprosto zaobiđemo i prepustimo da ih rešavaju neki budući fizičari.

DEMOKRIT: Počinješ govoriti prilično shvatljivo.

LEDERMEN: Dobro, da zaključimo, tvoja Vaseljena je sasvim jednostavna.

DEMOKRIT: Ništa ne postoji osim atoma i praznog prostora; sve ostalo su samo mnjenja.

LEDERMEN: Ako si sve shvatio, šta ćeš onda ovde, na samom repu dvadesetog veka?

DEMOKRIT: Kao što pomenuh, ja preskačem kroz vreme, sve dalje u budućnost, da vidim kada će i da li će se mnjenja i shvatanja ljudskog roda konačno podudariti sa stvarnošću. Znam da su moji zemljaci odbacili a-tom, konačnu česticu. Čujem da ljudi godine 1993. ne samo što prihvataju postojanje a-toma nego i misle da su ga pronašli.

LEDERMEN: Da i ne. Mi verujemo da konačna čestica postoji, ali ne baš sasvim u onom smislu u kome si to ti rekao.

DEMOKRIT: Kako to?

LEDERMEN: Kao prvo, ti veruješ da je a-tom osnovna cigla od koje se zida sve u Vaseljenu, ali ipak i veruješ da postoji mnogo vrsta a-toma, da su a-tomi tečnosti okrugli, a-tomi metala snabdeveni 'bravama', a-tomi šećera i drugih slatkih stvari glatki, dok oštri daju limun i druge kisele stvari i tako dalje.

DEMOKRIT: Poenta je tvoja?

LEDERMEN: To ti je suviše složeno. Naš a-tom je mnogo jednostavniji. U tvom modelu postojala bi prevelika raznovrsnost a-toma. Maltene po jedna vrsta za svaki tip stvari. A mi se nadamo da ćemo naći samo jedan jedini tip. To će biti naš a-tom.

DEMOKRIT: Divim se vašem traganju za jednostavnošću, ali kako bi mogao takav model uspevati? Kako iz tog jedinog tipa a-toma dobiti raznovrsnost, i šta je, uopšte, on?

LEDERMEN: U ovoj etapi našeg rada, izborili smo se da imamo vrlo mali broj a-toma. Delimo ih na dve vrste, 'kvarkove' i 'leptone'. Imamo šest komada u jednoj i šest komada u drugoj vrsti.

DEMOKRIT: U kom smislu tih dvanaest čestica liče na moj a-tom?

LEDERMEN: Nedeljive su, postojane, nemaju nikakvu unutrašnju strukturu, nevidljive su i... malene.

DEMOKRIT: Koliko malene?

LEDERMEN: Mi mislimo da je kvark kao tačka. To bi značilo da nema nijednu dimenziju, pa samim tim ni oblik. Po tome se, dabome, razlikuje od tvog a-toma.

DEMOKRIT: Nema razmere? A ipak postoji i 'čvrst' je? To znači zbijen, bez šupljina?

LEDERMEN: Mi verujemo da je kvark matematička tačka, a ako je tako, onda pitanje čvrstine postaje maglovito i nevažno. Prividna postojanost materije zavisi od pojedinosti u povezivanju kvarkova između sebe i sa leptonima.

DEMOKRIT: Teško je o tome misliti. Ali daj mi vremena. Razumem vaš teorijski problem ovde. Mislim da mogu prihvatiti taj kvark, tu tvar koja je, kažeš, bez razmera. Međutim, kako onda ti objašnjavaš ovu raznovrsnost sveta oko nas - drveće, guske i 'mekintoše' - zasnovanu na samo dvanaest čestica?

LEDERMEN: Kvarkovi i leptoni se kombinuju. Na taj način biva sagrađeno sve u Vaseljenu. Imamo šest različitih kvarkova i šest različitih leptonova. A sa samo dva kvarka i jednim leptonom možemo milijarde raznih predmeta izgraditi. Neko vreme smo i verovali da postoje samo dva kvarka i jedan lepton, i ništa više. Priroda, međutim, želi više.

DEMOKRIT: Slažem se da je mnogo jednostavniji model sa dvanaest nego moj model sa mnogobrojnim vrstama a-toma. Ali i dvanaest je poprilično veliki broj.

LEDERMEN: Tih šest kvarkova možda su samo šest vidova ispoljavanja iste stvari. Mi kažemo da kvark ima šest 'ukusa' kao da je hrana. Ovo nam dozvoljava da ih kombinujemo svakojako i dobijamo svakojake vrste materije. Ali ne treba nam drugi ukus kvarka za svaki novi predmet u Vaseljenu, za vatru, za kiseonik, za olovo... kao što u tvom modelu mora biti.

DEMOKRIT: Kako vam se kombinuju ti vaši kvarkovi?

LEDERMEN: Postoji između njih jaka sila, jedna mnogo neobična vrsta sile, koja se ponaša sasvim drugačije od električne sile, koja je takođe uključena u stvar.

DEMOKRIT: Znam, znam ja taj vaš posao sa elektricitetom. Popričao sam sa onim drugarom Faradejom o tome, u devetnaestom veku.

LEDERMEN: Blistav naučnik.

DEMOKRIT: Možda, ali matematika mu je bila ispod svake kritike. Nikad taj ne bi postigao uspeh u Egiptu, gde sam ja učio. Nego, skrenuo sam s teme. Jaka sila, veliš ti. Misliš na gravitacionu silu o kojoj sam ponešto čuo?

LEDERMEN: Sila teže je suviše slaba za ovo. Kvarkove na okupu drže, zapravo, čestice koje mi nazivamo gluoni.

DEMOKRIT: Aha, da-da, gluoni. Znači, sad pominješ jednu potpuno novu vrstu čestice. Pa zar ne reče maločas da se materija sastoji od kvarkova.

LEDERMEN: Svakako se od kvarkova sastoji. Samo nemoj i sile zaboraviti. A postoje i čestice koje mi nazivamo 'gejdž bozoni' ili 'baždarski bozoni'. Oni imaju jedan zadatak. Njihov posao je da prenesu informaciju o sili od čestice A na česticu B i nazad na česticu A. Kako bi, inače, B znalo da je izloženo dejstvu neke sile koja stiže sa A?

DEMOKRIT: Aha! Eureka! Veoma grčka zamisao! Talesa bi ovo oduševilo.

LEDERMEN: Gejdž bozoni, a zovemo ih mi, znaš, i prenosioci sile, odnosno zovemo ih i posrednici sile... eh, ovaj, vidi... Baždarski bozoni imaju određene odlike - masu, spin i naboj - koje, zapravo, određuju ponašanje te sile. Tako, na primer, fotoni, koji prenose elektromagnetnu silu, imaju nultu masu, što im omogućava da putuju veoma brzo. Ovo nam pokazuje da ta sila ima veoma dug dohvat. Jaka sila, koju prenose gluoni nulte mase, takođe ima dohvat sve do beskonačnosti, ali je toliko jaka da kvarkovi nikada ne mogu mnogo da se udalje jedan od drugog. Teške W i Z čestice, koje prenose nešto što mi nazivamo 'slaba sila', imaju kratak doseg delovanja. Te čestice deluju samo na vrlo malim, malecnim odstojanjima. Imamo mi i jednu česticu za gravitaciju, i nazvasmo je 'graviton', ali još nikad nijednu nismo videli niti teoriju za nju sačinili.

DEMOKRIT: I tebi je to 'jednostavnije' nego moj model?

LEDERMEN: A kako ste vi, atomisti, objašnjavali postojanje različitih sila?

DEMOKRIT: Nismo ni objašnjavali. Leukip i ja smo znali da atomi moraju biti u neprestanom pokretu i naprosto smo to tako prihvatili. Nismo naveli nijedan razlog zašto je svet u doba svog postanka stekao tu odliku da se u njemu sve stalno kreće, osim možda u miletovskom smislu - naime, smatrali smo da je uzrok svem tom kretanju ugrađen u same atome, deo njihovih nerazdvojenih svojstava. Svet jeste ono što jeste, a čovek mora prihvatiti izvesne osnovne osobine sveta. Kako biste se mogli ne složiti sa ovim gledištem vi, koji imate teorije o četiri različite sile?

LEDERMEN: Ne bismo se mogli, baš, ne složiti. Međutim, znači li to da su atomisti čvrsto verovali u sudbinu ili u dejstvo puke slučajnosti?

DEMOKRIT: Sve što u Vaseljeni postoji plod je slučaja i nužnosti.

LEDERMEN: Slučaj i nužnost - dve suprotne predstave.

DEMOKRIT: Pa ipak, priroda se povinuje i jednoj i drugoj. Istina je da iz semenke maka uvek izraste mak, ne čičak. Ali koliki broj semenki maka će nastati, to u znatnoj meri može zavisiti od slučaja u sudarima atoma.

LEDERMEN: Ti, dakle, kažeš da nam priroda, kao neki kockar, dodeli karte na osnovu slučaja; a posle, kad su karte već slučajno podeljene, sve se nastavlja dalje odvijati po - nužnosti.

DEMOKRIT: Vulgarno poređenje, ali, da, tako svet dejstvuje. Tebi je to tako strano?

LEDERMEN: Nije. Ovo što si upravo opisao slično je jednom od osnovnih verovanja moderne fizike, a ono se naziva 'kvantna teorija'.

DEMOKRIT: Da, da, ti vaši reformatori oko hiljadu devet stotina dvadesete i tridesete. Nisam se dugo zadržavao u tim decenijama. Toliko su se borili protiv tog drugara Ajnštajna - a ja nisam video mnogo smisla u tome.

LEDERMEN: Nisi uživao u onim predivnim raspravama među kvantistima, a to su bili Nils Bor (Niels Bohr), Verner Hajzenberg, Maks Born (Max Born), ta družina - a sa suprotne strane fizičari kao Ervin Šredinger (Erwin Schrödinger) i Albert Ajnštajn koji su osporavali zamisao da slučaj upravlja događajima u prirodi?

DEMOKRIT: Nemoj me pogrešno shvatiti. Sve su to bili sjajni ljudi. Ali njihovi argumenti uvek su se završavali pozivanjem na Boga ili Boginju i na navodne Božije razloge.

LEDERMEN: Ajnštajn se izjasnio ovako: da on ne može prihvatiti tvrdnju da se Bog kocka sa Vaseljenom.

DEMOKRIT: Da, kad god nemaju šta da kažu u nekoj raspravi, oni bace jaku kartu. Keca iz rukava. Boga. E, da znaš, dosta sam se toga naslušao u antičkoj Grčkoj. Čak i moj branitelj Aristotel strašno me je grdio što verujem u slučaj i što smatram da je kretanje naprosto 'dato'.

LEDERMEN: Kako ti se svidela kvantna teorija?



DEMOKRIT: Mislim da mi se veoma dopala. Valjda. Posle sam popričao sa Ričardom Fajnmenom, koji mi je priznao da je ni on nije nikad shvatio. Od prvog trenutka su mi u njoj zasmetale one... Čekaj malo! Promenio si temu. Da se mi vratimo na 'jednostavne' čestice o kojima si se onoliko bio raspričao. Objašnjavao si da se kvarkovi zalepe jedan za drugi i onda daju... šta?

LEDERMEN: Kvarkovi su cigle od kojih je sazdana jedna velika klasa predmeta koje mi nazivamo 'hadroni'. To je reč uzeta iz grčkog jezika i znač 'teški'.

DEMOKRIT: Ma hajde!

LEDERMEN: Pa, bar toliko smo mogli učiniti. Najslavniji predmet sagrađen od kvarkova jeste proton. Treba imati tri kvarka ako se želi napraviti jedan proton. Uistinu, treba imati tri kvarka i za pravljenje mnogih drugih čestica koje su protonu rodbina, ali pošto postoji šest vrsta kvarkova, ima veoma mnogo mogućih kombinacija u kojima će se pojaviti tri. Ima dvesta šesnaest mogućih kombinacija, čini se meni. Većinu tih hadrona mi smo doista i otkrili i dali smo im nazive koji počinju grčkim slovima, kao što su lambda ( $\Lambda$ ), sigma ( $\Sigma$ ) i tako dalje.

DEMOKRIT: Proton je, znači, jedan od tih 216 hadrona?

LEDERMEN: Jeste. I ujedno je najpopularnija čestica u našoj sadašnjoj Vaseljeni. Mož' zalepiš tri kvarka - i eto ti jedan proton; ili jedan neutron. Samo dodaš na tu stranu i jedan elektron - a elektron pripada onoj drugoj klasi čestica, zvanj 'leptoni' - i gle, već si dobio jedan atom, i to vodonika. Uzmi osam protona i osam neutrona, a i elektrona isto osam, i sagrađio si atom kiseonika. Neutroni i protoni se zgure u jednu grupicu za koju mi kažemo da je jezgro. Dovedi dva atoma vodonika i jedan atom kiseonika da se udruže, i dobio si vodu. Uzmi malo više vode, ugljenika, azota i još koječega i dobićeš, ranije ili kasnije, komarce, konje i Grke.

DEMOKRIT: A sve počinje od kvarkova.

LEDERMEN: Aha.

DEMOKRIT: I ništa drugo ti nije potrebno.

LEDERMEN: Pa, sad. Ne baš. Treba ti nešto da drži deliće atoma da se ne razidu kud koji, a zatim i da drži atome da ne pobegnu iz svojih skupina, molekula.

DEMOKRIT: Opet gluoni.

LEDERMEN: Ne-ne-ne, gluoni samo lepe kvark za kvark.

DEMOKRIT: Oh, ne! (Oh, ne!)

LEDERMEN: Tu ulaze Faradej i drugi električari, kao Čak Kulon (Chuck Coulomb). Proučavali su električne sile koje zadržavaju elektrone u blizini jezgra. Atomi privlače jedni druge složenim plesom elektrona i jezgara.

DEMOKRIT: Ti elektroni takođe nose elektricitet, je l' tako?

LEDERMEN: Elektricitet je jedna od glavnih vrsta robe u njihovim vrećama.

DEMOKRIT: Znači, i elektroni su gejdž bozoni, kao što su to i fotoni, W čestice i Z čestice.

LEDERMEN: Nisu, nisu. Elektroni su čestice materije. Pripadaju porodici leptona. Pazi, materija se sastoji od kvarkova i od leptona. Fotoni, W-ovi, Z-ovi i gravitoni su čestice sila. Jedan od najizazovnijih razvoja događaja u nauci danas sastoji se u tome što jasno razgraničenje između materije i energije počinje da se zamućuje. Sve su to čestice. To je jedna nova jednostavnost.

DEMOKRIT: Meni se više dopada moj sistem. Moja zapetljanost izgleda jednostavnija nego vaša jednostavnost. Nego, kaži mi, preostalih pet leptona su...?

LEDERMEN: To su jedna, druga i treća varijanta neutrina, zatim jedan lepton zvani muon i jedan zvani tau. Bolje da se ne upuštamo sada u to. Elektron ti je danas daleko najvažniji od svih leptona, u svetskoj privredi.

DEMOKRIT: Znači, treba da se brinem samo oko elektrona i oko tih šest kvarkova. Koji, je li, objašnjavaju i ptice, mora, oblake...

LEDERMEN: Uistinu je gotovo sve u današnjoj Vaseljeni sačinjeno od samo dva kvarka (zovu se gore i dole) i od elektrona. Ima još taj neutrino, koji fijuče kroz celu Vaseljenu kako god mu se prohte, a izleće iz nekih naših radioaktivnih jezgara; a gotovo sve druge čestice koje pomenuh, mnoštvo tih kvarkova i leptona, moraju se u laboratoriji proizvoditi.

DEMOKRIT: Pa šta će vam?

LEDERMEN: Dobro pitanje. Verujemo u ovo: postoji dvanaest čestica materije. Šest kvarkova i šest leptona. Samo nekoliko njih postoji u izobilju danas. Ali svih dvanaest behu prisutne i zastupljene jednako i ravnopravno u trenutku Velikog praska, rođenja Vaseljene.

DEMOKRIT: A ko veruje u sve to, u šest kvarkova i šest leptona? Vas nekolicina? Ili samo dva-tri otpadnika? Ili svi vi?

LEDERMEN: Svi mi verujemo u to. Naime, svi pametni fizičari čestica. Ali tu našu predstavu prihvatili su manje-više i svi drugi naučnici. Imaju poverenja u nas u ovom pogledu.

DEMOKRIT: Pa u čemu je onda naše neslaganje? Ja rekoh da postoji jedan a-tom koji se ne može preseći. Doduše, u mnogo raznih oblika, veoma mnogo raznih oblika. I da se povezuju oni koji imaju nadopunjujuće oblike. Vi velite da a-toma ima šest ili dvanaest. I da nemaju oblike, ali se kombinuju zbog svojih komplementarnih naelektrisanja. Ni vaši kvarkovi, ni leptoni, ne mogu se presecati na manje delove. Nego, jeste li baš sigurni da ih ima tačno dvanaest?

LEDERMEN: Tja... Zavisi od toga kako brojiš. Naime, postoji i šest antikvarkova i šest antileptona i...

DEMOKRIT: Zevsovih mu gaca! (Zevsovih mu gaća!)

LEDERMEN: Nije to tako strašno kao što zvuči. Mi se mnogo više slažemo nego što se ne slažemo. Ali i posle svega ovoga što si mi rekao, ja ostajem zapanjen činjenicom da je jedan takav primitivni, zaostali nehrišćanin, urođenik-neznalica, mogao stići do zamisli o a-tomu, nama poznatom pod nazivom kvark. Koje vrste opita ste vi obavljali da biste potvrdili te vaše zamisli? Da li ste trošili milijarde drahmi na proveru svake pretpostavke? Kako je moguće da ste radili tako... džabaka?

DEMOKRIT: Mi smo radili na naš način, staromodno. Pošto nismo imali Ministarstvo za energiju niti Nacionalnu zadužbinu za nauku, morali smo koristiti čisti um.

LEDERMEN: Drugim rečima, izmišljali ste šta god i kako god ste hteli.

DEMOKRIT: Ne, čak i mi drevni Grci imali smo na raspolaganju izvesne nagoveštaje na koje smo se oslanjali kad smo vajali svoje zamisli. Kao što pomenuh, opazili smo da iz semena maka uvek izraste mak. Proleće uvek posle zime dođe. Sunce izlazi i zalazi. Empedokle je proučavao vodene časovnike i točkove na kojima su bile okačene kofe. Čovek može doći do određenih zaključaka ako dobro posmatra svet oko sebe.

LEDERMEN: 'Mного možeš videti ako gledaš', rekao je jedan moj savremenik.

DEMOKRIT: Tačno tako! A ko je taj mudrac, perspektive tako helenske?

LEDERMEN: Meda Jogi.

DEMOKRIT: Jedan od vaših najvećih filozofa, ne sumnjam.

LEDERMEN: Pa moglo bi se reći nešto tako. Nego, zašto vi nemate poverenja u opit?

DEMOKRIT: Um je bolji od čula. Um sadrži urođeno istinito znanje. Ono drugo znanje je mešanac, rođen iz nečistih veza sa čulima, sa vidom, sluhom, mirisom, ukusom, dodirrom. Porazmisli o tome. Piće koje je tebi slatko, meni se može učiniti kiselo. Žena koja je tebi lepa, po mom utisku može biti 'nikakva'. Ružno dete je svojoj majci lepo. Kako možemo imati poverenja u takve informacije?

LEDERMEN: Znači, ti ne veruješ da možemo meriti svet predmeta? Smatraš da čula naprosto proizvode informacije, neosnovane?

DEMOKRIT: Ne, naša čula ne stvaraju znanje iz praznine. Predmeti zbacuju sa sebe mnoštva svojih atoma. Zato ih i uspevamo videti ili namirisati - kao onu veknu hleba koju sam ti pomenuo. Ti atomi/slike ulaze kroz naše organe čula, koji jesu prolazi ka duši. Ali dok putuju kroz vazduh, slike se izobličuju, zbog čega se dešava, čak, da neke vrlo udaljene predmete uopšte ne vidimo. Čula daju podatke o stvarnosti, ali nepouzdana. Sve je subjektivno.

LEDERMEN: Po tebi, objektivna stvarnost ne postoji?

DEMOKRIT: Ma, postoji objektivna stvarnost, i te kako, samo je mi nismo sposobni sagledati tačno. Kad se razboliš, hrana poprima, za tebe, drugi ukus. Ista voda sipana preko jedne tvoje šake može dati utisak toplote, a sipana preko druge - utisak hladnoće. Sve to zavisi od privremenog rasporeda atoma u našem telu i od njihovog reagovanja na takođe privremene rasporede atoma u predmetu koji opažamo. Istina mora biti kudikamo dublja nego što čula javljaju.

LEDERMEN: Znači, predmet koji merimo i instrument kojim merimo - u ovom slučaju, naše telo - dejstvuju uzajamno, menjaju jedno drugo, i zato merenje postaje nepouzđano.

DEMOKRIT: To je nezgrapan naćin da se o tome razmišlja, ali, da, tako je. A na šta ciljaš?

LEDERMEN: Pa, umesto da kaŹemo da je znanje 'mešanac', moŹemo reći da je merenje nesigurno, da su i utisci ćula nepouzđani.

DEMOKRIT: Mogu to prihvatiti. Ili, da navedem Heraklita: 'Ćula su loši svedoci.'

LEDERMEN: A zar je um bolji svedok, bez obzira na to što ga ti nazivaš izvor urođenog istinitog znanja? Um je, po tebi, odlika nećega što ti nazivaš duša, a duša je opet, kaŹeš, od atoma saćinjena. Zar nisu i ti atomi u stalnom kretanju, zar ne stupaju u međudejstva sa izoblićenim slikama koje im donose atomi spolja? MoŹemo li sasvim razdvojiti ćula od misli?

DEMOKRIT: Dobra ti je ta poenta. Kao što sam onomad napisao: 'Jadni um, on potiće od nas.' Potiće od ćula. Pa ipak, ćisti um će nas manje odvoditi na pogrešan put nego što će to ćula ućiniti. Ostajem skeptik kad su ti vaši opiti u pitanju. Meni se ćini da su ove grdne zgradurine, Źicetine, mašićine maltene smešne.

LEDERMEN: MoŹda i jesu smešne. Ali one stoje kao spomenik teškoći verovanja ćulima. Vidimo, ćujemo, dodirujemo - a opet, ne verujemo. To što je iskazano tvojim zapaŹanjima o subjektivnosti merenja mi smo ućili polagano, u šesnaestom veku, u sedamnaestom i osamnaestom. Malo-pomalo ućili smo da opaŹanja i merenja svedemo na objektivne postupke koji se završavaju upisivanjem brojeva u sveske. Naućili smo kako da ispitujemo hipoteze, zamisli, prirodne procese, kako da ih pogledamo iz mnogo uglova, u mnogim laboratorijama, kroz oći razlićitih naućnika, tako da na kraju izroni najbolji raspoloŹivi pribliŹni rezultat - jednoglasno. Napravili smo divne uređaje koji nam pomaŹu u osmatranju, ali smo i naućili da ne poklonimo poverenje nijednom rezultatu dok ne bude potvrđen na nekom drugom mestu - štaviše, na mnogo drugih mesta, pomoću mnogo raznih tehnika osmatranja. Najzad, mi sve rezultate podvrgavamo i probi vremena. Ako sto godina kasnije dođe neki mladi napaljenko, Źeljan da se proslavi, i dokaŹe da su nam zakljućci bili pogrešni, sruši ih - mi kaŹemo: pa, neka. Nek ruši. I damo, njemu, medalje i nagrade zato što je srušio naša netaćna ranija uverenja. Naućili smo da suzbijamo svoju zavist i svoj strah i da volimo tog prokletog majmuna koji nas tako raskrinka.

DEMOKRIT: A gde je tu autoritet? Gotovo sve što svet zna o mom radu došlo je iz Aristotelovih spisa. A to je bio autoritet, e-hej! Dešavalo se da nekog oteraju u progonstvo, ili utamniće, ili sahrane zato što se usprotivio ućenjima starog Aristotela. Zamisao o atomu jedva je Źiva dospela, nekako, do renesanse.

LEDERMEN: Sad je stanje mnogo bolje. Nije savršeno, ali jeste bolje. Maltene, moŹemo danas da ustanovimo koliko koji naućnik vredi po tome sa koliko skepse gleda na 'establišment'.

DEMOKRIT: Zevsa mi, to su dobre vesti. Koliku platu dajete zreлом naućniku koji se ne bavi prozorima niti opitima?

LEDERMEN: Ti se oćigledno javljaš na konkurs za radno mesto teoretićara. Ja takve nešto slabo zapošljam, ali kad nekog zaposlim, radno vreme mu je povoljno. Teoretićari nikad ne zakaŹu sastanak za sredu, jer bi im to upropastilo dva vikenda. Osim toga, nisi ti toliki protivnik opita koliko se praviš. Sviđalo se to tebi ili ne, ostaje ćinjenica da jesi izvodio opite.

DEMOKRIT: Jesam li?

LEDERMEN: Dabome. Ono sa noŹem. To je bio samo misaoni opit, ali ipak opit. Ti si, sekući u svome umu parće sira na sve sitnije deliće, stigao do atomske teorije.

DEMOKRIT: Da, ali to je bilo sve u umu. Ćisti um.

LEDERMEN: Šta ako ti ja pokaŹem noŹ koji moŹe materiju da seće i seće beskrajno i konaćno da odseće jedan atom, samo jedan?

DEMOKRIT: Pronašao si noŹ kojim se moŹe preseći atom? U ovom gradu?

LEDERMEN: (Klima glavom) Upravo sad sedimo na glavnom 'nervu' tog noŹa.

DEMOKRIT: Ova laboratorija je tvoj noŹ?

LEDERMEN: Da. Akcelerator čestica. Ispod naših nogu čestice se zaleću spiralno kroz kružnu cev obima šest i po kilometara, a onda se 'zakucavaju' jedna u drugu.

DEMOKRIT: I tako vi odsecate deliće materije i stižete do jednog a-toma?

LEDERMEN: Do kvarkova i leptona, da.

DEMOKRIT: Ja sam zadivljen. Sigurni ste, dakle, da ne postoji ništa sitnije?

LEDERMEN: Hmmm, pa da, krajnje smo, rekao bih, možda sigurni.

DEMOKRIT: Ali niste baš dibiđus, pozitivno sigurni. Inače biste odavno obustavili seckanje.

LEDERMEN: 'Seckanje' nam omogućava da saznajemo štošta o osobinama kvarkova i leptona, bez obzira na to što u njima ne postoje mali ljudi koji bi trčali gore-dole kroz unutrašnjost jednog kvarka ili jednog leptona.

DEMOKRIT: Ah, da, to zaboravih da upitam. Kvarkovi su svi, je li tako, tačkasti; nemaju nijednu dimenziju, nemaju, dakle, u pravom smislu reči, baš nikakvu veličinu. Pa dobro, onda, po čemu ih, osim po njihovom naelektrisanju, razlikujete?

LEDERMEN: Imaju različite mase.

DEMOKRIT: Neki su teški, neki su laki?

LEDERMEN: (Kaže na ruskom jeziku, ne na engleskom) Daaa.

DEMOKRIT: To me u zabunu dovodi.

LEDERMEN: To što imaju različite mase?

DEMOKRIT: To što uopšte imaju ikakvu težinu. Moji atomi su bez težine. Zar tebe ne uznemirava to što vaši kvarkovi imaju masu? Možete li vi to objasniti?

LEDERMEN: Da, to uznemirava sve nas, ali, ne, ne umemo to objasniti. Ali šta da se radi kad naši opiti pokazuju da jeste upravo tako. Još je mnogo gore sa gejdž bozonima. Razumne teorije kažu da masa takvih čestica mora biti nula, ništa, niente! Ali, avaj...

DEMOKRIT: Svaki neuki trakijski petljaroš stigao bi do istog problematičnog mesta u razmišljanju. Podigneš kamen. Težak ti je u ruci. Podigneš pramen vune. Lak ti je u ruci. Proističe iz samog življenja u ovom svetu da atomi - ili kvarkovi, ako hoćeš - moraju imati različite težine. Ali, opet, čula su loši svedoci. Upotrebljavajući čisti um, ja ne vidim zašto bi materija uopšte imala ikakvu masu. Možete li vi to objasniti? Šta to daje česticama masu?

LEDERMEN: To je jedna tajna. Mi se rvemo sa tim pitanjem. Ako se uspeš zadržati u ovoj kontrolnoj sali sve do našeg prelaska u osmo poglavlje, razjasniću problem. Naslućujemo da masa dolazi, možda, od jednog polja.

DEMOKRIT: Sad pa polja? Masa 'dolazi od polja'?!

LEDERMEN: Naši teorijski fizičari kažu da je to Higsovo polje. Ono je proželo sav kosmos, ceo apeiron, zagušilo je svu vašu prazninu, pa vuče materiju, tegli je... i ona postaje teška.

DEMOKRIT: Higs? Ko ti je sad pa taj Higs? Zašto ne nazovete neku česticu po meni - recimo, demokriton! Čim čujete kako ta reč zvuči, odmah znate da je voljna da dopusti ravnopravne reakcije svim drugim česticama.

LEDERMEN: E, pa, izvini. Teoretičari uvek sve nazivaju po prezimenima drugih teoretičara.

DEMOKRIT: Kakvo je to polje?

LEDERMEN: To polje predstavlja jedna čestica koju nazivamo 'Higsov bozon'.

DEMOKRIT: Jedna čestica! Sad mi se već dopada. Vi nađoste, dakle, Higsov bozon u vašim akceleratorima?

LEDERMEN: Ovaj, pa, ne.

DEMOKRIT: Nego gde ste ga našli?

LEDERMEN: Nigde još. On postoji samo u kolektivnom umu nas fizičara. Kao u nekom nečistom umu.

DEMOKRIT: Zbog čega verujete u njega?

LEDERMEN: Zato što on mora postojati. Kvarkovi, leptoni i sve četiri znane sile - sve to ostaje delimično neshvatljivo ako ne postoji i jedno masivno polje koje izobličuje sva naša opažanja, sve rezultate naših opita. Dakle, Higs je tamo, napolju.

DEMOKRIT: Ovo reče k'o stari Helen. Sviđa mi se to Higsovo polje. Nego, čuj, moram krenuti odavde. Čuo sam da u dvadeset prvom veku postoje izuzetno povoljne rasprodaje sandala. Pre nego što produžim u budućnost, reci mi ako znaš u koje vreme i

mesto bi bilo najpametnije da preskočim da bih video neki veći napredak u potrazi za mojim atomom?

LEDERMEN: Imaš za to dva vremena i dva mesta. Prvo, svrati godine 1995. na isto ovo mesto, u Bataviju. Posle toga, probaj u Vaksahačiju, u saveznoj državi Teksas, negde oko godine, recimo, 2005.

DEMOKRIT: (Frkne) Ma, beži. Svi vi fizičari ste isti. Mislite da će sve biti razjašnjeno za godinu-dve. Posetio sam ja lorda Kelvina (Kelvin) godine 1900. i Mareja Gel-Mana godine 1972, i obojica su me uveravala da je fizika završila svoj posao i da je više neće biti jer je, navodno, sve u celosti shvaćeno. Govorili su mi da dođem kroz šest meseci, jer će u tom roku biti razjašnjeni i poslednji preostali problemčići.

LEDERMEN: Ja to ne kažem.

DEMOKRIT: Nadam se da ne kažeš. Ovom stazom ja hodim evo već dvadeset četiri stoleća. Nije to ni lako.

LEDERMEN: Znam. Ja ti kažem da dođeš 1995. i 2005. godine zato što će do tad biti zanimljivih događaja.

DEMOKRIT: Na primer?

LEDERMEN: Pamtiš da ima šest kvarkova? Našli smo samo pet njih. Peti je pronađen baš ovde, u Fermilabu, godine 1977. Nama je potrebno da pronađemo i šesti, poslednji kvark, kome dadasmo naziv vrh; taj je najteži.

DEMOKRIT: Poćete ga tražiti godine 1995?

LEDERMEN: Tražimo ga ovog trenutka. Čestice se kovitlaju u cevi ispod naših nogu, mi ih razdvajamo i pregledamo pomno, pomno, u potrazi za šestim kvarkom. Nismo ga još našli. Ali do 1995. naći ćemo ga... ili ćemo dokazati da ne postoji.

DEMOKRIT: A i to možete?

LEDERMEN: Da, naša mašina je toliko moćna, toliko precizna. Ako mi njega nađemo, sve je u redu. Biće još temeljitije učvršćeno naše uverenje da su tih šest kvarkova i šest leptona tvoji a-tomi.

DEMOKRIT: A ako ne...

LEDERMEN: Ako ne, onda će se sve smrviti i raspasti. Naše teorije, naš standardni model biće maltene bezvredni. Teoretičari će se bacati kroz prozore svojih kancelarija na drugom spratu. Testerisaće sebi vene na zglobovima, i to noževima za maslac.

DEMOKRIT: (Smeje se) To bi baš bilo zabavno! U pravu si. Potrebno je da dođem u Bataviju godine 1995.

LEDERMEN: Samo to bi mogao biti i kraj tvoje teorije, mogao bih dodati.

DEMOKRIT: Mladiću, moje zamisli su preživjele dugo. Ako a-tom nije ni kvark ni lepton, pojaviće se ranije ili kasnije kao nešto drugo. Uvek se tako pojavljivao. Nego, reci mi, zašto 2005? I gde ti je taj Vaksahači?

LEDERMEN: U Teksasu, u nekoj pustinji, gde gradimo najveći akcelerator čestica u istoriji. Biće to, zapravo, najveća naučna alatka ma koje vrste još od epohe velikih piramida. (Ne znam ko je bio neimar piramida, ali sav fizički rad obavili su moji preci!) Biće to superprovodni superkolajder, naša nova mašina. Trebalo bi da bude u punom zamahu već oko 2005, plus-minus nekoliko godina, u zavisnosti od toga kad će Kongres odobriti dovoljnu para.

DEMOKRIT: Šta će to pronaći vaš novi ubrzivač, a ovaj ovde ne može?

LEDERMEN: Pa, Higsov bozon. Krenuće u potragu za Higsovim poljem. Pokušaće da ulovi Higsovu česticu. Nadamo se da ćemo saznati, prvi put, zašto su stvari teške i zašto svet izgleda tako složeno, iako ti i ja znamo da je, negde u dubini, veoma jednostavan.

DEMOKRIT: Kao grčki hram.

LEDERMEN: Ili kao sinagoga u Bronksu.

DEMOKRIT: Moram videti tu novu mašinu. I tu česticu. Higsov bozon... nije osobito poetično ime.

LEDERMEN: Ja ga nazivam 'Božija čestica'

DEMOKRIT: To je bolje. Mada bih ja to radije pisao malim početnim slovom. Još ovo mi reci: koliko ste fizičkih dokaza prikupili dosad za postojanje te Higsove čestice?

LEDERMEN: Ništa. Nula, nema. Zapravo, kad se ne bismo oslanjali na čisti um, većina razumnih fizičara zaključila bi, na osnovu dosadašnjih pokušaja dokazivanja, da Higsov bozon ne postoji.

DEMOKRIT: A ipak istrajavate.

LEDERMEN: Negativni dokazi tek su preliminarni deo posla. Osim toga, imamo mi u ovoj zemlji jednu izreku...

DEMOKRIT: Da?

LEDERMEN: 'Nije gotovo dok ne bude gotovo.'

DEMOKRIT: Meda Jogi?

LEDERMEN: Aha.

DEMOKRIT: Genije.

Na severnim obalama Egejskoga mora, u grčkoj pokrajini Trakiji, gradić Abdera leži na ušću reke Nestos. Kao i u mnogim drugim gradovima u ovom delu sveta, istorija je upisana u same stene na brdima iznad ovdašnjih supermarketa, bioskopa i parkinga. Pre nekih dve hiljade četiri stotine godina ovde je bio prometni kontinentalni put koji je vodio iz otadžbine, antičke zemlje Helena, do važnih grčkih poseda u Joniji, koja je sada zapadni deo Turske. Abderu su, zapravo, nastanile jonijske izbeglice u povlačenju od nasrtaja vojske cara Kira Velikog.

Zamislite život u Abderi u petom veku pre Hrista. U ovoj zemlji koza i kozara, prirodni događaji nisu uvek objašnjavani prirodnim uzrocima. Kad udari munja, zna se - bacio ju je sa vrha planine Olimp lično Zevs, u svome gnevu. Da li ćeš uživati u mirnom moru ili će naići plimni talas da te uništi, to zavisi od ćudi boga mora, Posejdona. Gladne godine i godine gozbi nailaze zavisno od volje boginje ratarstva, a njeno ime je Ceres; od atmosferskih prilika ne zavise. Zamislite, onda, koliko je usredsređenosti i celovitosti morao imati um koji se uspevao odupreti narodnim verovanjima toga doba i smisliti predstave koje su u skladu sa kvarkovima i kvantnom teorijom. U drevnoj Grčkoj, a i sada, napredak se događao slučajno, kad iskrasne neki genije - zavisio je od pojedinca, od njegove vizije i stvaralačke moći. Ali Demokrit je daleko odmakao čak i genijima svog vremena.

Verovatno je najbolje poznat po dva svoja navoda, koja su, možda, dve intuicijom najbogatije rečenice koje je ikad izgovorio ijedan čovek antičkih vremena: "Ništa ne postoji osim atoma i praznog prostora; sve ostalo su samo mnjenja" i "Sve što u Vaseljeni postoji plod je slučaja i nužnosti." Naravno, moramo priznati zasluge Demokritovim prethodnicima - jer on je nasledio kolosalna dostignuća ranijih mislilaca, onih u gradu Miletu. Ti ljudi su odredili zadatak: postoji samo jedan red ispod celog ovog haosa opažanja koja stižu do nas, a mi možemo i moramo otkriti taj red.

Demokritu je verovatno pomoglo to što je putovao. "Prošao sam kroz više mesta nego ijedan čovek u mom vremenu, obavio sam najobimnija istraživanja, video više zemalja i klima, čuo više slavnih ljudi." Učio je astronomiju u Egiptu i matematiku u Vaviloniji. Posećivao je Persiju. Ali podsticaj za svoje atomističke teorije dobio je iz Grčke, kao što su dobili i njegovi prethodnici Tales, Empedokle, i možda, naravno, Leukip.

A koliko je samo objavljivao! U katalogu Aleksandrijske biblioteke bilo je nabrojano više od šezdeset njegovih radova: o fizici, kosmologiji, astronomiji, matematici, magnetizmu, botanici, teoriji poezije i muzike, lingvistici, ratarstvu, slikarstvu i drugim temama. Tako reći nijedno od njegovih dela nije preživelo neoštećeno; Demokritov rad poznajemo uglavnom na osnovu odlomaka i na osnovu svedočenja kasnijih grčkih istoričara. Kao i Njutn, pisao je i on o magiji i alhemičarskim otkrićima. Kakav je to čovek bio?

Istoričari ga pominju kao Nasmeganog Filozofa, kome su gluposti čovečanstva bile izvor smeha i šale. Verovatno je bio bogat; većina grčkih filozofa bili su bogataši. Znamo da je bio protiv seksa. Seks donosi toliko zadovoljstva, pisao je Demokrit, da sasvim savlada svest čovekovu. Možda je u tome bila tajna Demokritove uspešnosti i možda bi mi trebalo da zabranimo seks našim teoretičarima da bi oni mogli razmišljati uspešnije. (Eksperimentator nema šta da misli - dakle, eksperimentatore bismo izuzeli od tog propisa.) Demokrit je prijateljstvo visoko cenio, a o ženama imao loše mišljenje. Nije želeo da ima decu, jer bi mu podizanje i podučavanje dece oduzelo deo vremena potrebnog za njegovu filozofiju. Tvrdio je da mrzi sve što je silovito i strastveno.

Teško je, međutim, poverovati u tu njegovu tvrdnju. Nije njemu nasilje bilo nepoznato; njegovi atomi bili su u neprestanom silovitom kretanju. Trebalo je, osim toga, poprilično strasti da bi se poverovalo u ono u šta je Demokrit verovao. Ostao je do kraja uporan u svojim uverenjima, iako za njih nije bio nagrađen slavom. Aristotel ga je cenio, ali je Platon, kao što pomenusmo, tražio da sve Demokritove knjige budu spaljene. U svom rodnom gradu Demokrit je ostao u senci drugog filozofa, Protagore, najistaknutijeg sofistice. (Sofisti behu jedna filozofska škola. Radili su honorarno kao nastavnici retorike. Njihovi đaci bili su bogataški sinovi.) Kad je Protagora otišao iz Abdere u Atinu, dočekan je oduševljeno. Demokrit je, međutim, zapisao: "Ja u Atinu odoh, i niko me ne znade."

Demokrit je verovao u još mnogo stvari koje ne pomenusmo u našem zamišljenom razgovoru, sastavljenom na osnovu pojedinih navoda iz Demokritovih spisa i začinjjen sa malo mašte. Dao sam sebi malo slobode, ali nisam menjao Demokritova osnovna uverenja, iako sam dopustio sebi luksuz da ubedim Nasmejanog Filozofa u to da su opiti ipak dobra stvar. Siguran sam da on ne bi odoleo iskušenju da lično pogleda kako to, u utrobi Fermilaba, njegov mitski 'nož' postaje živa stvarnost.

Demokritov rad na praznini bio je revolucionaran. Demokrit je, na primer, znao da u kosmosu ne postoje pravci 'gore', 'dole' ili neki 'srednji'. Iako je tu zamisao prvi izložio Anaksimander, ipak je bila izvanredno dostignuće za um jednog ljudskog bića rođenog na ovoj planeti gde je cela populacija geocentrična. Pomisao da u Vaseljeni ne postoji ništa uspravno niti naglavačke teška je, i danas, za većinu ljudi, iako su gledali TV prizore sa kosmičkim kapsulama. Jedno od Demokritovih još udaljenijih, još čudnijih (za ono vreme) uverenja bilo je da postoje nebrojeni svetovi i da su različitih veličina; da se nalaze na nejednakim rastojanjima i da ih ima više u nekim pravcima, a manje u nekim drugim; da neki cvetaju, a drugi se nalaze u opadanju. Na nekim mestima, verovao je Demokrit, svetovi se rađaju, na drugim mestima umiru, rastrgnuti u međusobnim sudarima. Na nekim svetovima nema biljaka niti životinja, a ni vode. Čudne je to priče pričao Demokrit, a mi ih možemo povezati neposredno sa najnovijim kosmološkim zamislima, pa i sa teorijom zvanom 'inflaciona Vaseljena' koja kaže da je u prvobitnoj 'inflaciji', dakle širenju i naduvavanju, došlo do rađanja i mnogih 'mehurastih Vaseljena'. To sve, od jednog filozofa sklonog smejanju, koji je pregazio mnoge puteve i mnoge staze po antičkoj helenskoj imperiji pre više od dva milenijuma.

Što se tiče Demokritovog proslavljenog navoda da je sve što postoji "plod slučaja i nužnosti", nalazimo danas isti taj paradoks u dramatično zaoštrenom obliku u našoj kvantnoj mehanici, jednoj od velikih teorija dvadesetog veka. Pojedinačni sudari atoma, rekao je Demokrit, imaju, kad se već dogode, neminovne posledice. Postoje strogi zakoni u tome. Pa ipak, koji će se sudari češće događati, kojih će se atoma naći više na nekom određenom mestu - o tome odlučuje slučaj. Kad se ovo učenje izvede do svojih logičkih posledica, ono znači da nastanak (ili nenastanak) jednog gotovo idealnog sistema 'Sunce plus Zemlja' - dakle, jedne zvezde i jedne planete uz nju - zavisi od srećnog ili nesrećnog sticaja okolnosti. Kad, pomoću moderne kvantne teorije, razrešavamo tu zavrzlamu, izvesnost (potpuna pouzdanost) i pravilnost izranjaju kao događaji koji su jedan prosečni ishod većeg broja pojedinačnih događaja od kojih svaki ima različitu verovatnoću da se desi. Mnoštvo nasumičnih događaja daje, zajedno, jedan prosek, a kakav će taj prosek biti, to mi možemo predvideti utoliko sigurnije ukoliko je veće mnoštvo tih nasumičnih. Demokritovo uverenje u skladu je sa našim današnjim verovanjem. Nemoguće je pouzdano predvideti kakva će sudbina da zadesi ma koji pojedinačni atom, ali je moguće tačno predvideti ukupni ishod kad se nebrojeno mnoštvo atoma sudara nasumično u prostoru.

Čak i njegovo nepoverenje u čula daje izuzetno dragocene uvide. Demokrit ističe da su organi čula sazdani od atoma, koji se sudaraju sa atomima posmatranog predmeta, zbog čega naši utisci nisu sasvim tačni. Kao što ćemo videti u petom poglavlju, Demokritov način izražavanja, kad o ovoj problematici govori, u saglasnosti je sa drugim ogromnim otkrićem našega stoleća, a to je Hajzenbergovo načelo neodređenosti. Čin merenja utiče na česticu koju merimo. Da, ima tu neke poezije.

Kakvo je Demokritovo mesto u istoriji filozofije? Po konvencionalnim merilima, nije osobito visoko - svakako ne u poređenju sa njegovim slavnim savremenikima Sokratom,

Platonom i Aristotelom. Neki istoričari smatraju da je Demokritovo stvaralaštvo jedna bizarna fusnota koju treba pridodati uz istoriju grčke filozofije. Ipak, čulo se bar jedno moćno suprotno mišljenje. Britanski filozof Bertrand Rasel (Bertrand Russell) rekao je da je filozofija posle Demokrita počela da pada i da se tek u renesansi oporavila. Demokrit i oni pre njega "angažovali su se u naporu, bez ikakvih ličnih interesa i koristi, da shvate svet", pisao je Rasel i dodao da je njihov stav bio "imaginativan i žustar, pun pustolovnog oduševljenja. Za sve su bili zainteresovani - za meteorite i pomračenja, za ribe i vazdušne kovitlace, za religiju i moral; kombinovali su prodoran intelekt i detinjasti 'apetit' da se zna sve". Nisu bili sujeverni, nego su se bavili pravom naukom, a predrasude njihovog doba nisu mnogo uticale na njih.

Naravno da je Rasel, baš kao i Demokrit, bio ozbiljan matematičar, a ti momci se međusobno podupiru, znate. Normalno da će jedan matematičar biti sklon da 'navija' za rigorozne mislioce kao što behu Demokrit, Leukip i Empedokle. Rasel je istakao sledeće: iako su Aristotel i drugi zamerali atomistima što ne navode šta je na početku Vaseljene pokrenulo sve atome, ipak je učenje Leukipa, Demokrita i drugih atomista bilo naučnije, upravo zato što se nisu potrudili da Vaseljeni pripisu neku svrhu. Jasno je bilo atomistima da lanac uzroka i posledica mora imati i nekakav svoj početak i da se nikakav uzrok ne može naći tom početku. Za atomiste je kretanje bilo naprosto nešto što je dato, što jeste. Atomisti su postavljali mehanistička pitanja i davali mehanističke odgovore. Kad su pitali "Zašto?" hteli su reći: koji je uzrok ovog događaja? A kad su potonji filozofi - Platon, Aristotel i oni posle njih - pitali "Zašto?", hteli su reći: koja je svrha ovog događaja? Na nesreću, ovaj drugi smer istraživanja, kaže Rasel, "obično stigne, i to brzo, do Tvorca, ili bar do Tvorca Privida". A onda mora ostati neobjašnjivo ko je stvorio Tvorca, osim ako smo raspoloženi da iznad njega zamislimo još jednog, dakle Nadtvorca, a iznad ovog Nadnadtvorca i tako sve dalje i dalje. Ova vrsta razmišljanja, rekao je Rasel, uvodi nauku u ćorsokak, gde ona ostane zarobljena i po nekoliko vekova.

Gde smo danas, u poređenju sa Grčkom oko 400. godine pre naše ere? Današnji 'standardni model', koji se sav pokreće pomoću opita, nije mnogo različit od Demokritove spekulativne atomske teorije. Možemo sagraditi bilo šta u sadašnjoj ili dosadašnjoj Vaseljeni, od pileće supe do neutronskih zvezda, sa samo dvanaest čestica materije. Naši a-tomi dolaze kao dve porodice: šest kvarkova i šest leptona. Tih šest kvarkova zovu se gore, dole, šarm, čudni, vrh (ili istina) i dno (ili lepota). Leptoni su elektron (bar njega dobro znamo), elektronski neutrino, muon, muonski neutrino, tau i tau-neutrino.

Samo, primetite da smo rekli 'sadašnja ili dosadašnja' Vaseljena. Ako razgovaramo samo o sadašnjoj, evo baš današnjoj Vaseljeni, od istočnih kvartova grada Čikaga pa sve do ruba Vaseljene, možemo se lepo snaći i sa kudikamo užim izborom čestica. Od šest kvarkova dovoljno nam je da uzmemo samo dva, dole i gore, jer oni, u raznim kombinacijama, daju jezgro svih atoma (onih atoma koji stoje u periodnoj tablici elemenata). Od svih leptona, jedino bez starog dobrog elektrona koji 'kruži' oko jezgra i bez neutrina koji je bitan u mnogim reakcijama, ne možemo živeti. Onda, šta će nam uopšte muon i tau? Šta će nam šarm kvark, čudni kvark i teži kvarkovi? Dobro, umemo da ih napravimo u našim akceleratorima - štaviše, otkrivamo ih i u sudarima kosmičkih zraka. Ali zašto su oni ovde? Više o tim 'ekstra' a-tomima kazaćemo nešto kasnije u ovoj knjizi.

## **GLEĐANJE KROZ KALEIDOSKOP**

Atomizam je u svojoj istoriji imao i uspone i padove, imao je gašenja i paljenja svog 'motora', ali najzad nas je dovukao do standardnog modela, gde smo sad. Atomizam je počeo sa Talesom koji je tvrdio da je sve voda (broj atoma: 1). Empedokle je insistirao: ne, nego vazduh-zemlja-vatra-voda (broj: 4). Demokrit je imao nelagodno veliki broj oblika atoma, ali samo jedan koncept (broj: ?) Onda je nastupila duga istorijska pauza, ali je atom ostao filozofska tema o kojoj su raspravljali Lukrecije, Njutn, Ruđer Bošković i mnogi drugi. Najzad je Džon Dalton (John Dalton) 1803. sveo atome na eksperimentalnu nužnost. Onda su se atomi našli čvrsto u šakama hemičara i počeli se množiti - 20 njih, pa 48, najzad, početkom ovog veka, 92 atoma. Uskoro su nuklearni hemičari počeli proizvoditi nove hemijske elemente, dakle nove vrste atoma (broj stiže do 112 i nastavlja



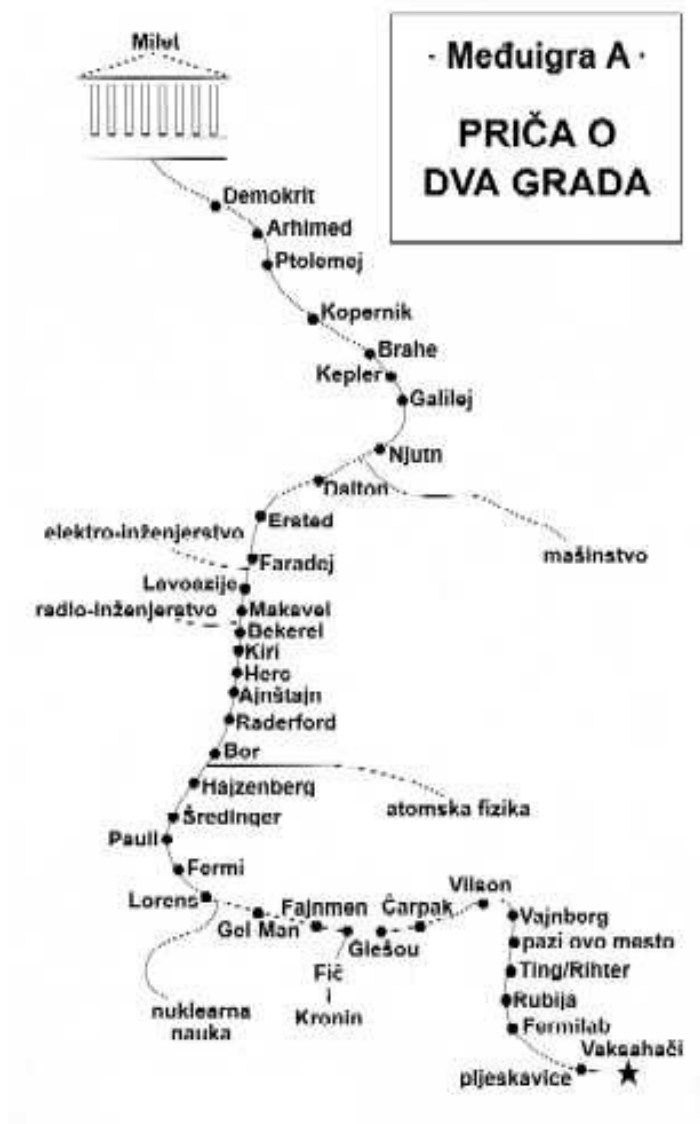
se povećavati). Lord Raderford je, međutim, učinio divovski korak unazad ka jednostavnosti kad je ustanovio (oko 1910. godine) da Daltonov atom nije nedeljiv, nego da se sastoji od jezgra i elektrona (broj: 2). Auh, da, i foton je tu negde (broj: 3). Godine 1930. nađeno je da je jezgro kuća puna ne samo protona, nego i neutrona (broj: 4). Danas imamo 6 kvarkova, 6 leptona, 12 gejdž bozona i, ako hoćemo da budemo zli, možemo uračunati i antičestice svih ovih, kao i boje kvarkova, jer kvarkovi dolaze u tri razne boje (broj: 60). Ali kome je do tolikog brojanja?

Istorija govori o tome da bismo mogli naći izvesne stvarčice, hajde da ih nazovemo 'pretkvarkovi', koje bi nam omogućile da smanjimo ukupan broj ovih osnovnih opeka od kojih je svet izgrađen. Postoji jedna novija pretpostavka koja kaže da mi gledamo kroz tamno staklo - da ovo mnoštvo tobožnjih a-toma u našem standardnom modelu jeste, naprosto, posledica načina na koji gledamo. Jedna dečja igračka, zvana kaleidoskop, pokazuje divne obrasce, koji nastaju rekombinacijom delića i dejstvom tri ogledala koja umnožavaju nastale slike i daju im simetriju. Uočimo neki raspored zvezda, a posle se pokaže da je nastao zbog gravitacionog sočiva. Kako sada shvatamo, lako bi se moglo desiti da Higsov bozon - Božija čestica - donese u naše ruke onaj mehanizam pomoću koga ćemo ugledati svet devičanske jednostavnosti iza našeg sve zapetljanijeg standardnog modela.

Ovo nas vraća jednoj staroj filozofskoj raspravi. Da li je ova Vaseljena stvarna? Ako jeste, kako se možemo uveriti u to - kako znati, sa sigurnošću, da je Vaseljena stvarna? Teoretičari se retko bave ovim problemom. Naprosto, prihvataju objektivnu stvarnost kao nešto dato, što jeste tu gde jeste, a onda se posvećuju svojim proračunima. (Mudra odluka, ako radiš samo olovkom po hartiji, a hoćeš nešto i da postigneš.) Međutim, eksperimentator, namučen slabostima svojih instrumenata, ali i svojih čula, oseti kako ga probija hladan znoj kad samo pomisli na zadatak merenja koliko je svet stvaran. Pokaže se da svet ume biti veoma klizav kad položiš lenjir na njega vođen željom da izmeriš tu osobinu: stvarnost. Dešava se da iz nekog opita proiziđu brojevi toliko čudni i neočekivani da se fizičaru kosa digne na glavi od užasa.

Pogledajte samo problem mase. Podaci koje smo prikupili o masi kvarkova i W i Z čestica krajnje su zbunjujući. A leptoni - elektron, muon i tau - izgleda da su jednaki u svemu, baš u svemu, osim po svojoj masi. Da li je masa stvarna? Ili je samo opsena, priviđenje nastalo zbog našeg kosmičkog okruženja? Jedno objašnjenje, koje naprosto ključa kroz literaturu osamdesetih i devedesetih godina ovog veka, govori nam da je prazan prostor prožet nečim, nečim što atomima pridodaje jednu prividnu osobinu - težinu. To nešto će se jednog dana odslikati u našim uređajima kao čestica.

A dotad, ništa ne postoji osim atoma i praznog prostora; sve ostalo su samo mnjenja. Čujem kako se stari Demokrit tiho smeje.



### 3. TRAGANJE ZA ATOMOM: MEHANIKA

Vama koji se pripremate da obeležite trista pedesetu godišnjicu objavljivanja velikog Galilejevog naučnog rada *Dialoghi sui due massimi sistemi del mondo* želeo bih da kažem da je iskustvo Crkve, tokom tih događaja sa Galilejem i kasnije, dovelo do jednog zrelijeg stava i do tačnijeg uviđanja koliko vlasti Crkva može i treba da ima. Ponavljam pred vama ono što iskazah pred Pontifijskom akademijom nauka 10. novembra 1979: 'Nadam se da će teolozi, naučnici i istoričari, pokrenuti duhom istinske saradnje, dublje proučavati slučaj Galilejev i da će, iskreno priznajući nepravde ma s koje strane da su bile nahrupile, razagnati nepoverenje koje i do dana današnjega čini zapreku, u svesti mnogih ljudi, plodnoj slozi nauke i vere.'

Njegova svetost papa Jovan Pavle Drugi, 1986.

Vinćenco Galilej (Vincenzo Galilei) mrzeo je matematičare. To može izgledati čudno, jer on sam beše matematičar, veoma sposoban. Ali više od toga beše odan muzici, čuveni lautista u Firenci šesnaestog veka. Oko godine 1580. posveti on pažnju teoriji muzike i nađe da ona ne valja. Krivicu za ovo pripisa jednom matematičaru koji beše dve hiljade godina pre toga upokojen. Pitagora je kriv, reče Vinćenco.

Pitagora je bio mistik. Rođen je na grčkom ostrvu Samosu, otprilike jedan vek pre Demokrita. Proveo je glavninu svog života u Italiji, gde je i organizovao svoj pokret, pitagorejce, jednu vrstu tajnog udruženja muškaraca koji su na religijski način obožavali brojeve i koji su živeli pod stegom nekoliko opsesivnih tabua. Odbijali su da jedu pasulj ili da podignu ma koji predmet koji padne sa njih ili iz njihovih ruku. Kad god su se ujutro probudili, veoma pomno su poravnavali posteljinu, da ne ostane ni najmanje udubljenje u obliku njihovih tela. Verovali su u reinkarnaciju i odbijali da jedu pseće meso ili, čak, da tuku pse, smatrajući da bi u telu nekog psa mogao biti duh nekog njihovog davno preminulog prijatelja.

Opsednuti su bili brojevima. Verovali su da stvari jesu brojevi. Ne u smislu da stvari možeš prebrojati, nego da predmeti jesu brojevi, na primer broj 1 da je jedan predmet, jedna stvar; broj 2, ili 7, ili 32 takođe su stvari, objekti. Pitagora je nastojao da vidi oblik brojeva i dosetio se da brojeve diže na kvadrat i na kub, a to su izrazi koje i danas koristimo. (Ali je govorio i o brojevima koji su navodno 'ovalni' ili 'trouglasti', što nama danas ni na kraj pameti nije da upotrebimo.)

Pitagora je prvi dokučio jednu veliku istinu o pravouglim trouglovima. Ukazao je na činjenicu da je kvadrat nad hipotenuzom jednak zbiru kvadrata nad katetama, što danas zna svako dete. Zna, jer mu to zakucaju u mozak nastavnici matematike, u svakoj školi, od De Muana do Ulan Batora. Ovo me podseća na vreme kad je jedan od mojih studenata regrutovan. Jednog dana sede mladi vojnici, redovi, a narednik im drži predavanje o metričkom sistemu mera.

NAREDNIK: U metričkom sistemu mera voda ključa na devedeset stepeni.

REDOV: Izvinjavam se, gospododine, ključa na sto.

NAREDNIK: Uh, da, pogrešio sam. Prav ugao ključa na devedeset stepeni.

Pitagorejci su voleli da proučavaju razmere, brojne odnose. Smislili su 'zlatni pravougaonik', idealan oblik, čije razmere jasno vidimo na Partenonu i mnogim drugim grčkim građevinama, ali i na renesansnim slikama.

Pitagora je bio prvi kosmolog. On je, naime, i uzeo reč kosmos (on, a ne Karl Segan) i njome označio sve što postoji u našoj Vaseljeni, baš sve odjednom, od ljudskih bića do zvezda koje se iznad nas vrte ukруг. U stvari, kosmos je reč koja je i pre Pitagore postojala u grčkom jeziku, ali je značila nešto neprevodivo, otprilike: urednost, sređenost, lepota. Vaseljena je jedan kosmos, rekao je Pitagora, a i svaki čovek je po jedan kosmos za sebe, samo ne svaki podjednako.

Kad bi Pitagora bio živ danas, stanovao bi u bregovima Malibu ili možda u Marin Kauntiju. Zadržavao bi se po restoranima 'zdrave hrane', u pratnji mladih žena koje bi

mrzele pasulj, obožavale njega i imale imena kao 'Princeza Gaja' ili 'Sunčica Akacija'. Ili bi možda bio profa sa pola radnog vremena i predavao matiš na Kalifornijskom univerzitetu u Santa Kruz.

Napravio sam veliku digresiju. Ključna istina u našoj priči jeste ta da su pitagorejci obožavali muziku, u koju su unosili svoju opsednutost brojevima. Pitagora je verovao da sazvučja u muzici proističu iz 'zvučnih brojeva'. Tvrdio je da savršeni akordi jesu intervali na muzičkim lestvicama, i to intervali koji se mogu iskazati brojevima 1, 2, 3 i 4. Zbir ta četiri broja jeste 10, a to je u pitagorejskom pogledu na svet savršen broj. Pitagorejci su donosili muzičke instrumente na svoje skupove, koji su prerastali u 'jam session' slobodnog sviranja. Ne znamo da li je i koliko ta muzika bila dobra, jer nisu to snimali na kompakt diskove. Međutim, jedan kasniji kritičar je izrekao učenu pretpostavku o toj stvari.

Vinčenco Galilej ustvrdio je da su Pitagorejci svakako bili gluvaći, svi odreda, imajući u vidu njihove teorije o akordima. Vinčencu je sluh javljao da je Pitagorino učenje o sazvučjima skroz-naskroz pogrešno. Ostali aktivni muzičari šesnaestog veka takođe su prenebregavali te davne Grke. Pa ipak, Pitagorine zamisli živjele su i dogurale čak do Vinčencovih dana; 'zvučni brojevi' zadržali su se kao uvažavan deo muzičke teorije, mada ih niko nije primenjivao u praksi. Najveći branitelj Pitagore u Italiji u šesnaestom veku bio je Đozefo Zarlino (Giuseffo Zarlino), najistaknutiji muzički teoretičar tog doba i ujedno Vinčencov učitelj.

Vinčenco i Đozefo su se grdno posvađali oko ovoga, a onda je Vinčenco smislio način, revolucionaran za ono vreme, da dokaže da je u pravu: vršio je opite. Pripremio je i obavio dve grupe opita, i to sa strunama različitih dužina i sa drugim strunama koje su sve bile iste dužine, ali različite zategnutosti. Radeći tako, otkrio je nove, nepitagorejske matematičke odnose u muzičkoj lestvici. Neki kažu da je Vinčenco prvi čovek koji je opitnim dokazima oborio jedan do tada opšteprihvaćeni matematički zakon. Sigurno je bar ovo: bio je na čelu jednog pokreta koji je staru polifoniju zamenio modernom harmonijom.

Znamo zasigurno da je tim opitima sa strunama prisustvovao bar jedan zainteresovani posmatrač. Vinčencov najstariji sin gledao je šta tata meri i računa. Ogorčen muzičko-teorijskim dogmatizmom, Vinčenco se dernjao, nastojeći da dokaže sinu koliko je matematika glupava. Ne znamo tačne reči koje je izgovarao, ali meni se pričinjava da čujem Vinčenca kako više otprilike ovo: "Zaboravi te teorije sa glupim brojevima. Slušaj šta ti uho govori. Nemoj slučajno da čujem nešto kao da bi ti da postaneš, daleko bilo, matematičar!" Podučavao je momka valjano, pa je njegov najstariji sin postao umešan izvođač na lauti i na drugim instrumentima. Uvežbavao je čula svoga sina, učio ga kako da oseti grešku u raspolaganju vremenom; a upravo je osećanje za vreme bitno za muzičara. Međutim, Vinčenco je želeo da se njegov najstariji sin odrekne i muzike i matematike. Beše Vinčenco tipičan otac: pun želje da mu sin postane lekar, da bi mogao pristojno zarađivati za život.

Posmatranje tih opita delovalo je na mladića mnogo jače nego što je to Vinčenco mogao i zamisliti. Momka je naročito očaravao jedan opit u kome je njegov tata postigao različite zategnutosti žica tako što je o njih okačio različite tegove. Žica na čijem kraju visi teg može, kad je čupneš, početi i da se njiše, kao klatno; možda je to navelo mladoga člana porodice Galilej da počne razmišljati o različitim načinima na koje se predmeti kreću kroz ovu Vaseljenu.

Ime tog momka bilo je, naravno, Galileo. Kad gledamo odavde, modernim očima, dostignuća Galilejeva toliko blistaju, da nam je teško da uočimo prisutnost ma koga drugog u tom razdoblju istorije. Galilej je prenebregao Vinčencove harange protiv podlaca koji se bave čistom matematikom i postao upravo nastavnik matematike. Ali iako je veoma voleo matematičko logičko razmišljanje, podvrgnuo ga je posmatranjima i opita. Zapravo, mnogi danas smatraju da je Galilejevo spretno stapanje tih dvaju elemenata bilo pravi početak naučnog metoda.

## **GALILEJ, ZAZA GABOR I JA**

Galilej beše novi početak. U ovom i sledećem poglavlju videćemo kako je stvarana klasična fizika. Susrešćemo se sa zapanjujućim nizom junaka: prvi stupa Galilej, za njim Njutn, pa Lavoazije (Lavoisier), Mendeljejev, Faradej, Maksvel, Herc i još mnogi. Svaki od njih napadao je iz nekog novog ugla problem pronalaženja konačne opeke od koje je Vaseljena sazdana. Ja se plašim ovog poglavlja. Brdo knjiga je napisano o ovim naučnicima. Ova fizika je teritorija davno istražena. Osećam se kao sedmi muž Zaze Gabor. Znam tačno šta treba da radim, ali kako da postignem da to bude zanimljivo?

Zahvaljujući misliocima posle Demokrita, u nauci se malo šta uradilo od vremena atomista, pa sve do početka renesanse. To je bio jedan od razloga što su 'mračni vekovi' bili toliko mračni. Jedna zgodna odlika fizike čestica sastoji se u tome što možemo hladno da prenebregnemo nekih dve hiljade godina intelektualnog pregalaštva. Tokom tolikog razdoblja, zapadnom kulturom je preovlađivala aristotelovska logika - geocentrična, antropocentrična, religijska - a takva okolina je za fiziku neplodna. Naravno, ni Galilej nije izrastao iz baš potpune pustinje. On se kasnije mnogo zahvaljivao Arhimedu, Demokritu i rimskom pesniku i filozofu Lukreciju. Sumnje nema, Galilej je proučio svoje prethodnike i gradio dalje na njihovim ostvarenjima; ali imena tih prethodnika danas su poznata samo upućenicima. Galilej je prihvatio kopernikanski pogled na svet (ali tek pošto ga je pomno proverio) i time odredio svoju ličnu i političku budućnost.

Videćemo, u ovom razdoblju, razilazak sa grčkim metodom. Čisti um više nije bio dovoljan. Ušlo se u eru opita. Kao što je Vincenco rekao svome sinu, između stvarnog sveta i čistog uma (a to je matematika) posreduju čula, koja se, to je najvažnije, potpomažu merenjem. Imaćemo susrete i sa nekoliko pokolenja eksperimentatora, a ne samo teoretičara. Videćemo kako je međuigra ta dva ušančena tabora pomogla da se izgradi veličanstvena građevina intelekta, sada poznata kao klasična fizika. Rad svih ovih naučnika bio je od koristi ne samo naučnicima i filozofima nego i drugima. Iz otkrića koja su ti ljudi postigli proizišle su nove tehnologije, koje su izmenile život ljudskog roda na ovoj planeti.

Naravno, uzalud je što si ti voljan da meriš ako nemaš čime, ako nemaš instrumente. Bila su to vremena divnih naučnika, ali, isto tako, i divnih instrumenata.

## **LOPTE I NAGIBI**

Galilej se naročito usmerio na proučavanje kretanja. Možda jeste, a možda i nije bacao kamene kugle sa Krivog tornja u Pizi; neke opite svakako jeste izvodio. Ali je (verovatno pre opita) logički analizirao veze između udaljenosti, vremena i brzine. Galilej je proučavao kretanje predmeta, ali ne tako što ih je puštao da padaju, nego na drugi način: primenio je jedan trik, našao je zamenu za padanje, a to je strma ravan. Razmišljao je ovako: kretanje kugle niz glatku dasku koja je do neke mere nagnuta na jednu stranu moralo bi da bude u bliskom srodstvu sa kretanjem iste te kugle kad je pustiš u slobodan pad, s tom razlikom što je kotrljanje po strmoj ravni neuporedivo povoljnije za eksperimentatora jer je sporije, pa ga je lakše meriti.

U načelu, on je mogao da proverava tačnost ovog zaključivanja tako što bi počeo sa vrlo blagim nagibima. Njegova daska bila je dugačka oko dva metra. Ako bi podigao jedan njen kraj samo desetak centimetara, dobio bi blag nagib, na kome bi mogao da meri brzinu; onda bi mogao postepeno da povećava nagib i da ponavlja merenja, sve dok brzina kretanja ne bi postala toliko velika da se više ne bi mogla potpuno tačno meriti. Ovim bi Galilej stekao pouzdanje da proširi svoje zaključke i na najstrmiji moguć nagib, a to je okomit slobodan pad.

Naravno, bilo mu je potrebno nešto pomoću čega bi merio vreme dok se kugle kotrljaju. Svratio bi on u trgovački kraj grada da kupi štopericu, ali uzalud; štoperice su pronađene tek tri stotine godina kasnije. Tu se onda umešala obuka koju je stekao kod oca. Pamtim da je Vincenco usavršio Galilejev sposobnost osluškivanja ritma u muzici. U nekom maršu, recimo, po jedan ritmički udar dođe možda u svakih pola sekunde. Pri

takvom ritmu vičan muzičar, kao što je Galilej bio, oseti da nešto nije u redu čim se ritam ubrza ili uspori za samo jednu šezdesetčetvrtinku sekunde.

Zalutao u zemlju bez časovnika, Galilej je odlučio da upotrebi svoju kosu ravan kao svojevrsni muzički instrument. Razapeo je žice od laute popreko preko daske, na određenim rastojanjima. Pri svakom kotrljanju nizbrdo, kugla je prelazila preko svih tih žica i iz svake izmamila po jedan zvuk, jedno 'škvrc!' Galilej je onda razmeštao žice levo-desno, sve dok nije postigao da ti zvuci, po njegovom utisku i sluhu, nastaju u tačno ujednačenom ritmu. Pevao je jednu marševsku pesmu i puštao kuglu tačno u trenu jednog ritmičkog udara, pa kad su strune bile najzad raspoređene baš kako treba, svako 'škvrc!' stizalo je tačno pola sekunde posle onog prethodnog - dobio se tačan polusekundni ritam podudaran sa pesmom. A kad je Galilej onda izmerio rastojanja između žica na dasci, video je - mirabile dictu! - da se ona, odozgo nadole, povećavaju geometrijskom progresijom. Drugim rečima, rastojanje od početka do druge žice bilo je četiri puta veće nego od početka do prve žice; a do treće žice bilo je devet puta veće, a do četvrte žice šesnaest puta veće i tako dalje, iako je vremenski razmak između svih 'škvrc!' bio uvek jednak, uvek po pola sekunde. (Razmera razmaka između Galilejevih žica može se i ovako napisati: 12, 22, 32, 42 i tako dalje - dakle, u kvadratnom obliku.)

Ali šta se dešava ako dasku još malo nagnemo? Galilej je isprobao mnoge nagibe i ustanovio da se zadržava isti srazmeran odnos, isti redosled kvadrata, pri svakom nagibu, od vrlo blagog do vrlo strmog, sve do onog nagiba pri kome je 'časovnik' postajao neupotrebljiv zbog prebrzog padanja. Ključna stvar koju je Galilej pokazao bila je da ispušteni predmet ne pada tek bilo kako, nego pada sve brže i brže - dakle ubrzava - a to ubrzanje je stalno.

Pošto je bio matematičar, sastavio je formulu kojom je opisao ovo kretanje. Razdaljina  $s$  koju padajuće telo prevali jednaka je broju  $a$  pomnoženom kvadratom vremena  $t$  koje je proteklo od početka padanja. Upotrebimo prastari jezik algebre i skratimo ovo, tako da sad glasi:  $s = at^2$ . Ova konstanta  $a$  menjala se pri svakoj promeni nagiba daske. To  $a$  je prvo slovo od reči akceleracija, što znači ubrzanje: povećavanje brzine predmeta dok pada. Galilej je uspeo da ustanovi da se brzina povećava na jednostavniji način nego pređeni put. Brzina se povećava u skladu sa proteklim vremenom, a ne u skladu sa kvadratom proteklog vremena.

Nagnuta ravan, uvežbano muzičarsko uvo kadro da meri razmake vremena sa tačnošću koja je dostizala jednu šezdesetčetvrtinku sekunde, i sposobnost da meri razdaljine sa preciznošću od približno dva milimetra dadoše Galileju tačnost potrebnu za obavljanje ovih poslova. Kasnije je Galilej pronašao časovnik sa klatnom; tačnost ovog časovnika zasnivala se na pravilnom periodičnom njihanju klatna. Danas Biro za standarde u Sjedinjenim Američkim Državama ima atomske časovnike sa cezijumom koji ne mogu da pogreše za više od jedan milioniti delić sekunde godišnje! Sa tim našim cezijumskim takmiče se izvesni časovnici koje je sama priroda dala: astronomski objekti zvani pulsari, a to su, zapravo, neutronske zvezde koje se veoma brzo okreću oko svoje ose i pri tome, poput svetionika, odašilju radio-zračenje u kosmos sa pravilnošću prema kojoj i te kako možete podešavati časovnike. Moguće je, zapravo, da je ovo 'impulsno' zračenje neutronske zvezde čak i pravilnije od atomskog pulsiranja u cezijumu. Galilej bi bio očaran ovom dubokom vezom atomizma i astronomije.

I šta je sad toliko važno u formuli  $s = at^2$ ?

Tada je, koliko mi znamo, prvi put u istoriji čovečanstva kretanje opisano na matematički tačan način. Presudni pojmovi, ubrzanje i brzina, jasno su određeni. Fizika je proučavanje materije i kretanja. Kretanja projektila, kretanja atoma, kružna kretanja planeta i kometa moraju sva biti opisana kvantitativno. Galilejeva matematika, potvrđena opitima, dala nam je tačku sa koje smo krenuli u taj posao.

Samo, da ovo ne bi zvučalo kao da je sve bilo lako, treba upozoriti na to da je Galilejeva opsednutost zakonom slobodnog pada trajala decenijama. U jednoj svojoj publikaciji čak ga je napisao netačno. Većina nas u osnovi smo aristotelovci (da li si znao, dragi čitače, da si u osnovi aristotelovac?) i zato bi nam bilo prirodno da nagađamo ovako: pa, valjda, brzina padanja zavisi od težine kugle. Zar neće teža kugla padati brže? Galilej je bio pametan, pa je razmišljao drugačije. A zašto smo mi to skloni da pretpostavimo da teži predmeti padaju brže; jesmo li ludi? Nismo, nego nas priroda

navodi na pogrešku. Iako je bio veoma pametan, Galilej je morao biti i silno pažljiv pri vršenju opita da bi pokazao da prividna veza težine sa brzinom padanja potiče od trenja između daske i kugle. Zato je dasku glačao i glačao da bi trenje bilo što manje.

## **PERCE I NOVČIĆ**

Uzeti neki skup rezultata eksperimenata, pa iz njih izvući jedan jednostavan zakon fizike - nije baš jednostavno. Priroda svoju jednostavnost prikriva gusto izdžikljanim korovom svakojakih pratećih okolnosti, a posao je eksperimentatora da seče i uklanja taj korov. Zakon slobodnog padanja odličan je primer za ovo. Dajemo đacima prve godine srednje škole, na času fizike, da ispuste jedan novčić i jedno perce u staklenu cev, prilično visoku. Novčić padne brzo i zvekne o podlogu za, recimo, jednu sekundu, a pero se leluja i doplovi do dna tek posle pet-šest sekundi. Takva posmatranja navela su Aristotela da formuliše zakon po kome teža tela brže padaju. Onda zatvorimo cev, ispumpamo vazduh iz nje, i ponovimo opit. Pero padne istovremeno sa novčićem. Znači, otpor vazduha sprečavao nas je da jasno vidimo zakon o slobodnom padu. Da bi se postigao napredak, mora se otkloniti ta poteškoća, to sa vazduhom, i onda možemo sagledati jednostavni zakon. Kasnije, ako postoje značajni razlozi, možemo da se vratimo i proučimo kako valja uračunati i otpor vazduha da bismo dobili jednu novu formulaciju istog zakona, zamršeniju, ali možda i korisniju kad treba rešavati neke probleme u praksi.

Aristotelovci su verovali da je 'prirodno' stanje svakog tela da miruje. Gurni loptu po nekoj ravni, i ona će se posle nekog vremena zaustaviti, zar ne? Galileju je bilo veoma jasno da su uslovi za izvođenje opita daleko od savršenih; to znanje dovelo ga je do jednog od njegovih velikih otkrića. On je iz strmih ravni čitao fiziku onako kako je Mikelandelo video veličanstvena tela u blokovima mermera. Međutim, shvatio je da zbog trenja, pritiska vazduha i drugih nesavršenih okolnosti, njegova daska nije idealna za proučavanje sila koje deluju na razne predmete. A šta bi bilo, zapitao se on, kad bismo imali idealnu ravan? Kao Demokrit koji je u mislima oštario nož, Galilej je na isti taj način uglačavao jednu ravan sve dok nije dostigla vrhunsku poliranost, potpuno odsustvo trenja. Staviš takvu ravan u vakuumsku komoru, da ti ne dosađuje ni vazduh. I produžiš ravan do beskonačnosti. Pripaziš da nije pod nagibom, nego savršeno vodoravna. E, sad, ako na toj savršeno vodoravnoj ravni sedi i miruje jedna idealno uglačana lopta, koju ti samo malo gurneš, koliko dugo i koliko daleko će se lopta otkotrljati? (Dokle god ovaj opit ostaje samo u mislima, izvodljiv je i, štaviše, jeftin.)

Odgovor glasi: do večnosti i do beskrajja. Galilej je ovako razmišljao: ako gurneš kuglu na ovoj nesavršenoj, zemaljskoj dasci nagnutoj malo nagore, kugla će poći 'uzbrdo', ali će se kretati sve sporije i sporije. Ako nagneš dasku nadole, kugla će hvatati sve veću brzinu. A između ta dva, ako je daska sasvim vodoravna? Koristeći svoje intuitivno znanje o neprekidnosti akcije, Galilej je intuitivno skočio ka onome što će Njutn kasnije nazvati prvi zakon kretanja: telo u pokretu nastoji da ostane u pokretu. Sile nisu neophodne da bi bilo kretanja; neophodne su, međutim, da bi nastupila promena kretanja. Nasuprot aristotelovskom gledištu, prirodno stanje tela jeste kretanje postojanom brzinom. Mirovanje je samo poseban slučaj toga, stanje nulte brzine, ali po ovom novom učenju ono nije ni prirodnije, niti manje prirodno od kretanja ma kojom postojanom brzinom. Za sve nas koji smo ikada vozili kola, ili ratničke dvokolice, ovo je suprotno onome što bismo po intuiciji očekivali: ako ne držiš nogu na pedali za gas, ili ako ne šibaš konje, vozilo će se posle nekog vremena zaustaviti. Galilej je uvideo da mi moramo, ako želimo naći istinu, da pripišemo našem instrumentu idealne osobine. (Druga mogućnost je da poteramo automobil na put potpuno prekriven ledom.) Galilejeva genijalnost sastojala se u tome što je uvideo kako se mogu ukloniti prirodne zapetljancije kao što su trenje i otpor vazduha da bi se uspostavio jedan skup osnovnih veza, dakle matematičkih odnosa koji govore o ovom svetu.

Kao što ćemo videti, i sama Božija čestica je jedna zapetljancija koju je neko nametnuo ovoj divnoj, jednostavnoj Vaseljeni. Taj neko je možda hteo da prikrije zasenjujuću simetriju od ljudskoga roda koji još nije zaslužio da tako nešto vidi.

## **ISTINA O TORNJU**

Najslavniji primer Galilejeve sposobnosti da raskrči nejasnoće i stigne do jednostavnosti jeste priča o bacanju kugli sa Krivog tornja u Pizi. Mnogi stručnjaci nisu ubeđeni da se ovaj slavni događaj ikad desio. Stiven Hoking, na primer, piše da je ta priča "gotovo sigurno neistinita". Zašto bi, pita Hoking, Galilej gubio vreme bacajući nešto sa tornja, kad nije imao načina da tačno izmeri vreme padanja tog nečeg, dok je na kosoj ravni imao mogućnost da meri vreme? Ali tako mu seni starih Grekosa! Hoking je teoretičar, koji se ovde služi čistim umom. A to nije prava stvar kad razmišljamo o Galileju, koji je bio eksperimentator nad svim eksperimentatorima.

Stilmen Drejk (Stillman Drake), čovek koji se opredelio da postane biograf Galileja, veruje da je priča o Krivom tornju u Pizi istinita. On ovo veruje iz nekoliko razloga, i to dobrih istorijskih razloga. Ali - i zbog ličnosti Galilejeve; naprosto bi se tako nešto moglo od Galileja očekivati. Opat na Krivom tornju uopšte nije bio opat, bila je to samo demonstracija, medijska atrakcija, prva velika naučna priredba namenjena zadivljenju javnosti, celog naroda. Galilej je hteo da se pravi važan, a ujedno da pokaže i dokaže da njegovi protivnici nemaju pojma.

Galilej je, kao ličnost, bio prilično hitar da se naljuti - ne baš svađalica, ali, ipak, vatren i sklon da u trenu prihvati dobačeni izazov. Umeo je da postane ludo dosadan i uporan kad mu je nešto smetalo, a smetala mu je glupost u svim oblicima. Neformalan u oblačenju, podsmevao se doktorskim togama bez kojih nije bilo dozvoljeno nastupanje na Univerzitetu u Pizi; napisao je humorističnu poemu 'Protiv toge', koja je postala popularna među mlađim i siromašnijim univerzitetskim predavačima, koji nisu imali dovoljno para da kupe takvu odeždu. (Ta poema se, međutim, nimalo ne bi svidela Demokritu, koji je mnogo voleo togu.) Stariji profesori nisu smatrali da je poema osobito zabavna. Galilej je pisao tekstove u kojima je napadao svoje protivnike; potpisivao ih je raznim pseudonimima, ali pošto je njegov stil bio prepoznatljiv, manje-više svakome je bilo jasno ko se iza pseudonima krije. Nikakvo čudo, dakle, da je Galilej imao neprijatelje.

Njegovi najgori intelektualni takmaci behu aristotelovci, čvrsto uvereni da se telo kreće samo dok ga nešto gura ili vuče i da teška tela padaju brže nego laka zato što su jače privučena Zemlji. Tim ljudima ni na pamet nije padalo da provere ovo. Naučnici aristotelovci imali su gotovo potpunu vlast nad Univerzitetom u Pizi, ali, ako bolje pogledamo, i nad gotovo svim ostalim univerzitetima u Italiji. I, kao što možete zamisliti, na njihovim listama popularnosti Galilej nije bio nešto mnogo blizu mesta broj jedan.

Ka toj grupi bila je uperena parada sa Krivim tornjem. Hoking dobro kaže da to za Galileja ne bi bio idealan opat. Ali to je bio javni događaj. Kao kod svih takvih pripremljenih predstava, glavni organizator tačno je znao šta će biti na kraju. Ja ga vidim kako se penje na kulu, u mrklom mraku, u tri sata ujutro, i baca dve nejednake olovne kugle na glavu svojim asistentima postdiplomcima. "Trebalo bi da vas drmnu obe istovremeno", viče on sa kule. "Ti, tamo, drekni ako te ova veća rokne u glavu prva." Ne, dobro, nije on stvarno morao to da radi, jer je već shvatio da će obe olovne kugle, i velika i mala, tresnuti na zemlju istovremeno.

Svojim umom je to dokonao. Evo kako. Pretpostavimo, rekao je on, da je Aristotel u pravu. Pretpostavimo da će teža kugla pasti prva, što bi značilo da ona postiže veće ubrzanje. E, sad, da uzmemo jedno konopče i vežemo lakšu kuglu za težu. Ako lakša kugla zaista pada sporije, konopac će se zategnuti: lakša kugla će vući težu unazad, usporavaće njen pad. Ali čekaj: pa ako smo ih vezali, one su sad jedno, jedan su predmet, i to teži, znači tako dobijeni novi predmet morao bi da pada još brže nego teža kugla dok je bila sama? Kako rešiti ovu nedoumicu? Samo jedno rešenje zadovoljava sve postavljene uslove: obe lopte moraju padati istom brzinom i ubrzanjem. Jedino to, i ništa drugo, omogućuje nam da zaobiđemo celu tu zapetljanciju sa pitanjima koja je brža/sporija.

Po legendi, Galilej provede celo prepodne na kuli, bacajući olovne kugle odozgo, postižući da se zainteresovani posmatrači uvere u istinu i grdno plašeći ostali narod koji



je zazirao od te tutnjave i gužve. Mudar je bio, pa nije bacao novčić i pero, nego tegove različite težine, a jednakog oblika (na primer, jednu drvenu kuglu i jednu olovnu, šuplju kuglu). Ono kasnije je istorija, ili bi trebalo da bude istorija. Galilej je pokazao da slobodan pad nimalo ne zavisi od masivnosti (iako nije znao zašto je to tako; tek će Ajnštajn, 1915. godine, ovo zaista rastumačiti.) Aristotelovcima je očitao lekciju koju oni više nikada nisu mogli da zaborave... niti da mu oprostite.

Je li ovo nauka ili šou-biznis? Malo jedno, a malo i drugo. Nisu samo eksperimentatori skloni ovakvim stvarima. Ričard Fajnmen, veliki teoretičar koji se takođe veoma zanimao za opite, ušao je u središte medijske pažnje kad su ga učlanili u komisiju koja je imala zadatak da ispita zbog čega je eksplodirao šatl Čelendžer. Kao što možda pamтите, bila je velika rasprava da li takozvani 'O-prstenovi' mogu ili ne mogu izdržati nisku temperaturu. Fajnmen je na ove rasprave stavio tačku tako što je uradio jednostavnu stvar: ubacio je komad tog obruča u ledenu vodu, a onda pokazao publici kako je taj predmet postao krt. E, sada, zar vam se ne čini da je i Fajnmen, poput Galileja, unapred znao šta će se dogoditi?

Za divno čudo, dogodilo se da je devedesetih godina ovog veka Galilejev opit sa Krivim tornjem opet izronio u središte naučne pažnje, ali sa novom snagom. Neki ljudi govore da možda postoji 'peta sila', jedna hipotetična dopuna Njutnovom zakonu gravitacije, koja bi dovela do toga da bakarna kugla i, recimo, olovna kugla ipak ne padaju potpuno istom brzinom nego malo, samo malčice drugačijom. Ako padaju u prazninu duboku, recimo, trideset metara, razlika u vremenu stizanja do dna iznosila bi približno jedan milijarditi deo sekunde; merenje takvog nečeg bilo je nezamislivo u Galilejevim vremenima, a sa današnjom tehnologijom to je zadatak dostojan poštovanja, ali izvodljiv. Navodni 'dokazi' o petoj sili, koji su se pojavili potkraj osamdesetih godina ovog veka, sada su gotovo sasvim iščezli, ali ipak nemojte prestati da tragate u novinama - mogla bi jednog dana da se pojavi i neka nova vest o ovome.

## **GALILEJEVI ATOMI**

Šta je Galilej mislio o atomima? Pod uticajem Arhimeda, Demokrita i Lukrecija, ali i svoje intuicije, Galilej beše atomist. Držao je on predavanje i pisao o prirodi materije i svetlosti, godinama i decenijama, a naročito u svojoj knjizi Oprobavalac iz 1622. godine i u svom poslednjem delu, veličanstvenom Dijalogu o dve nove nauke. Činilo se da Galilej veruje da se svetlost sastoji od sitnih, tačkastih tela (korpuskula), baš kao i materija.

Galilej je pisao da su atomi 'najmanji kvanti', dakle, 'najmanje količine'. Kasnije je dočarao sliku o 'beskonačnom broju atoma koji su razdvojeni beskonačnim brojem praznina'. Ovaj mehanistički pogled blisko je povezan sa matematikom infinitezimala, koja je prethodnik računa što će ga pronaći Njutn, šezdeset godina kasnije. Ovde imamo bogat grumen paradoksa. Hajde da uzmemo jedan jednostavan kružni konus - kupu, dakle, kojoj je osnovica krug; neka je ta kupa kapa srednjovekovne dvorske lude, slažete se? Sad zamislite da ovu kupu presečemo popreko, jednim vodoravnim zamahom, koji će, dakle, biti uporedan sa osnovicom kupe. Dobijemo dva komada, gornji i donji, i svaki ima svoju površinu tamo gde je presek učinjen: donji komad ima svoju kružnu površinu tamo gde je odrubljen, i to mu je sad gornja površina; a gornji komad ima svoje dno, takođe kružno. Da pogledamo pažljivo. Pošto su te dve površine do maločas bile u neposrednom dodiru, tačka uz tačku, priljubljene, znači da imaju isti poluprečnik. Ali kupa je, kad je gledamo idući ka njenom vrhu, stalno sve uža i uža... pa kako onda te dve novonastale površine mogu biti jednake? Međutim, ako je kupa sagrađena od beskonačnog mnoštva atoma i praznina, čovek može zamisliti da na onoj gornjoj kružnoj površini nastaloj presecanjem postoji, ipak, malo manji broj atoma i praznina. Malo manji, pa ipak beskonačan; može li to da bude? Ne? Hajde da se prisetimo da je godina 1630. ili neka bliska, i da se ovde razgovara o izuzetno apstraktnim predstavama - o zamislama koje će tek kroz nekih dvestotinak godina biti podvrgnute eksperimentalnoj proverbi. (Jedan način da se ovaj paradoks zaobiđe bio bi da se zapitamo koliko je debeo taj nož. Mislim da opet čujem Demokritovo "He-he!")

U knjizi Dijalozi o dve nove nauke Galilej iznosi svoje poslednje misli o strukturi atoma. Po njegovoj hipotezi, barem kako je čitaju najnoviji proučavaoci istorije nauke, atomi moraju biti svedeni na matematičku apstrakciju - na tačke; a to znači da nemaju nikakvu dimenziju, zbog čega su, jasno, nedeljivi, ne mogu biti presečeni, ali ne mogu imati ni oblike kao što je Demokrit zamišljao.

Ovde Galilej pomiče atomsku zamisao bliže onoj verziji koja je danas najmodernija - naime, pretpostavci da su kvarkovi i leptoni tačke.

## **AKCELERATORI I TELESKOPI**

Kvarkovi su još apstraktniji od atoma i još ih je teže dočarati. Niko nikad nije 'video' nijedan kvark. Odakle nam onda pomisao da oni postoje? Imamo dokaze, ali posredne. Čestice se sudaraju u akceleratoru. Usavršena elektronika prima i obrađuje električne impulse koje čestice, dok proleću, izazivaju u svakojakim sensorima ugrađenim u detektor. Kompjuter tumači elektronske impulse koji mu stižu iz detektora, svodi ih na hrpe nula i jedinica. Te nalaze šalje do monitorskih ekrana u našoj kontrolnoj sali. Mi gledamo predstavu sačinjenu na osnovu svih tih nula i jedinica i kažemo: "Auh, ljudi, eno jednog kvarka!" Laiku to izgleda prilično nategnuto. Kako smo to mi baš sigurni? Zar nije moglo da se desi da neka naša sprava (akcelerator, detektor, računar, ili naprosto neka žica negde) 'izmisli' taj kvark? Pa, mi nikad nijedan kvark nismo videli ovim očima koje nam Bog daje. Eh, kad bismo se samo mogli vratiti u vremena kad je nauka bila jednostavnija! Zar ne bi super bilo da opet zaronimo u šesnaesti vek? Možda bi, a možda i ne bi, a? Pitajte Galileja.

Galilej je, tako stoji u njegovim zapisima, napravio ogroman broj teleskopa. Oprobavao ih je, kaže, "sto hiljada puta na sto hiljada zvezda i drugih objekata". Imao je veliko poverenje u teleskop. Evo meni jedne slike u mislima. Stoji Galilej, a oko njega njegovi postdiplomci, svi. On teleskopom osmatra, kroz prozor, i opisuje šta vidi, a svi zapisuju žurno. "Vidim jedno drvo. Njegova grana je savijena na takav i takav način. Iz te grane jedan veliki list strši u tom i tom pravcu." I kad im dovoljno ispriča, oni svi pojašu konje ili se ukrcaju u neka kola (autobus?) i brzo preko polja, da provere; kad, tamo, stvarno je tako kao u beleškama. Ovo se zove 'kalibracija instrumenta'. To uradiš, stvarno, deset hiljada puta. Međutim, jedan od onih koji kritikuju Galileja kaže: "Dobro, dok teleskopom gledamo stvari na Zemlji, stvarno odlično radi. Imam ja poverenja u teleskop, ne laže nas on, pod tim uslovom, iako je teleskop stvar koju je neko ubacio između bogomdanog oka i bogomdanog predmeta posmatranja. Ali kad pogledaš nebo, vidiš jednu zvezdu, onda pogledaš tu istu zvezdu kroz teleskop i vidiš dve zvezde - e, to ne može. To je već ludilo!"

Dobro, nije to tačan navod nečijih reči. Ali jedan od kritičara rekao je, u suštini, da ne može biti tačna Galilejeva tvrdnja da Jupiter ima četiri meseca. Pošto teleskop omogućava Galileju da vidi više nego što se može golim okom videti, znači - teleskop laže. Jedan profesor matematike takođe je odbacio Galilejeve tvrdnje, rekavši da bi i on mogao da vidi četiri meseca oko Jupitera kad bi imao dovoljno vremena da ih "ugradi u neka stakla".

Ko god se služi ikakvim instrumentom, naiđe na ovaj problem. Da li instrument 'proizvodi' rezultate? Oni koji su tako kritikovali Galileja izgledaju nam danas kao nerazumnici; ali šta ako su samo bili konzervativni naučnici? Bilo je, nema sumnje, i jednog i drugog. Godine 1600. ljudi su verovali da čovečje oko ima aktivnu ulogu u gledanju; da nam je očnu jabučicu dao Bog, i da ona tumači vidljivi svet i javlja nam o tome. Danas znamo da je oko samo jedno sočivo iza koga je postavljen skup receptora koji primaju informacije i prenose ih dalje, u naš mozak, i to u takozvani vizuelni korteks; mi tek tamo, u korteksu, stvarno 'vidimo'. Oko je uistinu samo jedan posrednik između predmeta i mozga. I teleskop je to isto. Nosiš li ti naočare? Ako nosiš, eto, već preinačuješ nešto. Zapravo, među pobožnim filozofima u šesnaestom veku u Evropi smatralo se da je nošenje naočara maltene svetogrđe, iako su Evropljanima naočare bile poznate već tri stotine godina pre toga. Jedan veoma religiozan čovek, Johan Kepler (Johannes Kepler), ipak se odlučio da nosi naočare, da bi bolje video; a to mu je bio

dobar potez, što znamo na osnovu činjenice da je posle postao najslavniji astronom svog vremena.

Hajde da prihvatimo da dobro kalibrisan instrument može dati približno tačan izveštaj o stvarnosti. Možda ne lošiji od onog izveštaja koji se na kraju stvori u konačnom instrumentu, a to je naš mozak. Pa čak i mozak mora ponekad da se kalibrira, čak i u njemu moraju postojati sigurnosne mere protiv grešaka i izobličenja. Šta da vam kažem - svi znate da vam se može desiti, čak i ako imate savršeno oštar vid, da posle nekoliko čaša vina odjednom vidite oko sebe dvostruko veći broj prijatelja.

### **KARL SEGAN IZ 1600. GODINE**

Galilej je bio jedan od predvodnika pokreta za prihvatanje instrumenata u nauci. Time je dao ogroman doprinos razvoju nauke i razvoju svakovrsnog vršenja opita. Kakav je čovek bio taj Galilej? Stičemo utisak da je bio duboki mislilac istančanog uma, sposoban da intuitivno skoči do hipoteza na kojima mu može pozavideti svaki fizičar danas, ali, istovremeno, toliko obdaren energijom i tehničkim veštinama da je umeo lično i svojeručno da glača sočiva i pravi mnoge instrumente, uključujući teleskope, višestruki mikroskop i časovnik sa klatnom. U politici, kretao se od dremljivog konzervatizma do hrabrih, najoštrijih napada na protivnike. Sigurno je to bila prava dinamo-mašina od čoveka, stalno u nekom poslu; ostavio je za sobom brda prepiske i veličanstvene štampane knjige pune naučnih radova. Bio je i veliki popularizator, držao je javna predavanja gomilama slušalaca posle supernove iz 1604. godine; pisao je lucidnim, vulgarizovanim latinskim jezikom. Niko mu nije ni blizu u konkurenciji za Karla Segana onih dana. Fakulteta spremnih da mu zajemče doživotno bezbedno zaposlenje bilo je, tada, vrlo mali broj; većina ipak nije bila voljna da mu to ponudi. Toliko je žestok bio njegov stil izražavanja, toliko oštra njegova kritika... bar dok nije dospelo pred sud i bio osuđen.

Da li je Galilej bio kompletan fizičar? Nema potpunijeg u istoriji, ako uzmete u obzir kako je veličanstveno vršio opite i teoretisao. Imao je i nekih nedostataka, ali uglavnom kao teoretičar. Takva kombinacija sposobnosti bila je prilično česta u osamnaestom veku, i u devetnaestom, ali u današnjem dobu specijalizacije i uskih usmeravanja retka je. U sedamnaestom stoleću, veliki deo onoga što se tada moglo nazvati teorija toliko je blisko podržavao opite da se od njih teško mogao i razdvojiti. Uskoro ćemo videti kakav je veliki dobitak kad posle velikog eksperimentatora dođe veliki teoretičar. Zapravo, jedan takav sled već se dogodio i pre Galilejevog vremena, a ishod je bio - prekretnica u istoriji nauke.

### **ČOVEK BEZ NOSA**

Dozvolite mi da se opet malo vratim u prošlost, jer nijedna knjiga o instrumentima i mislima, o opitu i teoriji, ne može biti potpuna bez dva imena koja idu neodvojivo zajedno kao Marks (Marx) i Engels (Engels), Emerson (Emerson) i Toro (Thoreau), ili Zigfrid (Siegfried) i Roj (Roy). Govorim o Braheu (Tycho Brahe) i Kepleru. Oni su bili strogo astronomi, ne fizičari; pa ipak, zaslužuju kratku digresiju.

Tiho Brahe bio je jedan od bizarnijih tipova u istoriji nauke. Danski plemić, rođen 1546, pokazao se u astronomskom merenju kao majstor nad majstorima. Za razliku od atomskih fizičara, koji gledaju dole, on je gledao gore, u nebesa, i to preciznije nego iko pre njega. Brahe je načinio svakojake instrumente za merenje položaja zvezda, planeta, kometa, Meseca. Za samo dve decenije promašio je otkriće teleskopa; pa, pošto teleskopa još nije bilo, Brahe je napravio razne druge sprave za gledanje - azimutne polukrugove, ptolemejske lenjire, bronzane sekstante, azimutne kvadrante, paralaksne lenjire - i sve su to on i njegovi pomoćnici koristili gledajući u nebo golim okom, da bi 'zakucali' koordinate zvezda i drugih nebeskih tela. Većina tih Braheovih varijacija na temu današnjeg sekstanta sastojala se od dve ukrštene poluge i lučnih pločica između njih. Sve je to bilo metalno. Astronomi su nišani kvadrantima kao puškama: podigneš

kvadrant i gledaš duž ravne metalne šipke dok se ne poklope nišan, mušica na udaljenom kraju šipke i nebesko telo koje posmatraš. Lučne pločice služile su kao one na đaćkom šestaru koji ujedno meri lučni ugao; nanišaniš drugom polugom na neku određenu tačku na nebu i ustanoviš ugao između jedne linije gledanja i druge linije gledanja.

Nije bilo ničeg naročito novog u osnovnoj zamisli Braheovih instrumenata, ali je on postao svetski prvak u njihovom usavršavanju. Vršio je opite raznim materijalima. Pronalazio je dosetljive načine da te skalamerije načini tako da se mogu lako rotirati oko uspravne i oko vodoravne ose, ali da se, takođe, mogu lako blokirati ako je potrebno, da bi tokom mnogih uzastopnih noći ostala ista nanišanjenost u odnosu na koju bi se, onda, primetilo koliko se neko nebesko telo pomaklo. Ali, pre svega, Braheovi merni instrumenti bili su veliki. Kao što ćemo videti kad pređemo na moderna vremena, veće ne znači uvek - ali najčešće ipak znači - i bolje. Tihov najslavniji instrument bio je zidni kvadrant, šest metara u prečniku! Četrdeset stameno građenih muškaraca moralo se rvati sa tom spravom da bi je postavili na odgovarajuće mesto. Bio je to, za ona vremena, pravi pravcijati superkolajder. Na metalnim pločama bili su iscrtani ugaoni stepeni i bili su tako ogromni da je Brahe uspeo da izdela svaki stepen na šezdeset podeoka; a u svakom tako dobijenom minutu imao je urezanih još po šest crtica, koji su označavali po deset ugaonih sekundi! To znači da je moguću pogrešku u merenju smanjio na debljinu šivaće igle koju držiš sasvim ispruženom rukom, najdalje od sebe što možeš. A nišanjenje ipak - golim okom! Samo da shvatite koliki je bio Braheov ego, evo i ovog podatka: u sredinu lučne ploče bio je ugrađen portret Tihoa Brahea, u prirodnoj veličini.

Mogli biste pomisliti da čovek koji pokazuje toliku osmatračku pedantnost mora biti stidljivko, povučen od društva i od žena. Tih Brahe je bio sve, samo to ne. Njegova najneobičnija crta bio je njegov nos - naime, njegov nedostatak nosa. Kao student, momak od dvadeset godina, Brahe se jedne noći žestoko raspravljao, pa i posvađao sa jednim drugim studentom, tipom po imenu Manderup Parsbjerg (Manderup Parsbjerg), oko nekog matematičkog pitanja. Bilo je to na nekoj proslavi, u kući jednog profesora. Svađa dvojice studenata postala je tako žestoka da su ljudi morali da ih razdvajaju da se ne potuku. (Dobro, možda jeste šonja onaj ko se tuče zbog matematike umesto zbog devojke.) Nedelju dana kasnije Brahe i njegov suparnik susreli su se opet, na proslavi Božića, popili su malo više, a onda krenuli opet u istu matematičku raspravu. Ovog puta niko nije uspeo da ih ohladi. Povukli su se na jedno mračno mesto pored groblja i potegli mačeve jedan na drugog. Parsbjerg je vrlo brzo okončao ovaj dvoboj tako što je jednim od prvih zamaha odsekao dobar deo Braheovog nosa.

Ovo sa nosom nije dalo Braheu mira sve do kraja života. Preduzeo je kozmetičku hirurgiju, to znamo. Ali kakvu? O tome postoje dve priče. Jedna, najverovatnije lažna, kaže da je naručio čitav niz veštačkih noseva, od različitih materijala, da ih nosi u raznim prilikama. Druga priča, koju prihvata većina istoričara, jednako je dobra. Po toj verziji, Brahe je naručio da mu se napravi samo jedan nos, ali od srebra i zlata, izvajan, ali i vešto obojen da liči na pravi. Navodno je nosio uza se i kutijicu lepka, da pričvrsti nos ako počne da se klima. Mnogi su mu se podrugivali zbog tog nosa. Jedan protivnik tvrdio je da Brahe gleda i zvezde kroz nos, čiji mu vrh služi kao nišan.

Brahe je imao te teškoće, ali i jednu prednost koju mnogi astronomi danas nemaju - bio je po rođenju aristokrata. Bio je i dobar prijatelj sa kraljem Frederikom Drugim; kad se proslavio osmatranjem supernove u sazvežđu Kasiopeje, kralj mu je dao na poklon ostrvo Hven da mu ubuduće bude opservatorija. Time je Brahe postao i feudalni gospodar nad tamošnjim stanovništvom, koje mu je moralo plaćati kiriju, a dobijao je i dodatna 'budžetska sredstva' od kralja. Tako je Tih Brahe postao prvi u istoriji sveta 'direktor laboratorije'. A kakav je to direktor bio - direktorčina! Sa toliko para od narodnih kirija, i sa novcem iz kraljevske blagajne, i sa svojim sopstvenim bogatstvom, živeo je stvarno kraljevski. Jedino nije imao mogućnost da uživa u pregovorima sa budžetskim činovnicima u današnjoj Americi.

Površina ostrva iznosila je oko osam stotina hektara. Tih osam stotina hektara postadoše raj za astronomiju. Bile su tu radionice u kojima su majstori izrađivali instrumente, pa je i jedna vetrenjača tu stajala, i fabričica hartije, i pedeset i nekoliko ribnjaka. Za samog sebe Brahe je izgradio veličanstvenu kuću-opservatoriju na najvišoj

tački ostrva. Kući dade naziv Uraniborg, što znači 'Nebeski zamak', i okruži je zidom u obliku kvadrata. Unutar kvadrata našlo se mesta za štampariju, stanove za poslugu i za štenare za Braheove pse čuvere, ali i za vrtove sa cvećem, leje sa odabranim travama i za oko tri stotine stabala raznog drveća.

Brahe je na kraju morao otići odatle, pod okolnostima ne baš prijatnim. Njegov dobročinitelj, kralj Frederik, umro je od preteranog pijenja 'Karlsberga' ili neke druge medovine koja je u Danskoj bila popularna oko godine 1600. Vlasništvo nad feudom Hven vratilo se tog trenutka kruni, a kruna je dospela na glavu jednog novog kralja koji je to ostrvo dao u vlasništvo jednoj dami po imenu Karen Andersdatter (Karen Andersdatter) sa kojom se upoznao na nekoj svadbi i koja mu je postala ljubavnica. Ovo neka bude pouka svim direktorima laboratorija, da znaju gde im je mesto među moćnicima ovog sveta i kako lako mogu da budu odbačeni. Na sreću, Brahe se dočekao na noge; izbačen, pokupio je svoje podatke i instrumente i preselio se u jedan dvorac blizu Praga, gde su ga rado prihvatili i pružili mu priliku da nastavi rad.

Pravilnost Vaseljene bila je ono što je Brahea privuklo nauci. Kao dečak od četrnaest godina bio je očaran potpunim pomračenjem Sunca koje je bilo predskazano za 21. avgust 1560. Kako mogu ljudi da shvate kretanje zvezda i planeta tako tačno da predskažu njihove položaje mnogo godina unapred? Brahe je ostavio ogromno nasleđe: katalog sa položajima tačno hiljadu zvezda nekretnica, kojim je nadmašio Ptolemejev klasični katalog i uništio mnoge stare teorije.

Velika vrlina Braheovog posmatračkog rada sastojala se u tome što je on pomno pazio na moguće greške u svojim merenjima. Insistirao je, kao niko u godini 1580. i niko pre toga, na tome da merenje mora biti ponovljeno mnogo puta, i da uz svako merenje mora biti pribeležena i procena o tome kolika je verovatna njegova tačnost. Brahe je otišao daleko ispred svog vremena time što je uporno uz podatke objavljivao i koliko možemo u te podatke imati poverenja.

Kao posmatrač i merilac, Brahe je bio nenadmašan. Kao teoretičar, međutim, pokazao se mnogo slabiji. Rođen je tri godine posle smrti Nikole Kopernika, ali kopernikanski sistem po kome se Zemlja okreće oko Sunca nikad nije sasvim prihvatio. Više je verovao u Ptolemejev sistem, formulisan mnogo vekova ranije, po kome se sve okreće oko Zemlje, iako se sopstvenim posmatranjima uverio da on ne deluje. Školovan kao aristotelovac, nikad nije mogao privoleti sebe da poveruje u to da se Zemlja okreće oko svoje ose i da nije središte Vaseljene. Razmišljao je ovako: kad bi bilo tačno da se Zemlja okreće oko svoje ose, onda bismo mogli da ispalimo top u smeru tog okretanja i đule bi dobacilo dalje nego ako ispalimo isti taj top u smeru suprotnom od okretanja Zemlje; a đulad ne dobacuju tako. Zato se Brahe zadovoljio kompromisom: da se sve planete okreću oko Sunca, ali Sunce, ipak, oko Zemlje.

## **MISTIK POSTIŽE USPEH**

Tokom svoje karijere Brahe je imao mnoge izvrsne pomoćnike. Najblistaviji od svih bio je jedan čudan čovek, mistik, matematičar i astronom po imenu Johan Kepler. Po rođenju Nemač, po veri odani luteranac, Kepler je, zapravo, želeo da postane sveštenik, ali mu je matematika ponudila način da zaradi za život. Pošao je na ispite za prijem u sveštenu zvanje, ali je na njima pao; gotovo slučajno je počeo da proučava astronomiju i kao drugu oblast, kojoj se vrlo snažno posvetio, astrologiju. Pa ipak, sudbina je pripremila za njega slavu: da postane onaj teoretičar koji će uočiti jednostavne, duboke istine u Braheovoj planini podataka pribavljenih osmatranjem.

Kepler je u vrlo nesrećno vreme bio protestant: upravo tada je protivreformacija kosila sve ispred sebe po Evropi. Kepler je bio čovek kratkovid, krhke telesne građe, neurotičan; nije imao nimalo samouverenosti jednog Brahea ili jednog Galileja. Cela porodica Kepler bila je malo čudna. Keplerov tata bio je vojnik-plaćenik, njegovu mamu su terali na sud pod optužbom da je veštica, a Johan je trošio dobar deo svog vremena na astrologiju. Srećom, u tome je imao uspeha, pa je stizao da plati neke račune. Godine 1595. sačinio je kalendar za grad Grac i predskazao žestoke mrazeve, seljačke pobune i turske upade - i sve to se stvarno dogodilo. Pošteno je prema Kepleru da kažemo da nije

samo on zarađivao 'na crno' kao astrolog. Galilej je sastavljao horoskope za vladarsku porodicu Mediči, a i Brahe se malo pozabavio astrološkom veštinom, ali neuspješno: na osnovu pomračenja Meseca 28. oktobra 1566. predskazao je da će umreti sultan Sulejman Veličanstveni. A sultan je, u to vreme, bio već odavno mrtav.

Prema ovom svom pomoćniku Brahe se ponašao prilično loše - kao prema kakvom postdiplomcu, što je Kepler i bio, a ne kao prema sebi ravnom, što je Kepler svakako zasluživao. Osetljivi Kepler ljutito je reagovao na uvrede, pa su se njih dvojica mnogo puta posvađala i jednako mnogo puta pomirila; a Brahe je na kraju ipak prihvatio Keplerovu blistavost.

Oktobra 1601, Brahe je otišao na neku večerinku i, kao što je bio sklon, preterao je u piću. Tada je važno vrlo strogo pravilo učtivosti po kome niko ne sme ustati od stola dok obrok traje. Kad je Brahe konačno pojurio navrat-nanos u kupatilo, bilo je već prekasno. 'Nešto značajno' je prslo, negde u njemu. Jedanaest dana kasnije bio je mrtav. Pošto je već pre toga naimenovao Keplera za svog glavnog pomoćnika, na smrtnoj postelji dao mu je u nasleđe celokupnu masu podataka prikupljenu tokom izvanredne, odlično finansirane karijere i preklinjao ga da upotrebi svoj analitički um i stvori jednu veliku sintezu koja će unaprediti čovekovo razumevanje neba. Naravno, dodao je, to Kepler treba da uradi u okviru tihobraheovske hipoteze da je u središtu Vaseljene svakako Zemlja.

Kepler se saglasio sa ovom željom smrtnika, ali je nesumnjivo držao ukrštena dva prsta dok je to govorio, jer već tada je smatrao da je Braheov sistem teška glupost. Ali Braheovi podaci! Podaci kojima nijedna druga zbirka astronomskih podataka na svetu nije bila ravna! Kepler se zadubio u njih, zurio je uporno, tražeći obrasce u kretanjima planeta. Odbacio je, u početku, i ptolemejski i tihobraheovski sistem Vaseljene zato što su bili toliko trapavi. Ipak, morao je i on od nečeg da krene. Zato je počeo oslanjajući se na sistem Nikole Kopernika koji je, polazeći od pretpostavke da se nebeska tela kreću oko Sunca orbitama tačno kružnim, bio najelegantnija od svih ponuđenih zamisli.

Mistik u Kepleru rado je prihvatio zamisao da u središtu svega stoji Sunce, koje ne samo što obasjava sve planete, nego daje i jednu silu (tada se nije govorilo 'sila' nego 'pobuda') pomoću koje vlada kretanjima planeta. Kepleru nije bilo baš najjasnije kako Sunce uspeva ovo da postigne; nagađao je da tu mora biti da postoji nešto kao magnetizam. Ali, i tako, popločao je put kojim će Njutn krenuti. Kepler je bio jedan od prvih koji su tvrdili da je potrebno da razmišljamo o nekoj sili ako želimo da razmrsimo šta se to, zapravo, dešava u Sunčevom sistemu.

Podjednako je bilo važno i to što je Kepler ustanovio da se kopernikanski sistem ne podudara baš savršeno sa Braheovim podacima. Zlovoljni matori Danac dobro je naučio Keplera kako se posao nauke, induktivnom metodom, radi: prvo posmatranjem ukopaš stamene temelje činjenica, a tek posle toga uzdižeš se sa njih ka uzrocima stvari. Nasuprot svome misticizmu i svojoj opsednutosti geometrijskim oblicima (koji su mu ulivali strahopoštovanje), Kepler je ostao veran činjenicama, podacima. Izronio je iz svojih proučavanja Braheove zaostavštine - naročito podataka o Marsu - donoseći tri zakona o kretanju planeta. Ta tri zakona i danas, evo skoro četiri stotina godina kasnije, služe kao osnova moderne planetne astronomije. Neću ovde navesti ta tri zakona posebno, samo ću reći da je već prvi od njih uništio divnu kopernikansku predstavu o kružnim orbitama, koja je, zapravo, postojala nedirnuta i neosporena još od Platonovih dana. Kepler je dokazao da se planete kreću oko Sunca putanjama koje su elipse sa Suncem u jednoj žiži. Ovaj ekscentrični luteranac spasao je kopernikanstvo, izvukao ga iz zapetljanih grčkih 'epicikla'; a to je postigao na taj način što je poštovao Braheove podatke do kraja, do svakog ugaonog stepena i minuta, tačno.

Elipse! Čista matematika! Ili su one, ipak, čista priroda? Ako se planete zaista, kao što je Johan Kepler tvrdio, kreću po savršenim elipsama, i ako je uvek u jednoj žiži svake takve elipse Sunce, onda priroda svakako voli matematiku. Nešto ili neko - možda Bog - gleda dole na Zemlju i govori: "Ja volim matematičke oblike." Lako je dokazati da priroda voli matematičke oblike. Uzmeš kamen i baciš ga. On poleti kroz vazduh putanjom koja je prilično dobra parabola. Kad ne bi bilo vazduha, bila bi to savršena parabola. Ne samo što je matematičar; Bog je, takođe, dobrodušan. (Ili dobrodušna, ako je Ona.) Prikriva izvesne komplikacije od nas, sve dok naš um ne postane dovoljno zreo da ih shvati.

Naime, mi danas znamo da orbite planeta nisu baš savršene elipse, nego se malčice izobličuju zato što planete vuku jedna drugu; ali ta izobličenja bila su premalena da bi ih Braheovi instrumenti mogli opaziti.

Keplerova genijalnost bila je, u knjigama koje je napisao, često zasjenjena velikim količinama raznih suvišnih stvari i koještarija. Verovao je da su komete glasnici zle sudbe; da je Vaseljena podeljena u tri oblasti, navodno u skladu sa hrišćanskim učenjem o Svetom trojstvu; čak je verovao da su plime i oseke disanje Zemlje, a Zemlju je upoređivao sa ogromnom živom životinjom. (Ta zamisao o Zemlji kao jednom organizmu vaskrsnula je u naše doba kroz hipotezu zvanu Gaia.)

Pa ipak, Kepler je bio čovek veličanstvenog uma. Godine 1931. kruti i zakopčani ser Artur Eddington (Arthur Eddington), jedan od najeminentnijih fizičara svoga doba, izjavio je da je Johan Kepler "preteča modernog teorijskog fizičara". Eddington je hvalio Keplera zbog toga što je Kepler primenjivao jedan pogled na svet sličan shvatanjima teoretičara u tim kvantnim vremenima. Kepler, po tvrdnji Eddingtona, nije ni pokušao da nađe neki konkretan mehanizam kojim bi objasnio Sunčev sistem, ali se "upravljao osećanjem za matematički oblik, estetskim nagonom za prikladnost stvari".

### **PAPA GALILEJU: CRKNI**

Godine 1597, mnogo pre nego što je razrešio problematične pojedinosti, Kepler je pisao Galileju i tražio od njega da javno podrži kopernikanski sistem. Iskazao je to sa religijskom strastvenošću tipičnom za njega; zahtevao je da Galilej "veruje i stupi napred". Galilej je odbio da iskorači iz ptolemejskog ormana: dokaz, dokaz mu je bio potreban. A dokaz je i došao, posredstvom jednog instrumenta, teleskopa.

Noći od 4. do 15. januara 1610. godine moraju ostati zabeležene kao izuzetno značajne, među najznačajnijim noćima u istoriji astronomije. Tada je, pomoću novog i poboljšanog teleskopa koji je sam načinio, Galilej video, izmerio i pratio četiri sitne 'zvezde' koje su se kretale blizu planete Jupiter. Bio je prisiljen da zaključi da se ta četiri tela kreću na orbitama oko Jupitera. Ovaj zaključak preobratio je Galileja u kopernikanstvo. Jer, ako neka tela orbitiraju oko Jupitera, onda tvrdnja da sve planete i sve zvezde orbitiraju oko Zemlje nije tačna. Kao i većina poznih konvertita - onih koji se kasno preobrate u neku drugu veru, ili naučno uverenje, ili političku stranku - Galilej je ispoljio izuzetnu, doslednu žestinu u zastupanju Kopernikove astronomije. Istorija pripisuje svu zaslugu Galileju, ali mi moramo odati priznanje i teleskopu, koji je u Galilejevim sposobnim rukama otvorio nebo.

Duga i složena priča o Galilejevom sukobu sa tadašnjim vlastima mnogo puta je ispričana. Crkva ga je, zbog njegovih astronomskih uverenja, osudila na doživotnu robiju. (Kazna je kasnije pretvorena u doživotni kućni pritvor.) Tek 1822. godine proglasio je tadašnji papa da Sunce ipak može biti u središtu Sunčevog sistema. A tek 1985. Vatikan je priznao da je Galilej bio veliki astronom i da mu je katolička crkva učinila nepravdu.

### **SUNČANI SUNĐER**

Galilej je počinio i jednu drugu jeres, koja je manje poznata, ali je bliža srcu naše tajne nego što su to orbite Marsa i Jupitera. Kad je krenuo na svoj prvi naučni pohod u Rim da prijavi svetu nauke kakva je sve otkrića postigao radom u oblasti fizike i optike, poneo je i jedno sanduče sa komadićima kamena. Tu vrstu kamena pronašli su alhemičari u Bolonji. Takav kamen svetli u mraku. Danas znamo da je to mineral, da se zove barijum-sulfid i da je luminiscentan. Ali leta gospodnjeg 1611. alhemičari su ga nazivali imenom daleko poetičnijim: sunčani sunđer.

Galilej donese komade sunčanog sunđera u Rim, da mu se nađu pri ruci dok se bude bavio svojim najdražim hobijem - naime, dok nervira, do besvesti, svoje kolege aristotelovce. Oni sede u mraku i zure u barijum-sulfid koji tiho sjaji, kao da se žari... i sasvim dobro znaju šta njihov buntovni kolega time dokazuje. A on dokazuje da je svetlost jedna stvar. Predmet. On, čovek, lepo stavi taj kamen na Sunce, unese ga zatim

u mrak, a sa kamenom unese i Sunčev sjaj. Znači, netačna je aristotelovska zamisao da je svetlost naprosto jedan kvalitet obasjanog medijuma, da je svetlost bestelesna. Galilej je razdvojio svetlost od onog osvetljenog. Pokazao je da možeš svetlost da uzmeš i nosiš. Za katolika aristotelovca, to je kao da neko kaže da može uzeti svetost Majke Božije i uneti je u neku magaricu ili u stenu. A od čega se sastoji svetlost? Nju sačinjavaju nevidljiva telašca, govorio je Galilej. Čestice! U svetlosti postoji, dakle, neka mehanička akcija. Čestice putuju, udaraju u predmete, odbijaju se od predmeta, prolaze kroz neke predmete. Galileja je ovo saznanje da je svetlost korpuskularne prirode odvelo do zamisli o nedeljivim atomima. Nije mu bilo mnogo jasno na koji način sunčani sunder djeluje, ali možda djeluje tako što ova posebna vrsta kamena privlači čestice svetlosti na isti način na koji magnet privlači gvozdene opiljke. Doduše, Galilej ni tu teoriju nije bukvalno prihvatio. U svakom slučaju, ovakve zamisli još više su pogoršale Galilejev politički položaj viđen sa stanovišta katoličke pravovernosti.

Nama se čini da je Galilejevo istorijsko nasleđe nerazdvojno vezano za katoličku crkvu i za religiju uopšte, ali on sebe ne bi opisao kao profesionalnog jeretika niti kao sveca koji je nevin optužen. Smatrao bi da je fizičar, a to je i bio; sa našeg stanovišta, veliki fizičar, sasvim nezavisno od njegovog ratovanja za kopernikanstvo. Raskrilo je dveri znanja u mnogim oblastima. Stapao je opite i matematičko razmišljanje u jednu celinu. Kad se neko telo kreće, govorio je Galilej, važno je izmeriti to kretanje i dobijeno saznanje izraziti matematičkom jednačinom. Večito je pitao: "Kako se stvari kreću? Kako? Kako?" Nije pitao "Zašto? Zašto ova kugla pada?" Bio je svestan da samo opisuje kretanja i da ne čini ništa više od toga; ali i to je, u onim vremenima, bio i te kako težak zadatak. Demokrit bi mogao povodom toga reći, u šali, da je Galilej gledao da ostavi nešto posla i Njutnu.

## **GOSPODAR KOVNICE**

Najmilostiviji gospodine,

ubistvo će biti izvršeno, a ja ću biti žrtva, i mada Vi, ser, možda mislite da to nije tako, istina je ta. Biću ubijen, najgorim od svih usmrćenja. A to je, pred licem Pravde, osim ako budem izbačen Vašim milostivim rukama.

Tako je pisao osuđeni falsifikator Vilijem Šaloner - najživopisniji i najdovrtljiviji kriminalac onog doba - godine 1698, onom istom državnom službeniku koji je konačno uspeo da ga uhvati, izvede pred sud i postigne da falsifikator bude i osuđen. Šaloner je doveo u opasnost čvrstinu engleskog novca, koji je tada bio uglavnom u obliku zlatnika i srebrnjaka.

Milostivi gospodin kome je taj apel upućen bio je niko drugi do Isak Njutn, nadzornik (a uskoro i upravnik) državne kovnice novca. Njutn je radio svoj posao, koji se sastojao u tome da nadgleda Kovnicu, da prati ogroman rad na topljenju starih i izlivanju novih novčića i da štiti valutu od raznih lopuža, falsifikatora i 'strugatora' - onih koji sa novčića sastružu izvesnu količinu dragocenog metala, a onda 'uvala' nekome takav novčić kao ispravan. Nešto kao guverner narodne banke; mora da se umeša u visoku politiku i u parlamentarne rasprave, ali mora i da goni, po službenoj dužnosti, kojekakve mučkaroške, neplatiše i nevratiše, perače nezakonito stečenog novca i raznorazni drugi šljam koji zbog ličnog šćara pokušava da potkopa novac jedne kraljevine. Kruna je dala baš ovaj posao Njutnu, najslavnijem naučniku tih dana, kao uhleblje, da ima od čega da živi dok radi na značajnijim stvarima. Ali Njutn je ovaj posao shvatio ozbiljno. Izmislio je tehniku urezivanja pravilnih zupčastih 'recki' u ivicu novčića, da bi potukao strugatore. Lično je prisustvovao vešanju falsifikatora. Ovo radno mesto bilo je vrlo daleko od uzvišenog, vedrog spokojstva Njutnovog dotadašnjeg života, kad je njegova opsednutost matematikom i prirodnim naukama dovela do možda najdubljeg napretka u celokupnoj istoriji prirodne filozofije, do napretka koji neće biti jasno nadmašen možda sve do pojave teorije relativnosti početkom dvadesetog veka.

Jedan od hirova hronologije jeste taj što se Njutn rodio baš one godine (1642) kad je Galilej umro. Ne možeš govoriti o fizici, a da ne govoriš o Njutnu. Bio je to naučnik



značaja koji prevazilazi granice do tada poznate. Uticaj njegovih postignuća na ljudsku vrstu može se porediti sa uticajem Mojsija, Isusa, Muhameda i Gandija, kao i sa uticajem Aleksandra Velikog, Napoleona i drugih takvih. Njutnov opšti zakon gravitacije i metodologija koju je on stvorio zauzimaju prvih pet-šest poglavlja u svakom udžbeniku fizike; razumevanje tih stvari od bitnog je značaja za svakoga ko misli da se bavi naučnom ili inženjerskom karijerom. Za Njutna se tvrdi da je bio skroman, zbog one njegove slavne rečenice "Video sam više nego većina ljudi zato što sam stajao na ramenima divova", za koju većina ljudi misli da se odnosi na Kopernika, Brahea, Keplera, Galileja i slične. Ali postoji drugo objašnjenje te rečenice; možda je Njutn naprosto zavitlavao svog glavnog naučnog takmaca, čoveka koji mu nije dao mira, a koji se zvao Robert Huk (Robert Hooke). Taj Huk, čovek vrlo niskog rasta, tvrdio je, ne sasvim bez osnova, da je prvi otkrio gravitaciju.

Našao sam više od dvadeset ozbiljnih biografija ser Isaka Njutna. A literatura koja proučava i objašnjava, proširuje raspravu, komentariše Njutnov život i delo - ogromna je. Godine 1980. objavio je Ričard Vestfol (Richard Westfall) jednu biografiju Njutna u kojoj navodi i bibliografiju knjiga kojima se poslužio... deset punih stranica bibliografije. Vestfolovo divljenje prema temi koju obrađuje bezgranično je:

Imao sam povlasticu da u raznim prilikama upoznam razne vanserijske i sjajne ljude, ljude za koje priznajem, bez oklevanja, da su intelektualno nadmoćni u odnosu na mene. Ali nikada nisam upoznao nikoga s kim ne bih imao volje da se uporedim, tako da mogu reći da imam bar polovinu njegovih sposobnosti, ili trećinu, ili četvrtinu, u svakom slučaju neki određeni razlomak. Na završetku mojih proučavanja Isaka Njutna moram reći da sa njim upoređivanja nema. On je za mene postao nešto sasvim drugo, jedan od nekolicine vrhunskih genija koji su oblikovali i same kategorije ljudskog intelekta.

Istorija atomizma jeste istorija redukcionizma - napora da se sva zbivanja u prirodi svedu uvek na sve manji i manji broj najosnovnijih zakona i na sve manji i manji broj najosnovnijih predmeta koji su podvrgnuti delovanju tih zakona. Najuspešniji od svih redukcionista bio je Isak Njutn. Tek četvrt milenijuma posle njega, jedan genije koji mu je možda ravan izroniće iz masa homo sapiensa u gradu Ulmu, u Nemačkoj, godine 1879.

## **NEK SILA BUDE SA NAMA**

Da bismo stekli osećanje za način na koji nauka deluje, moramo proučavati Njutna. Pa ipak, njutnovska obuka za studentariju u okviru početnog kursa iz fizike najčešće prikriva stvarni razmah i stvarnu moć njegove sinteze. Njutn je razvio kvantitativan, a ipak sveobuhvatan opis fizičkog sveta, opis koji se podudara sa stvarnim ponašanjem tog sveta. Njegovo legendarno povezivanje jabuke koja pada sa drveta i Meseca koji kruži oko Zemlje ukazuje na zapanjujuću moć njegovog zaključivanja. Način na koji jabuka padne sa grane i način na koji (najpreciznije izmereno) Mesec kruži oko Zemlje obuhvaćeni su jednom zamišlju, sveobuhvatnom. Njutn je pisao: "Kamo sreće kad bismo i ostale prirodne pojave mogli izvesti istim nivoom zaključivanja iz mehaničkih načela; sklon sam, iz mnogih razloga, da verujem da možda one sve zavise od izvesnih sila."

Do Njutnovog vremena, nauka je već doznala kako se predmeti kreću: kojom putanjom leti hitnut kamen, kakvom pravilnošću se njiše klatno, kako tela idu niz strmu ravan, kako padaju različiti predmeti, zašto su neke strukture stabilne, zašto kap vode ima taj oblik koji ima. Njutn je samo organizovao te pojave, i mnoge druge, u jedan sistem. Zaključio je da svaku promenu kretanja izaziva neka sila i da je reagovanje jednog tela na silu srazmerno jednoj osobini, takozvanoj 'masi' tog tela. Svakom đaku je poznato da je Njutn formulisao tri zakona kretanja. Njegov prvi zakon otprilike je isto ono Galilejevo učenje da nije potrebna nikakva sila da telo u postojećem kretanju ostane u tom postojećem kretanju, neizmenjenom; Njutn je to samo rekao nešto drugačijim rečima. Ovde nas zanima drugi Njutnov zakon. U središtu tog zakona je sila, ali sila

nerazdvojno spletena sa jednom od velikih tajni u našoj priči, a to je masa. Ovaj zakon određuje kako sila menja kretanje tela.

Pokolenja udžbenika borila su se sa definicijama i logičkim nedoslednostima Njutnovog drugog zakona, koji se piše ovako:  $F = ma$ . To se, znate, čita "ef jednako em puta a", a znači "sila je jednaka proizvodu mase i ubrzanja". Ovom jednačinom Njutt nije definisao ni silu, a ni masu, tako da do danas ostaje nejasno da li je ovo definicija ili je zakon fizike. Svejedno, kad isplivamo kroz te poteškoće, u rukama nam ostaje najkorisniji zakon fizike ikada pronađen. Ta jednačina je tako jednostavna, a ima tako strahovitu moć; izgleda bezazleno, ali ume da bude teška za rešavanje. Ajoj, bežite ljudi! Matematika! Ne, ne, nemojte bežati, nema brige, mi ćemo ovde samo razgovarati o matematici, nećemo stvarno raditi matematiku. Osim toga, to  $F = ma$  jeste tako zgodna formula, ključić koji nam omogućuje da otključamo celu mehaničku Vaseljenu, pa, prema tome, imamo ipak priličan razlog da se potrudimo da shvatimo značenje toga. (Ukupno dve Njutnove formule ćemo razmatrati. Prvu i drugu. Ova je prva. Hajde da je označimo ovako: I.)

Šta je a? To je ona ista veličina, ubrzanje, koju je Galilej merio u Pizi i Padovi. Može to biti ubrzanje bilo kog predmeta, recimo kamena ili tega na kraju klatna, ili rakete koja lepo, ali opasno vija kroz nebesa, ili kosmičkog broda 'Apolo'. Ako ne ograničavamo domašaj važenja naše formule, onda a važi i za kretanje planeta, zvezda, ili elektrona. Ubrzanje je onaj tempo kojim se brzina nečega menja. Kad Amerikanci kažu da je jedna pedala u njihovim automobilima akcelerator, to jest ubrzivač, to je odličan naziv. Ako voziš brzinom od 15 kilometara na sat i počneš da ubrzavaš, i posle pet minuta dostigneš 60 kilometara na sat, to ti je bilo neko ubrzanje, kakvo-takvo. Ali ako iz mirovanja dostigneš brzinu od sto kilometara na sat za samo 10 sekundi, onda je tvoj automobil ostvario mnogo veće ubrzanje.

Šta je m? Lako nam je da se izvučemo iz ovoga 'na kvarno'. Samo kažemo: jedna osobina materije. Meri se reagovanjem predmeta na silu. Što je veće m jednog predmeta, to manje će biti a kada sila deluje na taj predmet. Ali za ovu istu osobinu često se kaže da je inercija. Pravi, puni naziv za m glasi, u stvari, 'inerciona masa'. Galilej je prizivao inerciju kad je govorio da telo koje se nalazi u kretanju "ima sklonost da u tom kretanju ostane". Našu malenu, malecku jednačinu svakako možemo iskoristiti da razlikujemo koja masa je kolika. Delujemo jednom istom silom - šta je sila, o tome ćemo pričati kasnije - na veći broj različitih tela; pomoću štoperice i lenjira ustanovimo šta smo, koje ubrzanje, postigli kod kog tela. Dakle, posmatramo i beležimo koliko smo a dobili kod kog tela. E, pa, lepo: tela sa različitim m dobila su, uverićemo se, različito a. Možemo izvesti dugi niz ovakvih opita, upoređujući m-ove raznih tela. Ako nam to dobro ide od ruke, možemo proizvoljno da napravimo jedan predmet koji će od tog dana biti za nas standardno telo. Zatražićemo od majstora da izrade taj predmet izvrsno, od nekog trajnog, otpornog metala, a na njemu da piše '1 kilogram' (to je naša jedinica mase) i spustićemo taj predmet-kilogram u sef u podrumu Biroa za standarde u Americi. Iste takve, jednako izrađene predmete sa natpisom '1 kilogram' poslaćemo na čuvanje u mnogo instituta za standarde, u prestonicama drugih zemalja. (Ovo će lakše ići ako u svetu vlada mir, a ne rat.) Eto, sad imamo sredstvo kojim možemo svakom telu pripisati određenu vrednost iskazanu u jedinicama m. Naprosto kažemo da neko telo ima masu od toliko i toliko kilograma, ili neki razlomak (pola, četvrt...) ili neki drugi delić kilograma.

Dobro, to je bilo o masi, a šta ćemo sa F? Sa silom. Šta je to sila? Njutt je govorio da je sila "navaljivanje jednog tela na drugo", kao i da je ona uzročnik promene kretanja. Dakle, sila je ono zbog čega neko telo izmeni svoje kretanje. Da li se mi to, ovakvim razmišljanjima, malo vrtimo u krug? Verovatno, al' nema veze; pomoću istog ovog zakona možemo da upoređujemo razne sile jednu s drugom, ako ih pustimo da deluju na standardno telo. Sad dolazi zanimljiv deo. Sile nam stavlja na raspolaganje priroda, davateljica svakovrsnog izobilja. Njutt je dao jednačinu. Priroda daje svaku silu. Mi u ovom trenutku znamo za postojanje, u vasceloj prirodi, samo četiri sile. U Njutnovo doba naučnici su tek počinjali da doznaju činjenice o jednoj od te četiri, o gravitaciji. Zbog gravitacije predmeti padaju dole, a klatna se klata; projektili uzleću boreći se protiv gravitacije. Planeta Zemlja vuče ka sebi sve što postoji na njenoj površini i sve što se

nađe u blizini - vuče i vuče, daje silu, koja, vidite, dovodi do ogromne raznovrsnosti svakojakih kretanja i mirovanja na Zemlji.

Možemo mi da upotrebimo naše  $F = ma$  da bismo objasnili strukturu nepokretnih stvari kao što je naša čitateljka koja sedi u fotelji i čita ovu knjigu baš sad. Još poučniji primer jeste naša čitateljka kad stane na kućnu vagu u kupatilu. Planeta Zemlja vuče našu čitateljku nadole, određenom silom. U kućnoj vagi ima ona opruga koja se opire, gura čitateljku nagore, silom jednakom, ali suprotno usmerenom. Zbir tih dvaju sila jednak je nuli. Zbog toga se ne dešava ništa, nema kretanja. (Sasvim je druga situacija bila kad je naša čitateljka izlazila iz kuće da bi tragala za ovom knjigom i kupila je.) Na vagi postoji i ona skala na kojoj se može očitati koliko vaga mora da zapne da bi se oduprla težini čitateljke; drugim rečima, koliko košta borba protiv gravitacije. Vidite da uz crticu stoji oznaka '60', dakle - 60 kilograma. (U nekim nekulturnim i zaostalim zemljama, gde narod još nije naučio sistem metar-kilogram-sekund, to neće biti 60 kilograma nego će biti 132 funte.) "Oj-joj, Bože, Bože, od sutra počinjem dijetu." Dakle, razumeli smo, sila gravitacije vuče čitateljku. A mi kažemo da je to 'težina'. Težina je naprosto mera za to koliko jako Zemlja vuče čitateljku. Njutn je znao da će tvoja težina biti malo, malo drugačija ako se meriš na vrhu visoke planine ili u dnu duboke doline, ali je znao i to da bi na Mesecu bila mnogo drugačija. Ali tvoja masa, ono u tebi što se opire guranju i vučenju, ostaje ista, ne menja se.

Njutn nije znao da pritisak ili vučenje poda, stolice, strune, opruge, vetra, vode jesu u osnovi delovanje električne sile. Ali to mu nije nimalo zasmetalo. Poreklo sile nimalo ne utiče na tačnost njegove slavne jednačine. Pomoću  $F = ma$  on je mogao da proučava kako deluje opruga, kako palica za kriket, kako rade razni mehanizmi, kako nastaje poznati oblik kapljice vode, zašto i sama Zemlja ima taj oblik koji ima. Ako znamo kolika je sila, izračunamo kretanje. Ako je sila jednaka nuli, onda će i promena brzine tela biti jednaka nuli - dakle, telo će nastaviti da se kreće isto kao što se i do tada kretalo, postojanom brzinom. Ako šutneš loptu okomito uvis, ona se diže, diže sve sporije, onda na vrhu svoje putanje zastane, pa počne da pada sve brže i brže. To je zato što sila teže vuče loptu uporno nadole. Međutim, ako baciš loptu ukoso preko igrališta, gle kakav elegantan luk nastaje. Kako da shvatimo tu putanju? Tako što razlažemo kretanje lopte na dva sastojka, i to na njeno kretanje gore, pa dole, i njeno vodoravno kretanje (koje se lako vidi ako lopta baca senku ispod sebe na teren). Na vodoravno kretanje ne utiče nikakva sila; tu sile nema, ako zanemarimo jedan maleni činilac koji zapetljava stvar, otpor vazduha (kao što ga je zanemarivao Galilej). Znači, vodoravno kretanje te lopte jeste kretanje postojanom brzinom. Ali okomito kretanje, rekosmo, menja se, od uzlaznog koje postaje sve sporije i sporije do silaznog koje postaje sve brže. A ukupno, složeno kretanje koje vidimo daje putanju, koja je... parabola! Ajoj! Eto još jednom je Ona pokazala koliko dobro vlada geometrijom.

Pretpostavimo da znamo kolika je masa te lopte, i da možemo da izmerimo ubrzanje koje joj je dato. U tom slučaju, pomoću  $F = ma$  možemo tačno da izračunamo kako će se lopta kretati. Oblik putanje unapred je poznat: biće parabola. Ali parabola ima raznih, ima ih nebrojeno mnoštvo. Ako je to utakmica u bezbolu, ne jako udarena loptica jedva će dobaciti do saigrača; a žestoko čvaknuta poleteće tako daleko da će saigrač morati da trči unazad da bi je uhvatio. U čemu se sastoji razlika između prvog slučaja i drugog slučaja? Za takve promenljive veličine Njutn je govorio da su početni uslovi. E, dobro, koji su početni uslovi kod ove loptice danas? Ako ju je neko hitnuo baš pravo uvis, ona će mu uskoro pasti na glavu. Ako ju je hitnuo sasvim vodoravno, uporedno sa terenom, ona će brzo završiti, ne na njegovoj glavi nego na travi. U svakom slučaju putanja loptice biće određena početnom brzinom i početnim pravcem kretanja.

STANI MALO!!!

Naletismo na duboku filozofiju. Ako imamo određen broj predmeta, i ako znamo sve sile koje na njih deluju, možemo predskazati kakvo će njihovo kretanje biti, sve do... večnosti. Njutnov svet je predvidiv i unapred određen. Hajde, na primer, da pretpostavimo da je sve što postoji na celome svetu sačinjeno od atoma - pretpostavka sa kojom je zaista bizarno nastupiti na devedeset šestoj strani ove knjige. Pretpostavimo

da za svaki od tih atoma, za sve te milijarde i milijarde i milijarde njih, tačno znamo u kakvom je početnom kretanju i kakve sile deluju na njega. Pretpostavimo da neki kosmički kompjuter nad svim kompjuterima može sve te podatke da prihvati i da izračuna budući položaj svakog atoma. Pitamo se gde će koji atom biti u određenom trenutku u budućnosti, recimo kad se posle Elizabete Druge bude krunisao novi engleski monarh? Ma, nema problema, to možemo saznati, tačno izračunato. Jer, sasvim je predvidivo gde će biti sve, gde će biti svaka pojedina stvar, pa i neki mali podskupovi atoma koji se zovu 'draga čitateljka', 'Lion Ledermen', ili 'katolički papa'. Sve predskazivo, sve određeno... pa, tu uopšte i nema nikakvog slobodnog izbora, utisak da ima slobodnu volju stvorio je sebi neki um koji je u tome nalazio neki svoj interes. Njutnovska nauka bila je očigledno deterministička. Ulogu Tvorca filozofi posle Njutna sveli su na to da Tvorac samo navije opruge i pusti mehanizam Vaseljene u pokret. Posle toga Vaseljena savršeno lepo radi i bez ikakvog božanskog upliva. (Malo smirenije, hladnije glave, koje se tim pitanjima bave u devedesetim godinama ovog veka, ne misle da je to baš tako.)

Njutnov uticaj na filozofiju i religiju bio je jednako ogroman kao i na fiziku. A sve je izviralo iz te male, malecke, ali ključne jednačine:

$$F = ma$$

Otkud sad ove strelice iznad F i a? Dodate su ovog puta samo da podsete studenta na to da svaka sila i ubrzanje koje zbog sile nastanu imaju određen pravac delovanja. To su vektori. Mnoge druge veličine u fizici, na primer masa, temperatura, zapremina - nisu upravljene ni prema kojoj tački u prostoru. Vektorske vrednosti jesu, recimo, sila, brzina i ubrzanje, te zato iznad njih crtamo strelicu.

Pre nego što ostavimo 'ef jednako em puta a' iza sebe, hajde da još malo razmislimo o snazi te formuličice. Ona je temelj sveg našeg inženjerstva, mašinskog, građevinskog, hidrauličkog, akustičkog i svakog drugog; pomoću tog istog 'ef jednako em puta a' razumemo površinski napon, protok tečnosti kroz cevi, kapilarnu silu, pomeranje kontinenata, širenje zvuka kroz vazduh i kroz čelik, stabilnost Sirsovih poslovnih kula i jednog od najdivnijih mostova na svetu, a to je most Bronks-Vajtstoun, koji gracioznom lukom prelazi preko voda zaliva Pelem. Kad sam bio dečak, išao sam biciklom na obale zaliva Pelem odakle sam gledao građenje tog mosta. Inženjeri koji su ga pravili poznavali su, vrlo blisko, Njutnovu jednačinu; a danas naši računari postaju sve brži, pa smo zato u stanju da rešavamo sve veći broj problema pomoću  $F = ma$ . Hej, Isače, dobro si postigao!

Obećao sam tri zakona, a isporučio sam samo dva. Treći glasi ovako: "Akcija je jednaka reakciji." Tačnije, to znači da kad god telo A deluje nekom silom na telo B, B deluje istom silom, samo u suprotnom smeru, na A. Moć ovog zakona sastoji se u tome što on važi za sve, baš sve sile, bez obzira na to kako nastaju - za gravitacionu, električnu, magnetnu i tako dalje.

## **ISAKOVO OMILJENO F**

Sledeće od najdubljih otkrića Isaka Njutna bilo je u vezi sa jednom tačno određenom silom, koju je u prirodi našao, a to je gravitacija. Imajte na umu da ono F sa strelicom iznad u Njutnovom drugom zakonu jeste prvo slovo od engleske reči force koja znači 'sila' - naprosto bilo koja sila, svaka sila. Međutim, kad se čovek odlučuje koju određenu silu da udene u formulu  $F = ma$ , onda mora prvo da odredi tu silu, mora nekako da je kvantifikuje, da bi jednačina mogla da dejstvuje. A ovo znači - Bog nek nam bude u pomoći - da moramo napisati još jednu jednačinu.

Jednačina koju je Njutn napisao za F (gravitacija) - ali samo kada je relevantna sila gravitacija - naziva se opšti zakon gravitacije. Zamisao se sastoji u tome da svako telo deluje gravitacionim silama na sva druga tela. A kolikom snagom će delovati, to zavisi od toga koliko su tela udaljena i koliko u kom telu ima materije. Materije? Čekaj malo. Ovde je došla do izražaja Njutnova opredeljenost za atomsku prirodu materije. On je zaključio

da sila gravitacije deluje na sve atome jednog predmeta, a ne samo na neke; ne samo na one na površini, recimo. Dakle, kad planeta Zemlja privlači jabuku, privlači je celu, a ne samo koru. Svaki atom planete Zemlje deluje privlačnom snagom na svaki atom te jabuke. Isto tako deluje, dužni smo da kažemo, i svaki atom jabuke na sve atome planete Zemlje - na svaki pojedini! Stravična simetrija postoji ovde, jer kad jabuka pada ka Zemlji, i Zemlja se pomakne malo, nemerljivo malo ka jabuci. Zemlja i jabuka krenu jedna drugoj u susret! To što kažemo da je taj zakon 'svevažeći' upućuje nas i na činjenicu da se ta sila nalazi svuda. Planeta Zemlja isto tako vuče Mesec; tegli ona tako i planetu Mars, pa i samo Sunce; štaviše, i jedno drugo Sunce koje se zove Proksima Kentaura i najbliža nam je zvezda u Vaseljani, udaljena oko 4.800.000.000.000 kilometara odavde. Ukratko, Njutnov zakon gravitacije obuhvata sva tela svuda. To je jedna sila koja se pruža u prostor i dohvata sve stvari, ali sa povećanjem udaljenosti postaje slabija. Mi teramo studente da nauče da tu postoji 'obrnuti kvadrat rastojanja', a to znači: slabljenje sile gravitacije srazmerno je udaljenosti dignutoj na kvadrat. Dakle, ako rastojanje između dva tela postane dvostruko veće, sila postane ne dvostruko nego četvorostruko slabija. Ako se rastojanje utrostruči, sila gravitacije oslabi devetostruko. I - tako dalje.

### **A ŠTA GURA NAGORE?**

Kao što pomenuh, sila uvek kao neka strela pokazuje u nekom pravcu. Na primer, sila Zemljine teže uperena je nadole, pravo ka središtu Zemlje. Kakva je priroda one protivsile, one što gura odozdo nagore, tako da naša čitateljka ostaje u fotelji, a ne potone u dubinu? Hajde da razmislimo i o nekim drugim slučajevima. Kad drvena palica za bezbol tresne po loptici, kakvom je to silom loptica, zapravo, udarena? A kad čekić treska po glavi eksera? Kad gas helijum gura zidove balona iznutra, tako da se balon nadima? Kad voda vrši 'pritisk' i istiskuje parče drveta koje ti guraš pod površinu? Kakva to sila čini da kad legneš na krevet, opruge u njemu se saviju, ali ipak pruže otpor i podrže te, ne spljeskaju se sasvim? Otkud ta tužna nesposobnost većine nas da prolazimo kroz zidove? Odgovor postoji. Ali on vas može iznenaditi, čak šokirati. Sve te sile koje sam pomenuo samo su različiti vidovi ispoljavanja električne sile.

U prvi mah ovo zazvuči 'bez veze'. Pa, ne podržavaju nas električne munje dok sedimo u fotelji ili stojimo na kućnoj vagi. Međutim, to je jedna posredna sila. Kao što smo naučili od Demokrita (i kao što su pokazali opiti u dvadesetom veku), materija se uglavnom sastoji od praznog prostora i sve stvari su napravljene od atoma. Ono što atome drži na okupu, da se ne raspadnu, i ono što daje materiji čvrstinu jeste električna sila. (Vidite, čak i otpor koji čvrsto telo pruža prodiranju nekog drugog čvrstog tela jeste u vezi sa kvantnom teorijom.) Ta električna sila veoma je jaka. Količna je ona vaga u tvom kupatilu, malecna, a ipak uspeva da se odupre sili kojom tebe vuče nadole cela planeta! Doduše, ako staneš nogama na površinu jezera, ili ako iskoračiš sa balkona na desetom spratu u vazduh... Atomi su u vodi, a naročito u vazduhu, i suviše razređeni, pa ne mogu da se odupru pritisku tvojih nogu dovoljno kruto. Tvoja težina će nadvladati njihov otpor.

U poređenju sa električnom silom koja drži materiju na okupu i daje joj krutost, gravitaciona sila je izuzetno slaba. Koliko slaba? Kad držim čas fizike, na ovom mestu izvedem jedan opit. Uzmem drvenu gredicu, dugačku recimo tridesetak centimetara, a debelu pet i široku deset centimetara, i kredom napravim na njoj poprečnu crtu, preko sredine. Na jednoj polovini kredom napišem go-po, što treba da znači gornja polovina. Na drugoj napišem do-po što treba... znate već. Donja polovina. Onda uzmem gredicu, držeći je samo sa dva prsta za vrh, dakle za go-po, i pitam: "Zašto do-po ostaje uz go-po iako cela planeta Zemlja vuče do-po k sebi, pokušava da otrgne do-po od go-po?" Studenti odgovore: "Zato što je donja polovina čvrsto spojena sa gornjom. Drži ih kohezija drveta. Električne sile među atomima drveta. Ledermen drži gornji kraj." Dabome. To je tačno.

Sad treba da procenimo koliko je jača kohezija drveta, dakle električna sila koja drži gredicu na okupu, od gravitacione sile naše planete koja ne odustaje od pokušaja da

otkine do-po. Dohvatim testeru i pretesterišem gredicu napola, tačno po onoj liniji kredom. (Oduvek sam želeo da budem nastavnik opštetehtičkog.) Sad sam, testerom, smanjio električne sile između go-po i do-po praktično na nulu. Donjoj polovini predstoji pad na pod. Ali tu postoji jedan sukob sila. Jer, gornja polovina još vuče donju k sebi - čime? Sopstvenom gravitacionom silom. Pogodite ko pobeđi. Zemlja, dabome. Do-po zvekne na pod.

Upotrebimo jednačinu za zakon gravitacije i izračunamo razliku između ta dva gravitaciona privlačenja. Rezultat pokaže da planeta Zemlja vuče donji komad drveta k sebi bar milijardu puta jače nego što ga gornji komad drveta vuče nagore. (Imajte poverenja kad vam kažem da to izračunavanje ispadne tako.) Zaključak: električne sile koje su držale donju i gornju polovinu na okupu pre nego što sam ja navalio da testerišem bile su bar milijardu puta jače nego gravitaciona privlačna snaga gornje polovine. To je najbolje izračunavanje koje uspemo da izvedemo u sali za predavanja. Međutim, tačan broj glasi: 1041 puta. To vam je jedinica i iza nje četrdeset jedna nula! Hajde da napišemo i to:

100.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000

Nemoguće je osetiti koliko je broj 1041 divovski. To niko ne može da ceni po osećanju. Ali evo nečeg što bi moglo da pomogne. Zamislite da imamo jedan elektron i jedan pozitron i da se nalaze na međusobnom rastojanju od jednog inča, a to znači, 25,4 milimetra. Izračunamo koliko je snažno gravitaciono privlačenje između ove naše dve čestice. A onda izračunamo koliko bi trebalo da bude rastojanje između njih, pa da električna sila, kojom se uzajamno privlače, bude jednako jaka kao što je sad gravitaciona. To jest - jednako slaba. Odgovor glasi: oko hiljadu i šest stotina miliona miliona kilometara (pedeset svetlosnih godina). A i to pod pretpostavkom da se sila elektroprivlačenja smanjuje sa kvadratom rastojanja, isto kao gravitaciona. Je li sad jasnije? Gravitacija dominira mnogim kretanjima koja je Galilej proučavao zato što svaka trunčica cele Zemlje vuče k sebi svaku stvar na površini Zemlje. Kod proučavanja atoma i predmeta još manjih, gravitaciono dejstvo toliko je malo da se ne može ni opaziti. Kod mnogih drugih opita gravitacija je nevažna. Recimo, kod sudara dve bilijske kugle (fizičari vole sudaranje kao alatku za razumevanje) gravitacija nema nikakvu ulogu jer se kugle kotrljaju po ravnom stolu. Gravitacija vuče kugle nadole, ali sto ih tačno istom tolikom snagom odguruje nagore. Preostaju samo vodoravne sile koje stupaju u dejstvo kad jedna kugla čvakne drugu.

## **TAJNA DVE MASE**

Njutnov zakon opšte gravitacije dao nam je  $F$  u svim onim slučajevima u kojima je gravitacija relevantna (to jest, od ikakvog značaja). Pomenuh da je on napisao to svoje  $F$  tako da sila kojom bilo koje telo, hajd' da kažemo Zemlja, privlači k sebi bilo koje drugo telo, hajd' da kažemo Mesec, zavisi od količine 'stvari' u jednom i u drugom telu. Naime, pomnožimo količinu toga u jednom sa količinom toga u drugom telu. Da bi ovu duboku istinu kvantifikovao, Njutn je napisao još jednu formulu, oko koje smo sve do sad u ovoj knjizi obilazili kao mačka oko vrelog mleka. Prvo ćemo tu formulu kazati rečima. Evo ovako. Sila gravitacije između ma koja dva tela, možemo ih označiti kao  $A$  i  $B$ , jednaka je izvesnoj brojčanoj konstanti (obično se označava velikim slovom  $G$ ) koju treba pomnožiti količinom mase u telu  $A$  (to označavamo slovima  $MA$ ) i zatim još pomnožiti količinom mase u  $B$  (to označavamo slovima  $MB$ ), a ishod sveg tog množenja podeliti rastojanjem između  $A$  i  $B$  dignutim na kvadrat. Dobro - a napisano simbolima, kao formula, to izgleda ovako:

$$F = G(Ma \times Mb)/R^2$$

Ovu formulu obeležićemo rimskim brojem II. Čak i potpuni duduci za brojeve i matematiku uvideće koliko je ekonomičnije kad napišemo tako sažeto. Želimo li nešto

opiopljiviju predstavu? Neka je A planeta Zemlja i neka je B Mesec. Ne zaboravljamo, naravno, da se ova Njutnova moćna formula može primeniti i na sva ostala tela - na bilo koja dva tela u Vaseljenu. Sad napišemo jednačinu tako da je ona posebna - naime, odnosi se baš na Zemlju i baš na Mesec:

$$F = G(M \text{ Zemlje} \times M \text{ Meseca})/R^2$$

Razdaljina Zemlja-Mesec, R, iznosi oko 384.000 kilometara. Konstanta G, ako želite znati, iznosi  $6,67 \times 10^{-11}$  u onim mernim jedinicama koje imamo ako obe mase merimo u kilogramima, a rastojanje R u metrima. Nije potrebno da zapamtite taj broj, niti uopšte da se obazirete na njega. Samo zapazite da  $10^{-11}$  znači da je tu nešto maleno, veoma maleno. Sila F postaje stvarno značajna tek kad je jedno od ta dva M pravi div, kao, recimo, Zemlja. Pomislite koliko mnogo ima onog tvrdog i teškog u celoj planeti Zemlji. A ako bi Tvorac u nekom nastupu zle volje smanjio G na nulu (ukoliko bi to uopšte mogao?) život na ovom svetu okončao bi se veoma brzo. Umesto da se okreće oko Sunca, Zemlja bi odletela po tangenti sa svoje sadašnje eliptične orbite u ledeni prostor kosmosa gde bi se sadašnje globalno otopljanje dramatično preokrenulo.

Uzbudljiva stvar ovde jeste M, koje nazivamo gravitaciona masa. Rekoh da su naša dva M-a iskazi koji nam kažu koliko ima one 'stvari' u Zemlji, a koliko u Mesecu. A to tvrdo, opiopljivo, to je, naravno, masa - dakle, ono što stvara silu teže. "Ej, čekajte ljudi", buni se neko iz poslednjeg reda. "Sad ispada da imamo dve različite vrste mase. Jednu napisanu malim slovom, ono m u formuli  $F = ma$ , a sad kao neku drugu napisanu velikim slovom M u ovoj drugoj formuli, II. Šta sad tu nije u redu?" Veoma pronicljivo - kažem ja. Ali to nije propast. Ne, to je jedan izazov.

Hajde da te dve različite vrste mase nazovemo Veliko M i Malo m. Veliko M je gravitaciona masa u jednom telu, ona masa koja vuče neko drugo telo k sebi. Za razliku od toga, Malo m je inerciona masa, ona masa koja se opire sili i odlučujuće utiče na to koliko će telo biti odgurnuto naletom neke sile. To su dva sasvim različita atributa materije. Njutnova genijalnost bila je u tome što je shvatio da opiti koje je izveo Galilej (setite se Pize!) i drugi opiti, koje su izveli mnogi naučnici, zajedno nalažu, i to vrlo snažno nalažu, da je  $M = m$ . Gravitaciona masa je tačno, sasvim tačno jednaka inercionoj masi koja se pojavljuje u Njutnovom drugom zakonu.

## **ČOVEK SA DVA UMLAUTA**

Njutnu nije bilo jasno zbog čega bi ova dva svojstva bila jednaka; naprosto je prihvatio da to jeste tako. Čak je izveo neke dovrtljive opite da proveri da li to jeste tako. Njegovi opiti su dokazali da su M i m jednaki, ali je ostala mogućnost greške od oko 1 posto tamo-amo. Mi možemo ovo saznanje o njihovoj jednakosti da napišemo i ovako:  $M/m = 1,00$ . To se čita: em kroz em jednako je jedan zapeta nula nula. Ili ovako: M podeljeno sa m daje jedinicu koju ništa ne kviri u sledeća dva decimalna mesta. Više od dvesta godina kasnije, ovaj broj je dramatično poboljšan. Između godine 1888. i 1922. jedan mađarski plemić, baron Roland Etveš (Roland Eötvös), izveo je neverovatno domišljat niz opita sa klatnima na koja je nameštao tegove od aluminijuma, bakra, drveta i drugih materijala i dokazao da je jednakost ove dve veoma važne osobine materije tačna do pet milijarditih delova. Matematički izraženo, to mu dođe ovako:  $M \text{ gravitacija}/m \text{ inercija} = 1,000\ 000\ 000 \text{ plus-minus } 0,000\ 000\ 005$ . Dakle, tačan ishod mora biti negde između 1,000 000 005 i 0,999 999 995.

Danas smo potvrdili ovu razmeru još bolje. Dogurali smo je do dvanaest nula iza jedinice. Galilej je u Pizi dokazao da dve nejednake kugle padaju istom brzinom. Njutn je pokazao zbog čega je to tako. Pošto je veliko M jednako malom m, sila teže kojom Zemlja vuče kuglu k sebi srazmerna je masi te kugle. Razmislite: gravitaciona masa (M) topovskog đuleta može biti hiljadu puta veća od takođe gravitacione mase (M) nekog klikera gvozdencu. Dakle, Zemlja će hiljadu puta jače privlačiti k sebi topovsko đule nego kliker gvozdenac. Ali, gle čuda, inerciona masa tog đuleta opiraće se Zemljinoj sili teže

hiljadu puta jače nego inerciona masa gvozdencu. Ako bacimo sa kule đule i gvozdenac, ta dva dejstva međusobno se potiru. Zato đule i gvozdenac udare o tle u istom trenu.

Ovo poklapanje  $M$  i  $m$  bilo je neverovatna podudarnost, koja je vekovima uznemiravala naučnike, kao što nas danas uznemirava ono 137. Tek godine 1915. Ajnštajn je ovu 'podudarnost' ugradio u jednu duboku teoriju koja je poznata kao opšta teorija relativnosti.

Istraživanja barona Etveša o  $M$  i  $m$  bila su njegov najzapaženiji, ali ne i najveći doprinos nauci. Između ostalog, bio je majstor u pisanju prezimena sa tim umlautskim tačkama iznad nekih samoglasnika. Jedno prezime, a dva umlauta! Još je važnije bilo to što se Etveš zainteresovao za obrazovanje u nauci i za osposobljavanje visokoškolskih nastavnika, a to je tema meni bliska i draga. Istoričari su zapazili da su obrazovni naponi barona Etveša doveli do prave eksplozije genijalnosti - iz Budimpešte su, za vreme Etvešove ere, došli takvi velikani fizike kao Edvard Teler (Edward Teller), Eugen Vigner (Eugene Wigner), Lio Silard (Leo Szillard), pa matematičar Džon fon Nojman (John von Neumann)... Toliko je matematičara i fizičara stvoreno u Mađarskoj na samom početku dvadesetog veka, da su neki inače smireni posmatrači došli do zaključka da se invazija Marsovaca već dogodila i da je Budimpešta njihova baza u koju su se naselili da bi odatle krenuli u infiltraciju, a zatim okupaciju celog sveta.

Dostignuća Njutna i Etveša dramatično ilustruju astronauti u kabinama kosmičkih brodova. Svi smo gledali video-snimke iz tih njihovih kapsula tamo gore: astronaut ispusti olovku, ali olovka ne padne, nego ostane da lebdi nadomak njegovih prstiju. To je divna demonstracija tobožnjeg bestežinskog stanja. Naravno, taj čovek i njegova olovka nisu stvarno bez težine. Sila Zemljine gravitacije i te kako nastavlja da deluje na njih. Zemlja vuče k sebi gravitacionu masu kapsule, i astronauta, i olovke. Ali jurnjava kosmičkog broda ukruć, po orbiti, određena je našom formulom I. Pošto su dve mase (gravitaciona i inerciona) jednake, onda svi pomenuti predmeti postižu isto kretanje oko Zemlje. Astronaut leti, kapsula leti, i olovka leti, oni svi učestvuju u plesu 'bestežinskog' stanja.

Drugi pristup jeste da sagledamo to što se sa astronautima dešava kao slobodni pad. Kapsula koja orbitira oko Zemlje - stalno pada na Zemlju. Orbitiranje je to: stalno padanje. I Mesec, u izvesnom smislu, stalno pada ka Zemlji, ali nikako da do nje stigne zato što površina Zemljine kugle beži, 'pada u daljinu' tačno istom brzinom. Znači, ako naš astronaut slobodno pada, a i olovka koju je on ispustio takođe slobodno pada, onda su ta dva u istom međusobnom odnosu kao dva teška predmeta bačena sa Krivog tornja u Pizi. Svejedno da li u kapsuli ili izvan kapsule, astronaut će, ako uspe da stane na kućnu vagu, očitati svoju težinu kao nulu. Neće se pokazati nikakva težina. Zato se i kaže 'bestežinsko stanje'. Agencija NASA koristi stvarno slobodno padanje kao tehniku za uveštavanje astronauta. To je simuliranje bestežinskog stanja. Radi se ovako: povedu astronauete mlaznim avionom na veliku visinu. Onda se avion naglo propne uvis samo da bi odmah potom 'zaronio' nosom prema zemlji; astronauti unutra doživljavaju slobodni pad. Avion se posle vrati na istu visinu, pa se operacija ponovi, sve u svemu jedno četrdesetak puta. Putanja aviona pri svakom tom manevru bude parabola (opet ona!), a slobodni pad nastupa na silaznom kraku parabole. Slobodni pad... bestežinsko stanje. (Samo nemojte zamišljati da je to sasvim prijatno. Nezvanični naziv za takav avion je 'kometa u kojoj se povraća'.)

To su razgovori iz ovih naših kosmičkih vremena. Ali već je Njutn znao sve o astronautu i olovci. Još u sedamnaestom veku mogao vam je tačno reći šta će se dešavati u svemirskom šatlu.

## **DONOSILAC VELIKE SINTEZE**

Njutn je u Kembridžu živeo prilično povučeno, ali je često odlazio na svoje porodično imanje u Linkolnšajru, u vreme kad su gotovo svi drugi veliki naučni umovi nastojali da se muvaju stalno po Londonu. Od 1684. do 1687. godine mukotrпно je radio na knjizi koja će postati njegovo glavno delo, Matematička načela filozofije prirode (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica). Taj rad bio je objedinjavanje svih Njutnovih ranijih



studija iz oblasti matematike i mehanike, koje su velikim delom bile nepotpune, neodlučno iskazane, dvosmislene. Tek knjiga Principia bila je potpuna simfonija. Obuhvatila je sav njegov rad u prethodnih dvadeset godina.

Da bi napisao knjigu Principia, Njutn je morao da ponovo pregleda prikupljene podatke i ponovo razmišlja o njima, da ponovo izračunava mnogo štošta, ali i da prikuplja nove podatke - o prolaženju kometa, o prirodnim satelitima Jupitera i Saturna, o plimi i oseci na ušću Temze u okean i o još mnogim stvarima. Ovde je počeo da insistira na postojanju apsolutnog prostora i apsolutnog vremena; ovde je i nastupio kategorično sa svoja tri zakona kretanja. Ovde je razvio i koncept mase kao svojstva onog teškog, opipljivog u jednom telu: "Količina materije jeste ono što proističe jednovremeno iz gustine i veličine tela."

Ovaj mahnuti juriš u stvaralački rad imao je svoje prateće manje važne posledice. Po svedočenju jednog pomoćnika koji je stanovao pokraj Njutna:

Toliko se ozbiljno ustremio na svoje izučavanje, da je jeo vrlo malo, a često i sasvim zaboravljao da jede... Retko se dešavalo da donese odluku da krene u trpezariju i jede sa ostalima; a u takvim prilikama, izišao bi na ulicu, uvideo grešku i umesto da ode u trpezariju, vratio bi se u svoje odaje... Dešavalo se da počne pisati stojeći, ne dajući sebi ni trenutak slobodnog vremena da privuče stolicu i sedne.

Eto, vidite, kakva je opsednutost naučnika-stvaraoca.

Knjiga Principia pala je na Englesku, pa i na čitavu Evropu, kao ogromna bomba. Glasine o njoj širile su se kao požar još pre nego što je štampana. Među fizičarima i matematičarima Njutn je već uživao visok ugled, ali tek ga je knjiga Principia katapultirala u status legende i dovela u središte pažnje filozofa kao što su bili Džon Lok (John Locke) i, u Francuskoj, Volter (Voltaire). Bila je superhit. Sledbenici, oni koji su oduševljeno prigrlili novo, pa čak i kritičari, i sami vanredni naučnici, kao što behu Kristijan Hajgens (Christian Huygens) i Gotfrid Lajbnic (Gottfried Leibnic), pridružili su se pohvalama; veličali su zapanjujući dohvat i dubinu te knjige. A najgori Njutnov takmac, Robert 'Malecki' Huk, pridružio se tako što je knjizi uputio najveći kompliment za koji je bio sposoban: izjavio je da je Njutn sve to prepisao od njega.

Kad sam poslednji put bio na Kembridžskom univerzitetu, zatražio sam da vidim primerak Principie. Očekivao sam da će knjiga biti u staklenom sanduku, u helijumskoj atmosferi. Kad, ne! Knjiga jednostavno stoji na polici sa ostalim knjigama, u biblioteci za fiziku. Prvo izdanje! A ta knjiga je izmenila nauku.

Odakle Njutnu nadahnuće? Opet, pre izlaska Principie objavljena je obimna literatura o kretanju planeta; našli su se tu i neki vrlo sugestivni radovi Maleckog Huka. Ti izvori verovatno su uticali na Njutna bar u jednakoj meri kao njegova moć intuicije, na koju pomišljamo kad čujemo onu nebrojeno puta ponovljenu priču o jabuci. Navodno je Njutn jednog poznog popodneva gledao Mesec, koji je bio nisko na nebu, a onda je video kako sa jedne grane pada jabuka, i tad mu je 'sinulo'. Zemlja deluje svojom silom teže na jabuku, predmet zemaljski, ali ta sila se pruža još u visinu, u daljinu, tako silno daleko da dohvata i jedan predmet nebeski, Mesec. Zbog te sile jabuka padne na tle. Zbog te sile Mesec nastavlja da kruži oko Zemlje. Njutn je uključio svoje jednačine u ovo, i sve se uklopilo. Negde oko sredine osamdesetih godina sedamnaestog veka Njutn je počeo da kombinuje nebesku sa zemaljskom mehanikom. Opšti zakon gravitacije objasnio je složeni ples Sunčevog sistema, objasnio je i plime i oseke, i okupljanje zvezda u galaksije, a galaksija u galaktička jata; objasnio je i retke, ali predvidive posete Halejeve komete i još mnogo drugih stvari. Godine 1969. NASA je stavila tri čoveka u raketu i poslala ih na Mesec. Za ovo je bila potrebna tehnologija i oprema kosmičkog doba, ali ključne jednačine unete u kompjutere NASA, da bi se mogla planirati putanja za odlazak i povratak, bile su tri veka stare. I sve su bile Njutnove.

## **NEVOLJA SA GRAVITACIJOM**

Videli smo da je na nivou atoma gravitaciona sila - recimo, ona kojom jedan elektron deluje na jedan proton - tako malena da njenu slabašnost možemo izraziti tek uz pomoć jedne jedinice i četrdeset jedne nule. To je uistinu - slabo! U makroskopskim razmerama, zakon o obrnutom kvadratu rastojanja lako je proveriti posmatranjem dinamike našeg Sunčevog sistema. Ali u laboratoriji je vrlo teško proveriti zakon gravitacije. Treba upotrebiti osetljivu torzionu vagu. Prava nevolja sa gravitacijom u devedesetim godinama ovog veka sastoji se u tome što mi, od četiri poznate sile, samo još ovu jednu ne uspevamo da uklopimo u kvantnu teoriju. Kao što sam pomenuo ranije, identifikovali smo čestice koje su prenosioci sile, i to one koje prenose slabu, jaku i elektromagnetnu silu. Ali čestica koja bi bila u vezi sa gravitacijom još nam izmiče. Nadenuli smo naziv toj hipotetičnoj čestici koja bi mogla prenositi gravitacionu silu - graviton - ali nismo nikad nijedan graviton otkrili. Izgrađeni su veoma veliki, veoma osetljivi uređaji koji bi trebalo da otkriju gravitacione talase; očekujemo da gravitacioni talas nastane kad tamo negde, u kosmosu, nastupi neki kataklizmični astronomski događaj - na primer, supernova - ili kad crna rupa najednom proguta neku zlosrećnu zvezdu, ili kad se, što je malo verovatno, sudare dve neutronske zvezde. Ali još nikada nijedan takav događaj nismo otkrili. Traganje se nastavlja.

Gravitacija je nama problem broj jedan kad god pokušamo da spojimo fiziku čestica sa kosmologijom. Ponašamo se u tome kao da smo antički Grci, naprosto čekamo... čekamo da se nešto desi, nismo sposobni da izvedemo nijedan opit. Eh, kad bismo mogli da napravimo strahovito brz čeon sudar dve zvezde, a ne dva protona! Tad bismo videli neka stvarna dejstva. Ako su kosmolozi u pravu i ako teorija zvana Veliki prasak još jeste dobra - a mene su neki ljudi ubeđivali nedavno na jednom sastanku da je to tako, da se još nije srušila - onda su u nekoj veoma ranoj fazi sve čestice Vaseljene bile zgurene u jedan veoma malen prostor. Tada je energija po čestici bila ogromna. Gravitaciona sila, ojačana tolikom energijom (a energija je ekvivalent mase), tada je bila toliko velika, da je i u razmerama atoma morala biti dostojna poštovanja. A kvantna teorija jeste gospodarica atoma. Dokle god ne uvedemo i silu teže u porodicu kvantnih sila, nećemo moći da shvatimo pojedinosti Velikog praska, niti da zaista razumemo najdublju strukturu elementarnih čestica.

## **ISAK I NJEGOVI ATOMI**

Većina proučavalaca Njutnove nauke saglasna je da je on verovao u nešto nalik na čestičnu strukturu materije. Od svih sila, jedino je gravitaciju obradio matematički. Smatrao je da sile između tela, svejedno da li su ta tela Zemlja i Mesec ili Zemlja i jabuka, moraju biti posledica sile između čestica tih tela. (Dakle, onih čestica od kojih su ta tela sazdana.) Ja bih se odvažio da pretpostavim da Njutnovo otkriće diferencijalnog računa stoji u vezi sa njegovim verovanjem u atome. Da bismo shvatili silu Zemlja-Mesec, na primer, moramo da upotrebimo našu formulu II. Ali šta će nam tačno biti  $R$  - udaljenost između Zemlje i Meseca? Kad bi Zemlja bila sićušna, kao i Mesec, taj problem se ne bi postavljao. Računaš daljinu od središta jednog do središta drugog predmeta, i gotovo. Međutim, da bismo sabrali sile kojima nebrojeno mnoštvo trunčica Zemlje deluje na Mesec - a svaka trunčica snagom koja je vrlo malena - potrebno je primeniti takozvani integralni račun, koji je, zapravo, metod za sabiranje beskonačnog broja beskonačno malih delova. Njutn je pronašao diferencijalni račun upravo te slavne godine 1666. (odnosno, neposredno pre ili posle); sam je rekao da je njegov um te godine bio "izuzetno spreman za postizanje otkrića".

Nalazimo vrlo malo ili nimalo dokaza o postojanju atomske teorije u sedamnaestom veku. Njutn u knjizi Principia kaže da moramo polaziti od onoga što nam govore čula i razum da bismo shvatili kako dejstvuju mikroskopske čestice od kojih su sačinjena tela. "Pošto tvrdoća celine potiče od tvrdoće delova, mi... s pravom zaključujemo da su tvrde ne samo nepodeljene čestice onih tela koja mi osećamo nego i svih drugih tela."

Istraživanje optike navelo je i njega, kao i Galileja, da tumači svetlost kao mlaz čestica. Na kraju svoje knjige Optika, Njutn daje sažeti pregled svih tada postojećih zamisli o svetlosti, a onda se baca napred, ispoljavajući hrabrost od koje zastaje dah:

Zar nemaju čestice raznih tela izvesne svoje moći, svojstva ili sile kojima deluju na daljinu, ne samo na zrake svetlosti da ih odbijaju, prelamaju ili savijaju nego i jedno telo na drugo, pri čemu nastaje veliki deo pojava u prirodi? Jer dobro je znano da tela deluju jedno na drugo gravitacionim, magnetnim i električnim privlačenjima, a ti primeri ukazuju na sklonost i usmerenje prirode i čine da nije neverovatno da bi mogle postojati još neke sile privlačenja... druge sile, koje dosežu samo do rastojanja tako malenih da mi njihovo postojanje još nismo zapazili; moguće je, uz to, da električna privlačnost deluje na malim rastojanjima čak iako nije trenjem pobuđena. (Podvlačenje moje.)

Ovo je predskazanje; ovo je uvid unapred; možete čak reći da tu leže nagoveštaji velikog objedinjenja svih sila, koje predstavlja Sveti gral fizičara devedesetih godina ovog veka. Zar nije Njutn ovim rečima pozivao na traganje za silama u atomu, koje danas jesu poznate kao slaba i jaka sila? Za silama koje, za razliku od gravitacije, deluju na malenim rastojanjima? Dalje je Njutn pisao:

Kad se sve uzme u obzir, čini mi se verovatno da je Bog na Početku stvorio materiju u česticama stamenim, masivnim, tvrdim, neprobojnim i pokretnim... a te primitivne čestice, osim što su stamene... jesu i tako tvrde, da se nikad ne mogu istrošiti niti razlomiti na komade; nijedna obična sila ne može podeliti ono što je Bog sam, prilikom Postanja sveta, načinio da bude jedno.

Dokazi su bili nejak, ali je Njutn ipak, na osnovu njih, odredio pravac za buduće kretanje fizike; potom je fizika neumoljivo išla napred, svojim krivudavim putem, i stigla u mikrosvet kvarkova i leptona. Traganje za jednom neobičnom silom koja bi ipak mogla da podeli 'ono što je Bog sam načinio da bude jedno' predstavlja danas aktivnu granicu na kojoj fizika čestica pokušava da ostvari napredak.

## **ONO UTVARNO**

U drugom izdanju knjige Optika, Njutn se postavio malo opreznije, pa je svoje zaključke okružio nizom pitanja. To su pitanja tako otvorena - i tako perceptivna - da čovek u njima može pronaći šta god želi. Ali nije veliko preterivanje ako kažemo da je Njutn možda predosetio, na neki duboko intuitivan način, talasno-čestičnu dvojnost moderne kvantne teorije. Jedna od najnezgodnijih posledica Njutnove teorije jeste problem delovanja na daljinu. Planeta Zemlja tegli jabuku ka sebi. Jabuka padne. Sunce tegli planete ka sebi. Planete se kreću oko Sunca eliptično. Kako se ovo dešava? Kako je moguće da dva tela, između kojih ne postoji ništa osim praznog prostora, prenose silu jedno na drugo? Jedan model, popularan u ono doba, pretpostavljao je da postoji nekakav eter, a to bi značilo nevidljivi, bestelesni medijum koji je uspeo da ispuni sve prostore kosmosa; po toj hipotezi, telo A deluje na telo B pomoću etera.

Kao što ćemo videti, zamisli o eteru dočepao se Džejms Klerk Maksvel i počeo tvrditi da eter prenosi njegove (Maksvelove) elektromagnetne talase. Ovu zamisao je, međutim, uništio Ajnštajn godine 1905. Ali, baš kao i Paulina, eter je nešto što može da nastrada, pa da se opet vrati živo i zdravo; mi danas verujemo da ipak postoji eter, ali u jednoj novoj verziji (koja je, zapravo, ona praznina o kojoj su govorili Demokrit i Anaksimander) i da se u tom eteru skriva Božija čestica.

Njutn je na kraju odbacio pojam etera. Njegovo atomističko gledanje na prirodu zahtevalo bi da se i eter sastoji od nekakvih čestica, a on se toj pretpostavci protivio. Osim toga, bilo bi neophodno da eter prenosi razne sile, ali da nimalo ne ometa kretanje tela - na primer, kretanje planeta po njihovim nenarušivim orbitama.

Njutnov stav ilustrovan je ovim odlomkom iz knjige Principia:

Postoji neki uzročnik bez koga se ove pokretačke sile ne bi širile po okolnom prostoru; a da li je taj uzročnik neko telo u središtu (kao što je magnet telo u središtu magnetne sile) ili je kakav drugi, to se zasad ne vidi. A ja sam namerio da dam samo matematički prikaz tih sila, bez razmatranja njihovih fizičkih uzroka i odlika.

Na ovo bi publika u dvorani, kad bi bila sačinjena od fizičara na nekom seminaru današnjice, počela da ustaje, pljeska i kliče, jer ovde Njutn pogađa jednu vrlo modernu temu, a to je da vrednost svake teorije treba oceniti na osnovu opažanja i opita. Šta mari ako Njutn i njegovi današnji poštovaoci ne znaju Zašto gravitacija? Šta stvara gravitaciju? To je filozofsko pitanje sve dok neko ne pokaže da je gravitacija posledica nekog dubljeg koncepta, možda, recimo, neke prostorvremenske simetrije u višim dimenzijama.

Dosta filozofije. Njutn je ogromno unapredio naše traganje za a-tomom tako što je uspostavio strogi postupak predviđanja, što je dao sintezu koja se može primeniti na ogroman broj fizičkih problema. Ta načela su se postepeno širila kroz svet nauke i ukorenjivala, i imala su, kao što smo videli, ogroman uticaj na praktične veštine kao što su inženjerstvo i tehnologija. Njutnovska mehanika, sa svojom novom matematikom, zaista je osnova jedne piramide, a odozgo su naslagani i nadograđeni svi slojevi fizičkih nauka i tehnologija. Bila je to revolucija, bitna promena u mogućnostima ljudskog mišljenja. Bez ove promene, ne bi bilo industrijske revolucije, niti neprekidnog sistematskog traganja za novim znanjem i novim tehnologijama. Ovim je obeležen prelaz sa statičnog društva koje čeka da se nešto desi na dinamično društvo koje navaljuje da se domogne znanja zato što shvata da iz znanja proističe i kontrolisanje. Osim toga, njutnovska tradicija moćno je podržala redukcionizam.

Njutnovi doprinosi fizici i matematici i njegova opredeljenost za atomsku Vaseljenu jasno su dokumentovani. Ono što ostaje u izmaglicama jeste uticaj njegovog 'drugog života' na njegov naučni rad. U tom 'drugom životu' bilo je svačega; Njutn se pomno bavio alhemijom, a i posvećivao se okultnoj filozofiji, naročito zamislima takozvanih hermetika, koja sežu u prošlost čak do svešteničke magije drevnih Egipćana. Te svoje delatnosti Njutn je gotovo sasvim prikrilo. Kao profesor na lukasovskoj katedri u Kembridžu (sada se na tom mestu nalazi Stiven Hoking), a kasnije i kao član londonskog političkog establišmenta, Njutn nije mogao dozvoliti da njegova odanost ovim nepriznatim religijskim upražnjavanjima postane poznata javnosti, jer bi mu to donelo ogromnu sramotu, a možda bi bio čak i izbačen iz javnog života.

Hajde da prepustimo Ajnštajnu da iskaže poslednji komentar o Njutnovom radu:

Oprosti mi, Njutne; ti si našao jedinu putanju koja je, mada jedva dohvatljiva, bila moguća u tvojoj epohi čoveku najviše misaonosti i najveće stvaralačke moći. Koncepti koje si ti stvorio vode i danas naša razmišljanja o fizici, iako sada znamo da ćemo ih zameniti drugim konceptima, još udaljenijim od sfere neposrednog iskustva, zato što to moramo, ako nam je cilj da postignemo dublje razumevanje odnosa stvari.

## **DALMATINSKI PESNIK**

Još jedna beleška, završna, o ovoj etapi, dobu mehanike, velikoj eri klasične fizike. Frazu 'išao je ispred svog vremena' ljudi koriste često i prečesto. Ali ja ću je ovde ipak upotrebiti. Ne govorim o Galileju niti o Njutnu. Obojica su stigla baš u pravo vreme, ni prerano ni prekasno. Gravitacija, vršenje opita, merenje, matematički dokazi... sve te stvari bile su u vazduhu. Galilej, Kepler, Brahe i Njutn bili su prihvaćeni - slavljani sa fanfarama! - u sopstvenom vremenu zato što su nastupili sa zamislima koje je naučna zajednica bila spremna da prihvati. Nije svako te sreće.

Ruđer Josip Bošković, po rođenju Dubrovčanin, koji je veliki deo svoje karijere proveo ipak u Rimu, rođen je 1711. godine, šesnaest godina pre smrti Njutna. Bošković je veoma podržavao Njutnove teorije, ali je imao izvesne probleme sa zakonom gravitacije. Rekao je da su ti problemi u vezi sa 'klasičnom granicom' koja se sastoji u tome što, kad su razdaljine veoma velike, možeš da se opredeliš za neku približno tačnu vrednost.

Bošković je tvrdio da su Njutnovi zakoni gravitacije "maltene savršeno tačni, ali da izvesna odstupanja od zakona o obrnutom kvadratu rastojanja ipak postoje, iako su vrlo malena." Nagadao je da će ovaj klasični zakon morati sasvim da se 'sruši' na atomskoj razmeri veličina, na kojoj su sile privlačenja zamenjene oscilacijama između privlačnih i odbojnih sila. Zaprepašćujuća misao za naučnika u osamnaestom veku.

Bošković se rvao i sa starim problemom delovanja iz daljine. Pošto je bio pre svega i iznad svega geometar, došao je na zamisao da postoje polja sile pomoću kojih možemo da objasnimo kako tela deluju na druga tela na rastojanju. Ali, čekajte, nije to sve!

Bošković je imao još jednu zamisao, potpuno ludačku za osamnaesti vek (a možda i za bilo koji drugi). Materija je sazdana od nevidljivih i nedeljivih a-toma, rekao je on. Dobro, to nije osobito novo, sa tim bi se saglasili i Leukip, Demokrit, Galilej, Njutn i drugi. Ali čujte ovo što je novo: Bošković je tvrdio da te čestice nemaju veličinu; naime, da su geometrijske tačke. Jasno je, kao i kod mnogih drugih zamisli u nauci, da se za ovo mogu naći nagoveštaji u radovima ranijih naučnika; verovatno već kod starih Grka, a naravno i kod Galileja. Kao što ste možda zapamtili na časovima geometrije u srednjoj školi, tačka je samo jedno mesto. Bez dimenzija. A Bošković tvrdi, ni manje ni više, da je materija sazdana od čestica koje nemaju nikakve dimenzije! Mi nađosmo, evo pre dvadesetak godina, jednu česticu koja odgovara tom opisu. Nazvasmo je kvark.

Vratićemo se još na gospodina Boškovića.

## 4. NASTAVLJAMO TRAGANJE ZA ATOMOM: HEMIČARI I ELEKTRIČARI

Naučnik ne prkosi Vaseljenu. Prihvata je. To je njegova hrana koju treba sa uživanjem grickati; to je njegovo carstvo koje treba istraživati; to je njegova pustolovina i oduševljenje kome nikad kraj ne dolazi. Može se desiti da ti u rukama popusti i da izmakne, ali ne može nikad biti dosadna. Vaseljena je predivna i u malim i u velikim razmerama. Ukratko, istraživanje Vaseljene najuzvišeniji je posao kojim se jedan džentlmen može baviti.

### I. I. Rabi

Evo priznanja. Nisu samo fizičari tragali za Demokritovim a-tomom. I hemičari su, nema spora, učinili nešto, naročito tokom onog dugog razdoblja (približno od 1600. do 1900. godine) kad se razvijala klasična fizika. Razlika između hemičara i fizičara nije stvarno nepremostiva. Ja sam počeo kao hemičar, ali sam se prebacio na fiziku, između ostalog i zato što je fizika bila lakša. Od tada sam često zapažao da neki od mojih najboljih prijatelja razgovaraju i sa hemičarima.

Hemičari su uradili nešto što fizičari pre njih nisu. Obavili su opite koji imaju veze sa atomima. Galilej, Njutn i ostali, iako su opitima postigli mnogo toga, ostadoše ipak, kad je reč o atomima, samo na čistom teoretisanju. Nije to bilo iz lenjosti; naprosto, nisu imali opremu. Tek su hemičari izveli prve opite u kojima su atomi bili naterani da pokažu da su prisutni. U ovom poglavlju pozabavićemo se bogatim eksperimentalnim dokazima u prilog postojanja Demokritovih a-toma. Videćemo koliko je bilo neuspelih početaka u toj trci, koliko 'crvenih haringi' koje zavedu ispitivaoca na sasvim pogrešan put, koliko rezultata pogrešno tumačenih. A ovo poslednje je veći otrov za eksperimentatore.

### ČOVEK KOJI JE OTKRIO DEVET PALČEVA NIČEGA

Pre nego što pređemo na baš prave hemičare, moramo pomenuti naučnika koji se zvao Evandelist Toričeli (Evangelista Toricelli, 1608-1647). On je premostio provaliju između mehanike i hemije, u pokušaju da vrati atomizmu status ozbiljne naučne teorije. Ponoviću, Demokrit govoraše: "Ne postoji ništa osim atoma i praznog prostora; sve ostalo su samo mnjenja." Prema tome, ako hoćeš da dokažeš vrednost atomizma, potrebni su ti atomi, ali takođe su ti potrebni prazni prostori između njih. Aristotel se protivio i samoj zamisli vakuuma, govorio je: "Priroda se užasava vakuuma", što je posle nastavila da govori katolička crkva, čak i tokom renesanse.

Tu se umešao Toričeli. Bio je jedan od Galilejevih učenika u vreme kad je Galilej već bio u poznim godinama. Leta Gospodnjeg 1642. dade Galilej ovom svome učeniku jedan zadatak. Firentinski kopači bunara primetili su da usisna pumpa nikako neće da povuče vodu više od 10 metara uvis. Zbog čega bi to bilo tako? Početna pretpostavka, koju su zastupili Galilej i drugi, glasila je da vakuum jeste jedna 'sila', da pumpa proizvodi delimični vakuum, a onda taj delimični vakuum povuče vodu uvis koliko može. Galilej, očigledno, nije želeo da se bavi problemima tamo nekih bunardžija, pa je poslao momka da to vidi.

Toričeli je uvideo da vodu ne vuče ništa uvis, nego da je nešto gura odozdo - i da to nešto jeste normalan pritisak vazduha. Kad pumpa isisava vazduh iznad stuba vode, na tom mestu nastaje manji pritisak, ali pošto normalan vazduh svuda oko te pumpe vrši na površinu vode jak pritisak (pa i na vodu koja je utonula u slojeve zemlje oko bunara), voda mora da se pomakne nagore. Godinu dana posle Galilejeve smrti, Toričeli je proverio ovu svoju teoriju. Računao je ovako: pošto je živa 13,5 puta gušća od vode, trebalo bi da potisak vazduha odgura živu uvis kroz cev 13,5 puta manje nego što uspeva vodu; a to bi bilo oko 760 milimetara. Toričeli je nabavio debelu staklenu cev dugačku oko 1 metar, zatvorenu na dnu. Obavio je jedan jednostavan opit. Nasuo je u tu

cev živu, sve do vrha. Uzeo je čep i zatvorio cev. Onda je prevrnuo cev naopačke, zagnjurio u činiju punu žive i izvukao čep. Jedan deo tog tečnog metala izlio se iz cevi u zdelu. Ali, baš kao što je Toričeli predvideo, 760 milimetara živinog stuba ostalo je u cevi.

Ovaj događaj od prekretnog značaja u fizici često se pominje kao pronalazak prvog barometra, što, dabome, i jeste. Toričeli je opazio da se visina živinog stuba menja iz dana u dan zato što i pritisak vazduha varira. Toričelijeva cev merila je ove fluktuacije atmosferskog pritiska. Ali nas ovde zanima nešto kudikamo značajnije. Hajde da zaboravimo taj stub žive visok trideset palaca i da gledamo samo onih praznih devet palčeva na onom kraju cevi koji je sada gore. Tu stvarno nema ničega. Praznina. Staklena cev, a u tom njenom delu nema žive, ali ni vazduha. Dobro, nije baš sasvim tako; to je prilično dobar vakuum, ali živa isparava, pa se tu nađe pogdekoji molekul živine pare, i to, u zavisnosti od temperature, možda malo više ili malo manje. Taj vakuum možemo meriti jedinicom za pritisak koja se zove 'tor' po Toričeliju (ali je danas izvan sistema prihvaćenih mernih jedinica) i kazati da iznosi oko  $10^{-6}$  tora, a to znači oko jedan milijarditi deo normalnog vazdušnog pritiska. Moderne pumpe postižu  $10^{-11}$  tora, pa i bolje od toga. U svakom slučaju, Toričeli je postigao prvi veštački stvoreni visokokvalitetni vakuum. Od tog zaključka nije se moglo odstupiti - nije se imalo na koju stranu uzmicati. Možda se priroda užasava, a možda se i ne užasava vakuuma, ali svakako mora da ga otrpi ponegde.

E, sad kad smo dokazali da postoji prazan prostor, bilo je potrebno da nađemo i atome koje ćemo u njega staviti.

## **SABIJANJE GASA**

Nastupa Robert Bojl (Robert Boyle). Ovog hemičara, po rođenju Irca, drugi hemičari optuživali su da razmišlja odveć fizičarski, a nedovoljno hemičarski, ali njegova dostignuća nesumnjivo spadaju prvenstveno u oblast hemije. Bio je to eksperimentator čiji su se mnogi opiti pokazali kao sasvim neuspešni i uzaludni - pa ipak, on je unapredio zamisao atomizma u Engleskoj i na evropskom kontinentu. Bio je poznat kao otac hemije i ujak Erla od Korke.

Pod uticajem Toričelijevog rada, Bojl se oduševljeno posvetio raznim vakuumima. Unajmio je Roberta Huka, onog istog 'Maleckog' koji je toliko voleo Njutna, da mu napravi bolju pumpu za vazduh. Vazdušna pumpa navodila je na razmišljanje o gasovima, za koje je Bojl uvideo da su ključ za atomizam. Ovde mu je možda i pomogao Huk, koji je ukazao na to da pritisak gasa na zidove posude u koju je gas zarobljen - pritisak, recimo, vazduha iznutra na zidove balona - može biti posledica navaljivanja cele 'bujice' atoma. Ne vidimo na balonu pojedinačna ispuščenja zato što je bujica sačinjena od milijardi i milijardi atoma koji navaljuju na zid i stvaraju privid glatkog potiska prema spolja.

Kao i Toričeli, Bojl je upotrebio za svoj opit živu. Uzeo je staklenu cev u obliku latiničnog velikog slova 'J', visoku oko 220 centimetara; potpuno je zatvorio taj donji, kraći kraj (malo povijen nagore); zatim je u onaj visoki, otvoreni deo cevi počeo da sipa živu. Živa se prvo slila na dno i izvesna količina vazduha ostala je 'uhvaćena u klopku' u kraćem, nagore povijenom kraju 'J'. Što je više žive Bojl dolivao, to se više smanjivao vidljivi prostor u kome se nalazio taj zarobljeni vazduh. Ali se u isto vreme povećavao pritisak u tom prostoru, što se lako videlo po činjenici da je u otvorenom, visokom kraku tog staklenog 'slova J' stub žive bio sve viši i viši u odnosu na stub žive u kratkom, zatvorenom kraku. Tu razliku u visini lako je bilo izmeriti. Bojl je ustanovio da se zapremina vazduha menja obrnuto srazmerno pritisku koji na njega izvršimo. Pritisak na vazduh u kraćem, povijenom delu cevi posledica je dodatne težine višeg stuba žive, ali i normalnog atmosferskog pritiska koji površinu te žive gura nadole. Kad je Bojl dolio toliko žive da se pritisak udvostručio, zapremina zarobljenog vazduha smanjila se na polovinu. Kad je pritisak postao triput veći, vazduh se sabio u trećinu negdašnje zapremine i tako dalje. Ovaj efekat postao je poznat kao Bojlov zakon, i, evo, i do danas je jedan od uporišnih zakona hemije.

Još važnija posledica, izvanredno značajna, jeste zaključak da se vazduh, a i svaki drugi gas, može sabijati. Jedan od načina da ovo shvatimo jeste da pretpostavimo da se gas sastoji od čestica razdvojenih praznim prostorom. Pritisak ih sabija da budu sve bliže i bliže jedna drugoj. Da li je to dokaz da atomi postoje? Nažalost, moguće je zamisliti i druga objašnjenja; Bojlov opit je samo pružio naučnicima dokaz koji jeste u skladu sa atomističkom teorijom. Ali i taj jedan dokaz bio je dovoljan da ubedi neke naučnike, među kojima se našao i Isak Njutn, da treba krenuti putevima atomističke teorije materije. Bojlov opit je, osim toga, bacio barem jedan izazov u lice Aristotelovoj teoriji da je materija kontinualna, svuda povezana i neprekinuta. Ostao je problem sa tečnostima i sa čvrstim telima; ni jedno ni drugo ne možeš sabijati tako zgodno kao gasove. To, međutim, nije značilo da tečnosti i čvrsta tela nisu sačinjeni od atoma; samo je značilo da sadrže manje praznog prostora.

Bojl je bio veliki borac za načelo da treba vršiti opite; u sedamnaestom veku, opit je, i posle uspeha koje su postigli Galilej i drugi, još bio smatran za nešto sumnjivo. Bojl je vodio dugu raspravu sa holandskim filozofom Benediktom Spinozom (Benedict Spinoza), koji se, inače, bavio glačanjem sočiva; pitanje je bilo mogu li se opitima pribavljati dokazi. Po Spinozi, jedino logičkim razmišljanjem čovek može uopšte nešto dokazati; a opit je naprosto sredstvo za potvrđivanje ili obaranje pojedinih zamisli. Čak i neki veliki naučnici kao Hajgens i Lajbnic gledali su na vršenje opita podozrivo. Oduvek eksperimentatori moraju u svoje bitke da kreću uzbrdo.

Bojllova nastojanja da dokaže da postoje atomi (ali on je za njih govorio da su 'korpuskule') unapredila su hemiju, koja je tad bila u stanju popriličnog rasula. Preovlađujuće uverenje u tim vremenima bilo je ono prastaro Empedoklovo o četiri elementa, a to su vazduh, zemlja, vatra i voda; samo su, tokom godina, dodati neki novi: so, sumpor, živa, flegma ('flegma?!'), ulje, špiritus, kiselina i alkal. U sedamnaestom veku verovalo se ne samo da su to najjednostavnije tvari poznate po raspoloživoj teoriji nego se smatralo i da su to ključni sastojci svega. Mislilo se, na primer, da je u svakom jedinjenju prisutna kiselina. Kako su hemičari morali biti zbunjeni! Sa takvim polaznim pretpostavkama, sigurno im je bilo nemoguće da ispituju čak i najjednostavniju reakciju. Bojllova telašca vodila su ka jednom metodu analize jedinjenja koji je mnogo jednostavniji zato što je u znatno većoj meri redukcionistički.

## **IGRA NAZIVIMA**

Jedan od problema sa kojima su se hemičari suočavali u sedamnaestom i osamnaestom veku bio je taj što su mnogim hemikalijama nazivi davani na besmislen način. Antoan Loran Lavoazije (Antoine Laurent Lavoisier) izmenio je sve to godine 1787. tako što je objavio svoje klasično delo Metoda hemijske nomenklature. Lavoazijea bismo mogli nazvati 'Isak Njutn hemije'. (Ko zna, možda hemičari kažu da je Isak Njutn bio 'Lavoazije fizike'.)

Lavoazije je bio zapanjujući lik. Dokazao se kao geolog odličnim radom u toj oblasti. Bio je i pionir u naučnom radu u oblasti agrotehnike, takođe je bio izvrstan finansijer, ali i socijalni reformator koji je doprineo izbijanju francuske građanske revolucije. Uspostavio je nov sistem težinskih i drugih mernih jedinica, što je dovelo do uspostavljanja sistema metar-kilogram-sekund, koji je na kraju preovladao u civilizovanim nacijama. (Tokom devedesetih godina dvadesetog veka Sjedinjene Američke Države počinju mic-po-mic da se kreću u tom istom pravcu, da bi smanjile svoju zaostalost.)

Prethodno stoleće proizvelo je planinu podataka, ali beznadežno dezorganizovanih. Nazivi pojedinih tvari - pomfoliks, kolkothar, arsenikov maslac, cinkov cvet, orpiment, bojni etiop - bili su živopisni, ali nisu davali nikakav nagoveštaj o redu ili poretku koji bi ispod njih mogao postojati. Jedan od Lavoazijeovih mentora rekao mu je jednom prilikom da "umetnost razmišljanja nije ništa drugo do jezik dobro uređen" i Lavoazije je to najozbiljnije shvatio. Preuzeo je, kasnije, na svoja pleća zadatak da reorganizuje celu hemiju i da odredi nove nazive za sve u njoj. Bojni etiop je preimenovao u oksid gvožđa; orpiment tada postade arsenik-sulfid. Razni prefiksi kao 'oks' i 'sulf', i sufiksi kao 'id' i 'ik' pomogli su da se srede i katalogizuju nebrojene hiljade jedinjenja. Koliko vredi sam



naziv? Ponekad je nomenklatura sudbina. Da li bi Arčibald Lič dobio onolike glavne uloge u filmovima da nije promenio ime u Keri Grant?

Posao pred Lavoazijeom nije bio baš tako jednostavan. Da bi mogao da revidira nomenklaturu, morao je prvo da revidira samu hemijsku teoriju. Lavoazijeovi glavni doprinosi hemiji bili su u vezi sa prirodom gasova i prirodom sagorevanja. Hemičari osamnaestog veka verovali su da ako zagrevaš vodu, ona se polako pretvara u vazduh; smatrali su da je vazduh jedini pravi gas. Lavoazijeove studije dovele su do uviđanja da svaki hemijski element može postojati u tri agregatna stanja, a to su čvrsto, tečno i gasovito. Lavoazije je ustanovio da je sagorevanje hemijska reakcija u kojoj se stvari kao što su ugljenik, sumpor ili fosfor vezuju sa kiseonikom. Srušio je teoriju o flogistonu, jednu tipično aristotelovsku prepreku shvatanju stvarne prirode hemijskih reakcija. I ne samo to: Lavoazijeov stil istraživanja, zasnovan na preciznosti, izvršnoj opitnoj tehnici i kritičkoj analizi dobijenih podataka, postavio je hemiju na put kojim se ona i danas kreće. Lavoazijeov neposredan doprinos atomizmu bio je neznatan, ali je Lavoazije postavio celokupnu hemijsku nauku na čvrste temelje, bez kojih naučnici u sledećem veku ne bi uspeali da daju neposredne dokaze o postojanju atoma.

## **PELIKAN I BALON**

Voda je očaravala Lavoazijea. U ono vreme, mnogi naučnici još su verovali da je voda jedan od osnovnih elemenata i da se ne može razložiti na sastojke. Neki su verovali i u transmutaciju - na primer, da se voda može pretvoriti u zemlju. Bilo je i opita kojima su ovo dokazivali. Staviš kotao vode na vatru i posle dužeg ključanja na vodi počne da se stvara jedan sloj od čvrstih ostataka. To se voda počela pretvarati u čvršće elemente, rekli bi takvi naučnici. Čak i veliki Robert Bojl verovao je u transmutaciju. Vršio je opite sa biljkama i dokazao da one, dok rastu, upijaju vodu. Ergo, voda se pretvara u lišće, stabljike, cveće... Sad vidimo zašto mnogi ljudi nisu imali poverenja u opite. Jer zaključci kao ova dva dovoljni su da čovek, maltene, pređe na Spinozinu stranu.

Lavoazije je video da u takvim opitima postoji greška u merenju. Uradio je i on jedan opit u vezi sa ključanjem vode, ali tako što je uzeo isključivo destilisanu vodu i zatvorio je u posebnu posudu zvanu 'pelikan'. Ta posuda ne daje dobijenoj vodenoj pari da iziđe na bilo koju stranu, nego je zarobljava i kondenzuje; kondenzovana, ona se sliva u jedan loptasti deo odakle se kroz dve cevi nalik na ručke vraća u onaj deo u kome ključa. Dakle, ni najmanja količina vode nije se mogla izgubiti. Lavoazije je pažljivo izmerio pelikan, zatim i destilisanu vodu, a onda ostavio vodu da tako ključa 101 dan bez prestanka. Na kraju ovog dugotrajnog opita, na dnu se stvarno našla primetna količina čvrste materije. Lavoazije je tada pažljivo izmerio vodu posebno, pelikan posebno, i taj čvrsti ostatak posebno. Pokazalo se da je težina vode ostala tačno ista i posle sto jednog dana kuvanja, što nam kazuje nešto o pomnosti Lavoazijeove tehnike. Pelikan je, međutim, bio malo lakši. Težina čvrstog taloga bila je jednaka onome što je pelikan izgubio. Taj ostatak, na dnu, nije bila 'transmutovana voda' nego su to bili deliци silikatnog stakla rastvoreni tokom kuvanja. Lavoazije je pokazao da su opiti bez preciznog merenja bezvredni, da čak mogu zavesti čoveka na sasvim pogrešne puteve. Lavoazije je imao jednu preciznu ravnotežnu vagu sa dva jednaka tase i sa tegovima; za takvu vagu kažemo da su to 'apotekarske terazije'. Te apotekarske terazije bile su njegovu violina, na kojoj je znao da svira tako dobro da je postigao revoluciju u hemiji.

Toliko o transmutaciji. Ali mnogi ljudi, pa i sam Lavoazije, još su verovali da je voda osnovni element. Tu zabludu odagnao je sam Lavoazije. Naime, napravio je aparat sa dva mlaznika, pa je kroz njih puštao mlazeve dva različita gasa i pokušavao da ih zapali ne bi li se spojili u nešto treće. Jednog dana odlučio je da to uradi sa kiseonikom i vodonikom, očekujući da se spoje u nekakvu kiselinu ili tako nešto. Međutim, dobio je vodu. Čak je i opisao tu vodu, rekao je da je "čista poput destilovane vode". A zašto i da ne bude čista? Pravio ju je polazeći od početka. Tad je postalo očigledno da voda nije element sveta, nego da je tvar koja se može napraviti tako što dva dela vodonika spališ u jednom delu kiseonika.

Godine 1783. desio se istorijski događaj koji je posredno unapredio hemiju. Braća Mongolfje (Mongolfier) izvela su tada prve letove balona sa ljudskom posadom; za pogon balona služio je vruć vazduh. Ubrzo posle toga izvesni J. A. K. Šarl (J. A. C. Charles), koji je bio ni manje ni više nego nastavnik fizike, napunio je svoj balon vodonikom i digao se na oko tri hiljade metara. Lavoazijea je ovo zadivilo; mislio je na mogućnost da se ljudi takvim balonima dižu iznad oblaka da bi proučavali meteore. Ubrzo je Lavoazije naimenovan za člana odbora koji je imao zadatak da istraži kako bi se gas za balone mogao proizvoditi u velikim količinama. Lavoazije je namestio topovsku cev, napunio je gvozdanim prstenovima, zagrejao do užarenosti i onda puštao vodu da prolazi kroz to. Dobijale su se, stvarno, velike količine vodonika, jer se voda razložila na svoje sastavne elemente.

Sad više niko pametan nije verovao da je voda element. Međutim, Lavoazijea je čekalo još veće iznenađenje. Razlagao je ogromne količine vode na vodonik i kiseonik, ali je razmera između ta dva ispadala svaki put tačno ista. Nije se mogao izbeći zaključak da tu postoji neki fini mehanizam koji bi se mogao objasniti nečim što je u nekoj vezi sa atomima.

Lavoazije nije mnogo nagađao o atomizmu, samo je rekao da u hemiji deluju neke jednostavne, nedeljive čestice o kojima ne znamo mnogo. Ali, vidite, on nije dobio priliku da sedne onako penzionerski, osmotri celu svoju karijeru i napiše memoare, u kojima bi mogao izneti neka dalja razmišljanja o atomima. Bio je učesnik u revoluciji još od početka, ali je tokom razdoblja zvanog 'teror' pao u nemilost i odveden na giljotinu godine 1794, kad mu je bilo tek pedeset godina.

Na dan kad je nad Lavoazijeom izvršena smrtna kazna, geometar Žozef Luj Lagranž (Joseph Louis Lagrange) sumirao je ovu tragediju rečima: "Njima je bio dovoljan samo jedan tren da odseku tu glavu, a nova takva neće nastati možda ni u sledećih sto godina."

## **POVRATAK ATOMU**

Implikacije Lavoazijeovog rada ispitivao je, jedno pokolenje kasnije, skromni engleski nastavnik, građanin iz srednje društvene klase, Džon Dalton (John Dalton). Tek sa Daltonom konačno imamo našu klasičnu sliku naučnika pogodnu za televizijske filmove. Izgleda da se u njegovom ličnom životu nije nikad desilo ništa. Nije se nikad ni oženio. Govorio je: "Glava mi je toliko puna trouglova, hemijskih procesa, električnih opita i sličnog, da nemam kad da mislim o ženidbi." Za njega je dan velikih događaja bio ako se prošeta po gradu i možda ode na sastanak verske zajednice kveкера.

Dalton je počeo kao skromni nastavnik u školi internatskog tipa, gde je slobodno vreme ispunjavao čitajući dela Njutna i Bojla. Više od deset godina bio je na tom radnom mestu, a onda se ubacio da bude nastavnik matematike u jednom koledžu u Mančesteru. Kad je tamo stigao, saopštili su mu da će morati takođe da drži časove hemije. Uložio je žalbu, jer je to značilo dvadeset jedan sat nastave nedeljno! Godine 1800. daje ostavku i otvara svoju sopstvenu nastavnu akademiju, što mu je dalo vremena da se bavi istraživanjima u oblasti hemije. Među naučnicima se smatralo da je Džon Dalton jedva nešto malo više od amatera - sve dok nije otkrio svetu svoju atomsku teoriju, a to je učinio između 1803. i 1808. godine, dakle na početku devetnaestog veka. Koliko je nama poznato, Dalton je bio prvi koji je i formalno vaskrsnuo Demokritov termin atom, u značenju: sićušna pojedinačna čestica koja, zajedno sa još mnogo takvih, sačinjava materiju. Ali uneo je izmenu. Pamtimo da su kod Demokrita atomi različitih tvari imali različite oblike. Tu ključnu ulogu kod Daltona je preuzela težina.

Ova atomska teorija bila je Daltonov najveći doprinos nauci. Neki ljudi pričaju da je otkriće atoma tada već 'visilo u vazduhu' (a i jeste), neki istoričari kažu da se Daltonu pripisuje više zasluga nego što ih zavrđuje, ali, u svakom slučaju, niko ne dovodi u pitanje činjenicu da je njegova teorija zapanjujuće uticala na atomsku teoriju hemije - disciplinu koja je uskoro postala jedna od najuticajnijih u celokupnoj nauci, prodirući u mnoge druge oblasti. Sasvim je u redu to što je prvi opitni 'dokaz' o postojanju atoma došao upravo iz hemije. Pamtimo kako su strastveno antički Grci pokušavali da vide

nešto nepromenljivo, jedno 'arhe', u ovom svetu gde se stalno sve menja. Ovu krizu razrešio je a-tom. Samo premeštaš i preraspoređuješ a-tome i postigneš koju god promenu želiš, ali čvrsta stena na kojoj se temelji naše postojanje, a ta stena je a-tom, ostaje nepromenljiva. U hemiji, srazmerno mali broj vrsta atoma daje ogromne mogućnosti izbora zato što postoji ogroman broj mogućih kombinacija: jedan ugljenikov atom može se kombinovati sa jednim kiseonikom, ili sa dva; vodonik sa kiseonikom, ili sa hlorom, ili sa sumporom i tako dalje, pa ipak atomi vodonika ostaju uvek vodonik - svi su međusobno jednaki i ne mogu se izmeniti nikako. Uh, baš smo se zaleteli, a zaboravismo našeg junaka, Daltona.

Pošto je primetio da se osobine gasova najbolje mogu objasniti postulatom o atomima, Dalton je prionuo na posao da ovu zamisao primeni na hemijske reakcije. Primetio je da svako hemijsko jedinjenje uvek sadrži svoje sastavne elemente u razmeri koja ostaje ista, težinski gledano. Na primer, ugljenik i kiseonik se kombinuju i daju ugljen-monoksid (CO). Ako hoćeš da napraviš ugljen-monoksid, uvek će ti biti potrebno 12 grama ugljenika i 16 grama kiseonika, ili 12 kilograma ugljenika i 16 kilograma kiseonika; koju god težinsku jedinicu da želiš, uzmi je, ali razmera će uvek ostati 12:16. Kako bi se ovo moglo objasniti? Ako jedan atom ugljenika ima težinu od 12 nekih sitnih jedinica, a jedan atom kiseonika težinu od 16 istih tih sitnih jedinica, onda, prilikom spajanja makar i najvećih količina ta dva elementa, mora iskrsnuti ista ta razmera. Ovo samo po sebi ne bi bio jak argument u prilog atoma. Međutim, možeš praviti razna jedinjenja vodonika sa kiseonikom i sa ugljenikom, i razmera će uvek biti 1 prema 12 prema 16. Sad već počinju da ponestaju alternativna objašnjenja. A kad se ista ta logika uspešno primeni na stotine raznih jedinjenja, atomi ostaju jedino razumno objašnjenje.

Dalton je izveo revoluciju u nauci tako što je proglasio da je atom osnovna jedinica svakog hemijskog elementa i da svaki hemijski atom ima svoju sopstvenu, određenu, težinu. Evo kako to piše sam Dalton, godine 1808:

Postoje tri jasno različita tela po vrstama, ili tri stanja, koja su naročito privukla pažnju filozofskih hemičara; a to jesu stanja označena nazivima elastični fluidi, tečnosti i čvrsta tela. Jedan vrlo slavan primer jeste voda koja nam se ukazuje kao tvar sposobna, pod određenim okolnostima, da sva ta tri stanja poprimi. U vodenoj pari mi prepoznajemo savršeno elastičan fluid, u vodi savršenu tečnost, a u ledu telo sasvim čvrsto. Ova opažanja tiho su dovela do zaključka koji izgleda da je opšteprihvaćen, a po kome sva tela opazivo velika, svejedno da li tečna ili čvrsta, jesu sastavljena od ogromnog broja krajnje malenih čestica ili atoma materije, povezanih silom privlačenja, koja je manje ili više jaka, zavisno od okolnosti...

Hemijska analiza i sinteza ne idu dalje od toga nego da organizuju razdvajanje čestica jednih od čestica drugih i njihovo ponovno spajanje. Nikakvo novo stvaranje, a ni uništavanje materije nije u domašaju delanja hemijskih agenasa. Kao da pokušavamo dovući neku novu planetu u Sunčevi sistem, ili pak uništiti neku već postojeću, tako bi bilo kad bismo hteli česticu vodonika stvoriti ili uništiti. Sve promene koje mi možemo izazvati sastoje se u tome da razdvojimo čestice koje su u stanju povezanom ili one koje su malopre bile udaljene sada da zblizimo.

Zanimljiva je suprotnost u naučnom stilu Lavoazijea i Daltona. Dok je Lavoazije bio pomni meritelj, držao do preciznosti i time postigao dramatično preustrojavanje hemijske metodologije, Dalton je činio mnogo grešaka. Ubeležio je broj 7 umesto 8 za relativnu težinu kiseonika u odnosu na vodonik. Pogrešno je shvatio sastav vode, kao i amonijaka. Pa ipak, postigao je jedno od najdubljih naučnih otkrića te epohe: posle 2.200 godina nagađanja i mutnih spekulacija, dokazao je baš on, Džon Dalton, da atomi stvarno postoje. Predstavio je javnosti novi pogled na stvari, koji, "ako se ustali, što ja ne sumnjem da vremenom hoće, onda će proizvesti najzamašnije promene u sistemu hemije i svesti je celu na jednu nauku velike jednostavnosti." A njegov aparat nije bio moćan mikroskop, niti akcelerator čestica, nego pregršt epruveta, jedne precizne apotekarske terazije, hemijska naučna literatura onog vremena i stvaralačko nadahnuće.

Ono čemu je Dalton nadenuo naziv atom svakako nije a-tom iz Demokritovih predviđanja. Sada znamo da atom kiseonika, na primer, nije nedeljiv. On ima svoju

podstrukturu, i to veoma složenu. Ali taj naziv zadržao se u upotrebi: kad se danas normalno kaže atom, misli se na Daltonov atom. A to je, zapravo, hemijski atom, najmanji mogući komadić nekog hemijskog elementa, kao što su vodonik, kiseonik, ugljenik ili uran.

Naslov u dnevnom listu Rojal Enkvajerer iz 1815. godine:

HEMIČAR NAŠAO KONAČNU ČESTICU  
OSTAVLJA BOA-DAVITELJE I URIN

S vremena na (ogromno) vreme, dogodi se da neki naučnik dođe do saznanja koje je tako jednostavno i elegantno da naprosto mora biti istinito, saznanja koje, čini se, rešava jednim brzim potezom neki problem koji je mučio nauku hiljadama godina. S vremena na (sto puta ogromnije) vreme, dogodi se da je taj naučnik u pravu.

O Vilijemu Prautu (William Prout) možete reći samo to da je bio blizu, tako blizu... Njegov predlog bio je jedan od nekoliko najvećih 'Uh! zamalo!' predloga u njegovom stoleću. Nagađao je, a kad je svoju tvrdnju izneo, odbačena je, ali iz pogrešnog razloga, pa i to uglavnom sticajem nesrećnih okolnosti. Negde oko 1815. godine ovaj engleski hemičar pomislio je da je našao česticu od koje je sagrađena sva materija: atom vodonika.

Hajde da budemo poštteni prema njemu. Zamisao je bila duboka, elegantna, a pogrešna 'samo malčice'. Prout je radio ono što dobar naučnik treba da radi: tragao je za jednostavnošću, kao što nas još grčka tradicija uči. Tražio je, među dvadeset pet hemijskih elemenata poznatih u ono vreme, najmanji zajednički sadržalac. Valja priznati da je malo odlutao iz polja svoje stručnosti. Glavno postignuće po kome je bio poznat savremenima sastojalo se u tome što je napisao celovit priručnik o mokraći. Osim toga, obavljao je opširne opite sa izmetom zmijske koja se zove boa-davitelj. Kako ga je to dovelo do atomizma, ne bih da nagađam.

Prautu je bilo jasno da vodonik ima atomsku težinu 1 i da je najlakši od svih elemenata. Pa, možda je onda to 'osnovna materija', rekao je on, možda su svi ostali elementi samo kombinacije vodonikovih atoma. Vođen duhom drevnih mudraca, dao je ovoj svojoj kvintesenciji naziv 'protajl'. Njegova zamisao bila je poprilično razumna, jer atomske težine većine hemijskih elemenata bile su otprilike celi prirodni brojevi, i mogle su se dobiti tako da naprosto pomnožiš težinu vodonikovog atoma sa nekim celim brojem. Naime, tako je izgledalo zato što je merenje relativne atomske težine tada obavljano najčešće prilično približno. Ali ta merenja su polako postajala sve tačnija i tada je Prautova hipoteza opovrgnuta (iz pogrešnog razloga). Nađeno je da hlor, na primer, ima relativnu atomsku težinu od 35,5. Time je Prautova zamisao bila oborena, jer ne može postojati pola atoma. A mi sada znamo da je prirodni hlor mešavina dva izotopa hlora - dakle, dve varijacije. Jedan izotop je 'težak 35 vodonika' a drugi izotop je 'težak 37 vodonika'. A to nisu nikakvi vodonici, nego su to protoni i neutroni, koji imaju maltene istu masu kao vodonikov atom.

Ono što je Prout svojom hipotezom predvideo bilo je da bi mogao postojati jedan nukleon (nukleoni su čestice u jezgru; postoje dva nukleona, jedan je proton, drugi je neutron) koji bi bio univerzalna 'opeka' od koje je sva materija sazdana. To je Prout đavolski dobro pokušao. Potera za sistemom koji se ne sastoji od 25 elemenata, nego od nečeg jednostavnijeg, neminovno je morala uspeti, kad-tad.

Ali ne u devetnaestom veku.

## **KARTANJE S ELEMENTIMA**

Našu navrat-nanos jurnjavu kroz više od dvesta godina hemije završavamo čovekom po imenu Dmitrij Mendeljejev. Taj hemičar rodio se u Sibiru. On je napravio periodni sistem elemenata. Ta njegova tablica bila je ogroman korak napred u klasifikovanju hemijskih elemenata; istovremeno, značila je napredak u traganju za Demokritovim atomom.

Ali Mendeljejev je u svome životu istrpeo mnogo ljudske mržnje i zlobe. Tog čudaka - hranio se uglavnom kiselim mlekom (isprobavao je tačnost neke tadašnje mode u medicini) - upravo su zbog tablice periodnosti elemenata grubo ismevale kolege. Uvek je bio na strani studenata kada su iskrsavali problemi na Petrogradskom univerzitetu; i kad ih je podržao, već pred kraj svoje karijere, u nekom studentskom štrajku, univerzitetske vlasti su ga izbacile s posla.

Da nije imao studente, moguće je da nikada ne bi načinio periodni sistem. Kad je naimenovan da predaje na katedri za hemiju, godine 1867, Mendeljejev nije mogao naći dobar udžbenik koji bi preporučio studentima, pa je zato prionuo da ga napiše sam. Hemiju je sagledavao kao 'nauku o masi' - eto opet te usmerenosti naučnika na masu - a prilikom pisanja udžbenika dosetio se da poznate elemente poređa naprosto po redosledu njihove atomske težine.

To je uradio tako što je igrao karte. Napravio je karte kao za kartanje, ali prazne, pogodne da se na njima nešto zapisuje; zapisao je na svakoj simbol za po jedan hemijski element. Ali uz to je zapisao i njihove atomske težine i razne odlike (na primer, natrijum, aktivan metal; argon, inertan gas). Mendeljejev je voleo jednu igru sa kartama zvanu pasijans. I tako je on ređao pasijans, nameštajući karte po redosledu njihovih atomskih težina, od vodonika pa redom ka sve težim i težim elementima. Onda je otkrio da tu postoji izvesna periodičnost. Slične hemijske odlike pojavile su se i po nekoliko puta na svakoj osmoj karti. Na primer, litijum, natrijum i kalijum su hemijski aktivni metali, a nalaze se na položajama 3, 11 i 19. Slično tome, vodonik (1), fluor (9) i hlor (17) su aktivni gasovi. On je poređao pasijans drugačije, tako da je sad dobio osam uspravnih redova. U svakom stupcu našli su se elementi sa sličnim osobinama.

Mendeljejev je učinio još nešto neobično. Nije na silu popunio svako prazno mesto. Kao i u kartanju, znao je da je poneka dobra karta skrivena. Želeo je tablicu koja će izgledati razumno kad se čita i uspravno i vodoravno. Ako u sistemu postoji jedno prazno mesto, a sistem zahteva da tu bude neki element koji bi imao određene osobine, a takav element još nije otkriven - pa, ništa zato, nek ostane mesto nepopunjeno. Bolje tako, nego da se neki poznati element ugura tamo gde mu mesto nije. Samo, Mendeljejev je svakoj takvoj praznini nadenuo naziv, koristeći neobični prefiks 'eka' koji na jeziku sanskrit znači 'jedan'. Rupu ispod aluminijuma nazvao je eka-aluminijum, a rupu ispod silicijuma nazvao je eka-silicijum.

Te rupe u sistemu bile su jedan od povoda za podsmevanje mnogih kolega Mendeljejeva. Kad, ono, pet godina kasnije, otkriven je galijum i pokazalo se da je popunio rupu 'eka-aluminijum' i da ima sve one osobine koje je Mendeljejev predvideo. A godine 1886. otkriše naučnici i germanijum i, gle čuda, on tačno popuni rupu 'eka-silicijum' i pokaza se da igra hemijskog pasijansa nije baš tolika glupost.

Jedan od činilaca koji su učinili Mendeljejevljevu tablicu mogućom bilo je i to što su hemičari postali precizniji u merenju atomskih težina elemenata. Mendeljejev je lično obavio neka merenja i ispravio neke od dotadašnjih grešaka, i time samo navukao na sebe ljutu mržnju onih naučnika 'od autoriteta' čije je rezultate revidirao.

Otkud te pravilnosti u periodnoj tablici, to nikome nije bilo jasno sve dok, u dvadesetom veku, nisu otkriveni jezgro atoma i kvantni atom. Zapravo, objavljivanje periodne tablice u prvi mah obeshrabrilo je naučnike. Pedesetak popunjenih mesta na tablici, a svaku popunjavanja nešto što bi trebalo da bude 'atom' - dakle, jedan od osnovnih sastojaka cele Vaseljene, sastojaka koji navodno ne mogu biti deljeni na bilo šta sitnije. Ovaj broj je brzo rastao i dostigao devedeset. Potkraj devetnaestog veka, sam pogled na periodni sistem elemenata mogao je navesti mnoge naučnike na očajavanje. Pa, gde je to jednostavno jedinstvo za kojim toliko tragamo već dvadeset i nekoliko vekova? Međutim, upravo onaj red koji je Mendeljejev pronašao u opštem 'haosu' elemenata ukazivao je na postojanje dublje jednostavnosti. Kad gledamo ondašnju tablicu, ali sa znanjem koje sada imamo, jasno nam je da je ta tablica naprosto molila da se neko smiluje i kaže da atomi imaju određenu unutrašnju strukturu koja se periodično ponavlja. Ali ne; hemičari nisu bili spremni da odustanu od zamisli da je atom vodonika nedeljiv, atom kiseonika nedeljiv i tako dalje - da je svaki nedeljiv. Međutim, nauka će izvesti nešto uspešniji napad iz jednog drugog pravca.

Nemojte bacati na Mendeljejeva krivicu što mu je sistem bio tako složen. Čovek je naprosto organizovao džumbus u nekakav red, koliko je najbolje bilo moguće; radio je ono što dobri naučnici rade - tragao za redom usred složenosti. Za života nije dobio od svojih kolega zaslužen priznanje, a ni Nobelovu nagradu, iako je bio živ još nekoliko godina po ustanovljenju te nagrade. Ali kad je umro, godine 1907, dobio je najveću moguću počast za jednog nastavnika. Grupa studenata išla je iza pogrebne povorke, noseći visoko iznad glave podignutu tablicu sa njegovim periodnim sistemom elemenata. To i jeste ono što je ostavio u nasleđe ljudskom rodu: tu tablicu, koja danas visi na zidu svake laboratorije i svakog kabineta za hemiju u svim srednjim školama na ovom svetu.

A sada na poslednjoj etapi ovog oscilirajućeg razvoja klasične fizike napuštamo izučavanja materije i čestica i vraćamo se proučavanju sile. U ovom slučaju, elektriciteta. U devetnaestom veku, smatralo se da je poznavanje elektriciteta praktično zasebna nauka.

Bila je to tajanstvena sila. U prvo vreme činilo se da nigde u prirodi ne nastaje spontano, osim u jednom zastrašujućem obliku, a to je munja. Zato su istraživači morali da urade jednu 'neprirodnu' stvar: prvo da proizvedu ovu pojavu, a tek onda da je proučavaju. Danas znamo, međutim, da je elektricitet svuda; sva materija je električne prirode. Ovo imajte na umu kad stignemo u moderna vremena, kad počnemo raspravu o egzotičnim česticama koje se proizvode u akceleratorima. I elektricitet je smatran za nešto egzotično u devetnaestom veku, ne manje nego kvarkovi danas. A gle kako smo se danas okružili elektricitetom. To je još jedan primer kako ljudska bića umeju da menjaju svoju životnu okolinu.

Mnogi ljudi postadoše heroji elektriciteta i magnetizma u ovom ranom razdoblju; imena mnogih takvih data su raznim električnim jedinicama. Jedan od njih je Šarl Ogisten de Kulon (Charles Augustin de Coulomb) po kome je nazvana jedinica za količinu elektriciteta, kulon. Idemo dalje. Andre Amper (André Ampere) - jedinica za jačinu električne struje, amper. Georg Om (Georg Ohm) - jedinica za električni otpor, om. Džejms Vat (James Watt) - jedinica za snagu, vat. Tu je negde i Džejms Džul (James Joule) po kome nazvaše jedinicu za rad i energiju, džul. Luiđi Galvani (Luigi Galvani) nam je dao galvanometar, spravicu za merenje električnih struja, a Alesandro Volta (Alessandro Volta) dao nam je volt, jedinicu za napon, to jest potencijal, odnosno elektromotornu silu. Slično tome su K. F. Gaus (C. F. Gauss), Hans Kristijan Ersted (Hans Christian Oersted) i V. E. Veber (W. E. Weber) ostavili trag u nauci, a svoja imena raznim mernim jedinicama i količinama sračunatim da seju užas i gađenje kroz redove budućih studenata elektrotehnike. Samo Bendžamin Frenklin - ništa. Nijedna električna jedinica danas se po njemu ne zove, iako je dao značajne doprinose. Jadni Ben! Pa, dobro, ali se jedna vrsta furunice zove po njemu, a osim toga njegov je portret na novčanicama od sto dolara. Frenklin je primetio da postoje dve vrste elektriciteta. Mogao im je dati nazive Joca i Moca, ali on je odlučio da ih nazove plus (+) i minus (-). Frenklin je odredio da se količina elektriciteta koja postoji na nekom telu zove 'električni naboj' ili 'naelektrisanje'. Otkrio je i pravilo o očuvanju naboja, koje se sastoji u tome što kad elektricitet biva prenet sa jednog tela na drugo, zbir naboja koji su bili pre i koji su nastali posle tog prenosa mora biti jednak nuli. Ali među svim ovim naučnicima stoje samo dva diva, i to dva Britanca, Majkl Faradej i Džejms Klerk Maksvel.

## **ELEKTROŽABE**

Ova naša priča počinje pred kraj osamnaestog veka, kad je Galvani pronašao bateriju. Kasnije ju je usavršio Volta, takođe Italijan. Galvani je proučavao reflekse žabe: za vreme oluje kačio je žablje mišiće na rešetku, tako okačene isturao kroz prozor i zaključio da se trzaju kad napolju sevaju munje. Time je dokazao postojanje 'animalnog elektriciteta'. Ovo je navelo Voltu da se baci na posao oko 1790. godine; baš je dobro što je tako bilo. Pomislite da je američki proizvođač automobila Henri Ford morao da ugradi u svaki svoj auto po jednu kutiju punu žaba, sa naznakom na poklopcu: 'Žabe obavezno nahraniti na svakih 15 milja!' Volta je ustanovio da elektricitet nastaje kad dva različita

metala povežeš nečim žabljim, gadnim i ogavnim. Galvani je kačio žablje krake o bronzane kuke, a rešetka mu je bila gvozdена. Volta je umesto žabe uglavio komad životinjske štavljene kože natopljene morskom vodom i dobio struju; na ovaj način isprobavao je različite parove metala. Opredelio se posle nekog vremena za cink i bakar, i počeo da slaže ne samo dve ploče, nego više ploča, čitave gomile, pri čemu se pokazalo da dobijena struja, koju je upućivao kroz strujno kolo, postaje sve jača. Od bitnog značaja za dalji rad bio je još jedan Voltin pronalazak, elektrometar, koji je merio tu struju. Volta nam je ostavio laboratorijsku opremu za proizvodnju struje, ali i saznanje da se hemijskim reakcijama može proizvoditi električna struja.

Još nešto bitno za razvoj nauke dogodilo se kad je Kulon počeo da meri jačinu i ponašanje električne sile između dve naelektrisane loptice. Da bi ovaj opit izveo, izmislio je torzionu vagu, spravicu koja izvrsno meri veoma malene sile. Ona sila koju je hteo da uhvati bila je, dabome, električna. Pomoću svoje torziona vage, Kulon je ustanovio da se sila između električnih naboja menja obrnuto srazmerno kvadratu rastojanja između njih. Takođe je otkrio da se naboji istog znaka (plus i plus, ili minus i minus) odbijaju, dok se suprotni naboji (plus i minus) privlače. Kulonov zakon, koji daje silu  $F$  za električne naboje, odigraće ključnu ulogu u našem razumevanju atoma.

Onda je nastala opšta navala na vršenje opita, pojurili su mnogi da se bave time; u prvo vreme verovali su da je elektricitet jedno, a magnetizam nešto sasvim drugo. Posle samo pedesetak godina (otprilike od 1820. do 1870), iz nebrojenog mnoštva opita izronila je velika sinteza koja je dala objedinjenu teoriju ne samo elektriciteta i magnetizma nego i svetlosti.

## **TAJNA HEMIJSKE VEZE: OPET ČESTICE**

Veliki deo našeg znanja o elektricitetu proistekao je iz otkrića u hemiji, a naročito u oblasti koju danas nazivamo elektrohemija. Voltina baterija pokazala je naučnicima da je moguće napraviti električno kolo: uzmeš bateriju, prikačiš žicu za jedan pol, pa opružiš tu žicu sve do drugog pola; struja poteče ukруг. To je takozvano električno kolo. Ako na jednom mestu prekineš ovo kolo i pričvrstiš dva kraja žice za dva parčeta metala uronjena u neku tečnost, struja nastavi da teče sad i kroz tu tečnost, ali u njoj, pokazalo se, dovodi do određenog hemijskog procesa - do razlaganja tečnosti. Ako si dve takve elektrode zabio u vodu, kod jedne počne da se pojavljuje vodonik, kod druge kiseonik, i to u razmeri 2 prema 1, što nagoveštava da se voda razlaže na sastavne delove. Ako to nije obična voda nego voda u kojoj je rastvoren natrijum-hlorid (kuhinjska so), jedna elektroda će početi da se oblaže natrijumom, a oko druge će početi da mehura zelenkasti otrovni gas hlor. Odatle do industrije 'elektroplatanja', to jest elektrolitičkog oblaganja metalnih predmeta slojevima drugih metala (niklovanje, posrebrivanje, pozlaćivanje i tako dalje) nije imalo dugo da se čeka.

Razlaganje hemijskih jedinjenja pomoću električne struje ukazalo je na jednu duboku istinu: da postoji veza između električnih sila i onoga što drži atome na okupu. Počelo se govoriti da privlačnost između pojedinih atoma, dakle i 'afinitet' jedne hemikalije prema drugoj, može biti na neki način električne prirode.

Majkl Faradej počeo je svoj rad u elektrohemiji tako što je sistematizovao nomenklaturu, kao ranije Lavoazije u hemiji. Pomoglo je, i ovaj put, mnogo. Faradej je dao naziv 'elektrode' tim naelektrisanim komadima metala zagnjurenim u tečnost. Negativnu je nazvao katoda, a pozitivnu anoda. Kad elektricitet 'šiba' kroz vodu, on rastrže molekule tako da naelektrisani atomi moraju da se probijaju kroz tečnost, da se guraju kroz nju, neki idu ka anodi, a neki prema katodi. U normalnom stanju, hemijski atomi su neutralni, ne nose ni pozitivno ni negativno naelektrisanje na sebi. Propuštanjem električne struje kroz tečnost ovo se, na neki način, menjalo; menjali su se atomi. Faradej je odredio da se naelektrisani atom ubuduće ima nazivati 'jon'. Danas znamo da je jon atom koji je postao naelektrisan zbog toga što mu je otrgnut, ili pridodat, jedan elektron, ili ne samo jedan nego više njih. U Faradejevo doba nije bilo poznato postojanje elektrona. Nije se baš znalo ni šta je električna struja. Da li je, međutim, Faradej naslućivao da bi elektroni mogli postojati? U tridesetim godinama

devetnaestog veka izveo je niz spektakularnih opita koji su za ishod imali dva jednostavna, sažeta zaključka, danas poznata pod nazivom 'Faradejevi zakoni elektrolize':

(1) Masa hemikalije koja će biti oslobođena na jednoj elektrodi srazmerna je jačini struje pomnoženoj vremenom koliko je struja proticala. Dakle, oslobođena masa srazmerna je količini elektriciteta koja je prošla kroz tečnost.

(2) Masa koju oslobodi jedna određena, ograničena količina električne struje srazmerna je atomskoj težini te tvari pomnoženoj sa brojem atoma u tom jedinjenju.

Ovi zakoni znače da elektricitet nije nešto glatko i neprekidno, nego da se može podeliti na 'komade', na parčiće. Ako imamo u vidu Daltonovu predstavu o atomima, onda nam Faradejevi zakoni kažu da se atomi u tečnosti (joni) premeštaju sve do elektrode, gde se svakom jonu isporuči određena količina elektriciteta, koja ga pretvori u slobodni atom vodonika, kiseonika, srebra, ili već koje bilo tvari koja se u rastvoru nalazila. Faradejevi zakoni upućuju na neizbežan zaključak: da postoje čestice elektriciteta. Ovaj zaključak je, nažalost, morao čekati još oko šezdeset godina. Tek tada je dramatično potvrđen otkrićem elektrona, na samom kraju devetnaestog veka.

## **ŠOK U KOPENHAGENU**

Da bismo nastavili istoriju električne struje - onog nečeg što dopire iz dve ili tri rupe u svakom zidnom utikaču u tvojoj kući, ali nije džabe nego se plaća - moramo otići u državu Dansku, u grad Kopenhagen. Godine 1820. Hans Kristijan Ersted došao je do ključnog otkrića - neki istoričari čak tvrde da je to bilo najvažnije otkriće u ovoj nauci. Prvo je napravio električnu struju na način tada već dobro znan. Žicom je povezao jedan pol Voltine skarabudžije (baterije, hoću reći) sa drugim. Niko nije, još, znao šta je to električna struja, ali se znalo da nešto zvano 'napon' putuje kroz žicu. Dobro, tu nije bilo nikakvih iznenađenja, sve dok Ersted nije tom strujnom kolu primakao kompasnu iglu (koja je magnet). On uključi struju - a kompas zaokrene i više ne pokazuje ka severnom polu planete Zemlje (to je kompasima normalan opis radne dužnosti) nego se usmeri nekako smešno, pod pravim uglom u odnosu na žicu. Ersteda je ovo zabrinjavalo sve dok se nije dosetio da kompas, zapravo, i jeste instrument za otkrivanje magnetnih polja. Znači, struja u žici mora biti da stvara neko magnetno polje, zar ne? Ersted je otkrio vezu elektriciteta i magnetizma: električne struje stvaraju magnetna polja. Ali, naravno, i magneti stvaraju magnetna polja, a sposobnost magnetna da privuku k sebi opiljke gvožđa (ili da drže čvrsto zatvorene 'kopče' na vratima ormana ili frižidera) bila je već dobro proučena. Ova vest proletela je celom Evropom, izazivajući znatna uzbuđenja.

Parižanin Andre Mari Amper dograbio je ovu informaciju i našao matematički odnos između električne struje i magnetnog polja. Kakva će tačno biti usmerenost i kolika će biti snaga magnetnog polja zavisi, pokazalo se, od struje koja kroz žicu protiče i od oblika žice - da li je prava, ili savijena ukrug, ili već šta. Amper je na brzinu izveo mnoštvo opita, upotrebio matematički način razmišljanja i uspeo sam-samcit da pokrene pravu lavinu naučnih rasprava iz kojih je, kad su stvari proticanjem vremena došle na svoje mesto, izronio recept za izračunavanje magnetnog polja koje će električna struja dati prolaskom kroz ma koju i ma kakvu žicu, ravnu ili krivudavu, zapetljanu ili namotanu gusto na kalem. Pošto struja, kad prolazi kroz dve uporedne žice, proizvodi, zapravo, dva magnetna polja, onda se ta dva polja međusobno odguruju; a to u suštini znači da te dve žice deluju jedna na drugu nekom silom. Ovo je omogućilo Faradeju da otkrije električni motor. Činjenica da struja, kad ide ukrug ponovo i ponovo, daje magnetno polje, bila je takođe od izuzetnog značaja. Šta ako onaj magnetni kamen čija su svojstva poznavali još stari Grci - dakle, kamen koji je prirodni magnet - sadrži u sebi neke takve, kružne električne struje, u malenim, atomskim razmerama? Eto još jednog nagoveštaja da atomi imaju električnu prirodu.

Ersted je, kao i mnogi drugi naučnici, stremio ka objedinjenju, pojednostavljenju, redukciji. Verovao je da su gravitacija, elektricitet i magnetizam samo različiti vidovi



ispoljavanja jedne iste sile. Zato je otkriće neposredne veze između dve od tih sila bilo tako uzbudljivo (šokantno?). I Amper je tragao za jednostavnošću. Amper je, u suštini, pokušavao da odstrani magnetizam, da dokaže da je to samo jedan vid elektriciteta u kretanju - dakle, da spada u oblast elektrodinamike.

## **OPET DEJA VU**

Sada nastupa Majkl Faradej. (Dobro, već ranije je ušao, ali sad zvanično. Fanfare, molim.) Ako Faradej nije bio najveći eksperimentator svog vremena, bio je svakako jedan od kandidata za tu titulu. Kaže se da je o njemu napisano više biografija nego o Njutnu, Ajnštajnu ili Merilin Monro. Zašto? Jednim delom zbog njegove mladosti koja kao da potiče iz priče o Pepeljugi. Bio je rođen u siromaštvu, ponekad je išao gladan (jednom su mu dali jednu veknu hleba, i to mu je bila sva hrana za nedelju dana). Nije dobio praktično nikakvo školovanje, osim crkvenog. Sa četrnaest godina postao je šegrt u knjigoveznici. Tamo je uspeo da pročita neke od knjiga koje je koričio. Tako se sam obrazovao uz rad koji mu je pomagao da razvije i spretnost ruku koja će mu kasnije pomoći da izvodi opite. Jednog dana dođe mušterija sa raskupusanim trećim izdanjem Enciklopedije britanike da bude prekoričeno. Unutra Faradej nađe članak o elektricitetu, pročita, uhvati se na tu 'udicu' - i promeni svet.

Razmislite o ovome. U redakciju neke medijske mreže stižu dve vesti, iz Asošijeted Presa:

FARADEJ OTKRIO ELEKTRICITET,  
KRALJEVSKO DRUŠTVO POHVALILO OVAJ USPEH

i druga

NAPOLEON POBEGAO SA SVETE JELENE,  
KONTINENTALNE ARMIJE MARŠIRAJU

Šta će od ta dva ući u večernje vesti kao glavna tema? A? Pa jasno! Napoleon. Međutim, u sledećih pedeset godina Faradejeva otkrića su bukvalno naelektrisala Englesku - naime, omogućila da počne elektrifikacija - i pokrenula jednu od najkorenitijih promena u načinu života ljudi na ovoj planeti koja je ikad proistekla iz pronalazaka jednog pojedinca. Eh, kad bi oni koji drže ključke medijskih kapija morali u srednjoj školi da dobiju dobre ocene iz bar nekoliko prirodnonaučnih predmeta...

## **SVEĆE, MOTORI, DINAMO-MAŠINE**

Evo šta je Majkl Faradej postigao. Kad je počeo profesionalni rad kao hemičar (tada mu je bila dvadeset jedna godina), otkrio je izvestan broj organskih jedinjenja, među njima i benzen. Prešao je na fiziku tako što je raščistio situaciju u elektrohemiji. (Da su oni hemičari na Univerzitetu Juta kojima se pričinilo, godine 1989, da su otkrili hladnu fuziju, malčice bolje razumeli Faradejeve zakone elektrolize, ne bi onako izblamirali i sebe i sve nas.) Faradej je onda krenuo kroz polja elektriciteta i magnetizma, čineći krupna otkrića. Evo ih:

- otkrio je zakon indukcije, danas poznat kao Faradejev zakon, koji pokazuje kako promena magnetnog polja stvara električnu struju;
- prvi je stvarno i proizveo električnu struju upotrebom magnetnog polja;
- pronašao je elektromotor i dinamo;
- pokazao je vezu između elektriciteta i stvaranja hemijskih veza;
- otkrio je dejstvo magnetizma na svetlost;
- i još mnogo drugog!

I sve to bez doktorske disertacije. Pa, i bez magistarske titule. Bez diplome, štaviše. Čak nije nikad ni srednju školu završio, niti išta što bi bilo ravno srednjoj školi! Štaviše, bio je matematički nepismen. Svoja otkrića nije zapisivao jednačinama, nego običnim rečenicama - govorio je o njima, opisivao ih. Često se uz to služio i slikama koje su objašnjavale šta podaci znače.

Godine 1990. Čikaški univerzitet pokrenuo je TV seriju pod naslovom Božićna predavanja. Ja sam imao čast da održim prvo. Dao sam mu naslov 'Sveća i Vaseljena', a to je nešto što sam pozajmio od Faradeja, koji je prvi držao ta božićna predavanja za decu, godine 1826. U svom prvom predavanju tvrdio je da upaljena sveća ilustruje sve procese koji su nauci poznati. To je bilo tačno godine 1826, ali danas, godine 1990, poznajemo i mnoge procese koji se ne dešavaju u sveći, jer je njena temperatura suviše niska. Svejedno, Faradejeva predavanja o sveći bila su oštromna i zabavna, i kao božićni poklon za vašu decu bila bi super, ako bi se našao neki glumac sa srebrnim glasom da ih nasnimi na kompakt disk. Dodajemo još jednu facetu ovoj izuzetnoj ličnosti - bio je veliki popularizator.

Već smo raspravljali o njegovom ispitivanju elektrolize, koje je otvorilo put otkrivanju električne strukture hemijskih atoma i otkrivanju elektrona samog. Sada želim da opišem dva Faradejeva najneobičnija doprinosa: elektromagnetnu indukciju i njegov gotovo mistični koncept 'polja'.

Put ka modernom shvatanju elektriciteta (tačnije, elektromagnetizma ili elektromagnetnog polja) sličan je onoj slavnoj kombinaciji u bezbolu, sećate se - Tinker do Eversa, ovaj do Čensa. U ovom slučaju lopticu su dodavali Ersted do Ampera, a ovaj do Faradeja. Ersted i Amper su načinili prve korake u razumevanju električnih struja i magnetnih polja. Kad električna struja protiče kroz žice, a to radi u tvojoj kući često, ona stvara magnetna polja. Zato mi možemo da napravimo magnet snažan koliko god hoćemo, od onog maleckog u elektromotorčiću ventilatora koji držiš u ruci, a on radi na baterije, pa sve do divovskih magneta u akceleratorima - sve tako što ćemo organizovati proticanje električnih struja. Ovo razumevanje elektromagneta omogućilo nam je da shvatimo da namagnetisano parče gvožđa (dakle, magnet) sadrži u sebi malena kruženja električne struje (u svojim atomima; tako malena) i da saradnjom ogromnog broja tih kruženja nastaje zajedničko magnetno polje celog tog komada gvožđa. (I atomi nemagnetnih materijala imaju ta svoja amperska kruženja struje, ali neće da se postroje; njihova orijentacija ostaje nasumična, zbog čega njihovi atomi, delujući kud-koji, ne uspevaju da stvore nikakvo objedinjeno, zajedničko magnetno polje.)

Faradej se dugo borio da objedini elektricitet i magnetizam. Ako elektricitet može da stvara magnetna polja, razmišljao je on, mogu li i magneti da naprave elektricitet? Zašto ne? Priroda voli simetriju. Ali trebalo mu je više od deset godina (1820-1831) da to i dokaže. I to je verovatno njegovo najveće otkriće.

Ovo Faradejevo opitno otkriće naziva se elektromagnetna indukcija, a simetrija za kojom je on tragao pojavila se u iznenađujućem obliku. Put do slave popločan je dobrim namerama. Prvo se zapitao može li magnet da natera jednu električnu žicu, kroz koju protiče struja, da se pokrene. Dočarao je sebi sliku tih sila, a onda je sklopio aparat koji se sastojao od žice čiji je jedan kraj bio priključen na bateriju, a drugi slobodno visio i bio zamočen u činiju punu žive. U živu je ispod tog mesta potopio i gvozdeni magnet. Kad je uključio struju iz baterije, žica je počela da se okreće po živi, ukrug, oko magneta. Danas znamo da je ta čudnovata naprava bila električni motor. Faradej je pretvorio elektricitet u kretanje, sposobno da obavlja rad.

Hajde da preskočimo na godinu 1831. i na još jedan pronalazak. Faradej je uzeo komad mekog gvožđa izliven u obliku uštipka (debelog prstena sa velikom rupom u sredini). Zatim je uzeo dugačku bakarnu žicu i ovio je mnogo puta oko jedne strane uštipka, tako da su tu nastali mnogobrojni namotaji. Dva kraja te žice priključio je na osetljiv instrument za merenje struje, takozvani galvanometar. Drugi, sličan komad žice ovio je mnogo puta oko suprotnog kraja gvozdenog uštipka, ali je krajeve te žice priključio na bateriju, tako da je sad mogao po želji da uključi struju. Ova sprava sad se zove transformator. Da vidimo. Imamo dva namotaja (solenoida) izolovane žice na dve suprotne strane uštipka. Jedan namotaj, hajde da kažemo da je to namotaj A, priključen je na bateriju; drugi namotaj (B) na galvanometar. Šta će biti kad neko uključi struju?

Ovaj odgovor važan je za istoriju nauke. Kad struja pojuri u namotaj A, taj elektricitet će dovesti do nastanka magnetnog polja. Faradej je očekivao da će, onda, magnetno polje prouzrokovati nastanak struje u drugom namotaju, B. Ali nije ispalo baš tako; dejstvo je bio prilično čudno. Prilikom uključenja struje, igla galvanometra priključenog na A odskočila je - Ura! Električna struja! - ali samo na tren. Jedan nagli skok, a onda pad na nulu. Igla je tu, na nuli, i ostala. To je da izludiš! Gde je struja? A kad je isključio dovod struje u namotaj B, igla galvanometra vezanog za A opet je skočila, za tren, ali na suprotnu stranu. Faradej je priključio drugi, osetljiviji galvanometar; ništa. Povećao je broj namotaja; opet ništa. Dovukao je i priključio mnogo jaču bateriju; uzalud. Onda, eureka-trenutak. (Englezi u takvom trenutku ne uzvikuju "Eureka" nego "Tako mi Jupitera!") Faradej je najzad shvatio da će struja u prvom namotaju izazvati pojavu struje u drugom namotaju, ali samo prilikom promene. Prema tome, kao što se u sledećih trideset godina istraživanja potvrdilo, električno polje nastaje samo pod dejstvom promenljivog magnetnog polja.

Tehnologija koja je, kad joj je došlo vreme, izronila iz ovog otkrića zove se električni generator. Uхватimo magnet i nakačimo ga na nešto što se vrti, neku osovinu; takvim mehaničkim rotiranjem magneta dobijemo obrtno magnetno polje. Ono se, dakle, stalno menja. To polje će u onom drugom namotaju stvoriti električno polje; ako krajeve žice tog drugog namotaja povežemo u nekakvo električno kolo, tu će da poteče električna struja. E, sad, kako da obrćemo osovinu? Može to pomoću poluge povijene u stranu, sa ručkom (zove se 'kurbla'): uhvatiš, pa obrćeš, obrćeš... Možeš i da namestiš da to radi sila nekog vodopada. Ili upregneš snagu neke parne turbine. Eto kako smo dobili električnu struju koja pretvara noć u dan i koja daje energiju svim onim utikačkim kutijama u zidovima naših stanova i fabrika.

Ali mi, čisti naučnici... mi smo na tragu a-tomu i Božijoj čestici; mi se zanimamo za ovu tehnologiju samo zato što bi bez Faradejevog elektriciteta bilo strašno teško napraviti ubrzivače čestica. A što se Faradeja tiče, njega lično bi elektrifikacija sveta zanimala samo utoliko što bi sad imao mogućnost da radi i noću.

Prvi generator za proizvodnju struje imao je zaista kurbalu, morao je neko da ga obrće ručno. Napravio ga je Faradej svojim rukama. U onim vremenima, ta mašina zvala se dinamo. Ali kad ga je napravio, nije baš znao šta da radi s njim; suviše je bio zauzet "otkrivanjem novih činjenica... a siguran da će ono drugo (praktična primena pronalazaka) već biti razvijeno, kasnije". Poznata je priča o poseti britanskog predsednika vlade 1832. godine Faradejevoj laboratoriji. Uperio je prst ka toj smešnoj mašini i pitao za šta će se koristiti. "To mi poznato nije, ali sam spreman da se opkladam da će jednog dana vaša vlada razrezati porez na to", rekao je Faradej. Porez na proizvodnju struje uvedena je u Engleskoj godine 1880.

## **NEKA POLJE BUDE SA VAMA**

Faradejev glavni konceptualni doprinos, bitan za našu istoriju redukcionizma, bilo je polje. Da se pripremimo za ovo, moramo se vratimo do Ruđera Boškovića, koji je objavio radikalnu hipotezu nekih sedamdeset godina pre Faradejevog vremena i poneo a-tom jedan važan korak napred. Kako se a-tomi sudaraju? - pitao je Ruđer Bošković. Kad se bilijarske kugle čuknu, izobliče se; pošto su napravljene od drveta, koje je elastično, ispravljanjem nastalog izobličenja kugle se otisnu jedna od druge. Može li se zamisliti izobličeni a-tom? Šta bi se to izobličilo? Šta bi se to vratilo u svoj prvobitni oblik? Takvo razmišljanje navelo je Boškovića da svede a-tome na matematičke tačke bez dimenzija i bez strukture. Ta tačka je izvor sila, kako privlačnih tako i odbojnih. Sačinio je podroban geometrijski model koji je opisivao atomske sudare veoma verodostojno. Tačkasti atom činio je sve što i Njutnov 'tvrdi, masivni' atom, a nudio je i neke prednosti. Iako nije imao nikakvu proširenost, imao je inerciju, a to znači i masu. Boškovićev a-tom posezao je i dohvatao u prostor oko sebe pomoću sila koje su zračile iz njega. Ovo je bilo zaista proročansko razmišljanje - kao da je Bošković imao znanje iz budućnosti! I Faradej je bio uveren da je a-tom tačka, ali o tome nije mnogo govorio zato što nije mogao ponuditi nijedan dokaz. Hipoteza Bošković-Faradej glasi: materija se sastoji od tačkastih a-toma

koji su okruženi silama. Njutn je govorio da sila deluje na masu; ovo je očigledno bilo proširenje Njutnove zamisli. A kako se ta sila ispoljava?

"Hajde da se zabavimo jednom igrom", kažem studentima u velikoj fakultetskoj dvorani. "Kad student koji je levo od tebe digne i spusti ruku, onda i ti digni i spusti ruku." Na kraju svakog reda signal pomaknemo za taj jedan red unazad i prebacimo uputstvo da glasi "student desno od tebe". Pogledamo ko sedi u prvom redu sasvim na levom kraju i počnemo od tog studenta (studentkinje). On (ili ona) digne i spusti ruku. Talas tog dizanja ruke krene duž prvog reda, prođe celom širinom dvorane, prenese se u drugi red, treći red i tako sve do poslednjeg, najvišeg reda gde na kraju prestane. Tu se javlja jedno uznemirenje koje se raspoređuje kroz sredinu studenata, nekom brzinom. Isto kao kad talasaju hiljade navijača usklađeno na sportskim stadionima širom sveta. Vodeni talas ima iste odlike. Poremećaj putuje, dabome, ali svaka pojedina čestica vode ostaje gde je i bila; diže se i spušta, ali ne ide nikakvom vodoravnom brzinom nikuda. Jedino remećenje je uzdizanje talasa. Medijum je voda. Brzina zavisi od osobina vode. Zvuci se šire kroz vazduh na sličan način. Ali kako sila preskače sa atoma na atom kroz prazan prostor kojim su atomi razdvojeni? Njutn je tu loptu odbio od sebe. "Ne formulišem nikakvu hipotezu", rekao je. Formuliseo on ili ne, hipoteza je postojala, bila je široko rasprostranjena i prihvaćena, i govorila je da postoji neko tajanstveno delovanje na daljinu. Te reči su služile samo da 'čuvaju mesto' za neko buduće razumevanje kako gravitacija, zapravo, deluje.

Faradej je uveo koncept polja, sposobnosti prostora da bude uznemiren delovanjem nekog izvora koji se negde nalazi. Najpoznatiji primer jeste magnet koji pokušava da dohvati i zgrabi gvozdene eksere. Faradej je sebi dočaravao sliku kako je prostor oko magnetu ili namotaja 'napregnut' zbog izvora. Koncept polja izranjao je bolno, tokom mnogo godina, u mnogim spisima, tako da istoričari uživaju nadmudrujući se oko pitanja kad je, gde, šta i kako isplivalo na površinu. Evo šta je napisao Faradej kao belešku godine 1832: "Kad magnet deluje na udaljeni magnet ili na parče gvožđa, uzročnik toga uticaja... napreduje postupno iz magnetnih tela i treba mu neko vreme da stigne." (Ja sam podvukao tih poslednjih šest reči.) Faradejev koncept je, dakle, sledeći: jedno 'remećenje' - na primer, magnetno polje jačine 0,1 tesle - može da putuje kroz prostor, da doputuje do trunčice gvozdenog praha; a onda da obavesti trunčicu gvozdenog praha da je stiglo i da, štaviše, može primeniti silu. To je ono što jak vodeni talas uradi nepažljivom kupaču. Vodeni talas, nek je visok, recimo, jedan metar, mora da ima na raspolaganju vodu da bi imao kroz šta da putuje. A šta mora magnetno polje da ima na raspolaganju?... Sa tim pitanjem se i danas rvemo. Kasnije ćemo o tome.

Za razotkrivanje prisutnosti magnetnih linija sile poslužiće nam onaj stari opit koji ste izvodili u školi: preko potkovičastog magnetu stavi se list hartije, a po njemu pospu trunčice gvožđa. Malo kuckaš nečim po hartiji da bi se trunčice oslobodile trenja sa hartijom; one odskaču malčice i raspoređuju se postepeno u prepoznatljivi obrazac linija koje spajaju polove magnetu. Faradej je smatrao da su te linije stvarna ispoljavanja njegovog koncepta polja. Važno pitanje ovde nisu Faradejevi dvosmisleni opisi te njegove alternative za delovanje na daljinu; nego, kako će taj koncept izmeniti i upotrebiti naš sledeći električar, Škot po imenu Džejms Klerk Maksvel (1831-1879).

Pre nego što napustimo Faradeja, treba da razjasnimo njegov stav prema atomima. Ostavio nam je godine 1839. dva navoda kao dva draga kamena. Prvi glasi:

Iako nikakvog znanja nemamo o tome šta atom jeste, ne možemo odoleti iskušenju da ne uobličimo neku zamisao o malenoj čestici koja u našem umu treba da predstavi atom - postoji sva sila činjenica koje opravdavaju naše verovanje da atomi materije jesu na neki način sa električnim silama povezani, kojima duguju svoje najuočljivije odlike, među kojima je i hemijski afinitet (kad jedan atom drugi atom privlači).

Drugi glasi:

Moram priznati da zazirem od reči atom, jer iako je vrlo lako o atomima pričati, vrlo je teško uobličiti neku jasnu zamisao o njihovoj prirodi kad razmatramo složena tela.

Ejbrahim Pejz (Abraham Pais), citirajući ove iskaze u svojoj knjizi Unutrašnja povezanost, zaključuje: "To je pravi Faradej, izvrsni eksperimentator, koji prihvata samo ono što je silom opitnih dokaza prinuđen da prihvati."

## **BRZINOM SVETLOSTI**

Ako su se u prvom delu utakmice loptu jedan drugom dodavali Ersted, Amper i Faradej, sad se nastavlja tako do Maksvela koji će dodati loptu Hercu. Iako je Faradej-pronalazač izmenio svet, njegova nauka nije mogla sama stajati na nogama i brzo bi skončala u nekom bezizlazu da nije bilo Maksvelove sinteze. Maksvelu se činilo da Faradej daje samo napola artikulisane (naime, nematematičke) uvide. Ako zamislite Faradeja kao Tihoa Brahea, Maksvel je postao njegov Kepler. Faradejeve magnetne linije sile poslužile su mu kao stepenice za uspon do koncepta polja, a onaj Faradejev sasvim izuzetan komentar iz 1832. godine - da se elektromagnetna dejstva ne prenose trenutno nego da im je potrebno da putuju tokom tačno određenog vremena - odigrao je ključnu ulogu u Maksvelovom velikom otkriću.

Maksvel je u celosti priznao šta sve duguje Faradeju, čak se divio njegovoj matematičkoj nepismenosti zato što je upravo ona prinudila Faradeja da se izražava "jezikom prirodnim, netehničkim". Maksvel je tvrdio da nadasve želi da prenese Faradejeve poglede na elektricitet i magnetizam u matematički oblik. Ali izučavanje koje je iz toga proizišlo otišlo je mnogo dalje nego što bi Faradej ikad mogao.

Tokom šest godina, od 1860. do 1865, izlazili su iz štampe Maksvelovi stručni radovi. Bili su primer zbijene, teške, složene matematike (gaaahhhh!...), ali su se pokazali kao kruna slave te nauke, električne, koja je počela još u mutnim davnim vremenima pronalaženjem prirodno namagnetisanih komada gvozdene rude i trljanjem čilibara. U tom, konačnom obliku, Maksvel ne samo što je komponovao matematičku faradejsku muziku (mada atonalnu) nego je i dokazao da elektromagnetni talasi postoje i da se prostiru kroz prostor nekom konačnom brzinom, kao što je Faradej i predvideo. Bila je ovo važna poenta; mnogi Faradejevi i Maksvelovi savremenici mislili su da se sile prenose trenutno. Maksvel je precizirao kako će Faradejevo polje dejstvovati. Faradej je opitno ustanovio da magnetno polje, kad se menja, dovodi do stvaranja električnog polja. Maksvel je, rvući se da u svojim jednačinama postigne simetriju i doslednost, dao postulat po kome i promene u električnom polju moraju dati magnetno. Posledica ovoga, koja se dogodila u samoj matematici, bila je sledeća: električna i magnetna polja počela su da se talasaju i povlače napred-nazad, a ova talasanja pojurila su napolje, u okolna prostranstva (sve još samo u Maksvelovim sveskama), to jest da se udaljuju od svojih izvora, brzinom koja je morala zavisiti od svakojakih električnih i magnetnih vrednosti.

Ali Maksvela je čekalo jedno iznenađenje, koje Faradej nije predvideo, a koje možemo smatrati Maksvelovim, u suštini, najvećim otkrićem. Brzina tih elektromagnetnih talasa. Maksvel je zurio u svoje jednačine, a kad je u njih uključio tačne brojeve eksperimentalno utvrđene, na drugom kraju se pojavio ishod:  $3 \times 10^8$  metara u sekundi. "Gusku ti počupo!" kriknuo je Maksvel - te, ili neke druge reči koje Škot kaže kad je iznenađen. Jer  $3 \times 10^8$ , to je brzina svetlosti, izmerena prvi put nekoliko godina pre toga. Kao što nam je pokazao raniji slučaj sa Njutnom i tajnom dve mase, u nauci postoji vrlo malo ili nimalo pravih podudarnosti. Maksvel je zaključio da je svetlost samo jedan primer elektromagnetnog talasanja. Dakle, elektricitet ne mora ostati zarobljen u žicama, on može i da poleti kroz prostor kao što to svetlost čini. "Teško možemo izbeći zaključak", pisao je Maksvel, "da se svetlost sastoji od poprečnih (transverzalnih) talasanja istog onog medijuma koji uzrokuje i električne pojave, kao i magnetne." Maksvel je otvorio mogućnost, koju je Hajnrih Herc potom zgrabio, da se ova teorija opitno potvrdi tako što će se elektromagnetni talasi proizvoditi. Tek neki sasvim drugi ljudi, među kojima su Guljelmo Markoni (Guglielmo Marconi) i mnoštvo pronalazača u novijim vremenima, razvili su 'drugi talas' elektromagnetne tehnologije: radio, radar, televiziju, mikrotalasnu pećnicu i laserske komunikacije.

Evo kako to radi. Razmotrimo jedan elektron koji nikud ne ide - naprosto miruje. Pošto on ima naelektrisanje, oko njega postoji električno polje, koje se širi kroz sav

prostor (ima neograničen domašaj), ali je jače u blizini elektrona, a postaje sve slabije i slabije ako se od elektrona udaljavamo. Ovo električno polje 'ukazuje na' taj elektron. Kako znamo da postoji to polje? Lepo: uzmeš jedan pozitivan naboj i staviš ga bilo gde, a on oseti silu koja počinje da ga vuče ka elektronu. E, sad nateramo taj elektron da krene na put kroz neku žicu, i to brzo. Dve stvari se dogode. Prvo, električno polje počne da se menja, i to ne trenutno nego tek onda kad informacija o tome dopre do one tačke u prostoru gde mi vršimo merenje. Drugo, kad se jedno naelektrisanje pomera, to već jeste električna struja u toj žici; zbog toga nastaje magnetno polje oko nje.

Sad upotrebi silu i nateraj taj jedan elektron (i mnoštvo njegove sabraće) da jurcaju kroz žicu tamo-amo, tamo-amo. Neka to bude jedan pravilan ciklus kretanja napred i nazad, napred i nazad. Nastale promene u električnom i magnetnom polju šire se od žice u okolni prostor, nekom konačnom brzinom - brzinom svetlosti. Jedna takva promena jeste jedan elektromagnetni talas. Žicu u kojoj se ovo trčkanje tamo-amo događa često nazivamo 'antena', a ona sila koja goni elektrone da to rade često je signal na nekoj radiotalasnoj frekvenciji. Tako se dogodi da signal, noseći koju god hoćete poruku, poleti iz antene brzinom svetlosti, a onda se širi na sve strane. Kad stigne do druge antene, šta ga čeka u njoj? Čeka ga mnoštvo drugih elektrona; signal će sada njih naterati da se kreću sa trzajima tamo-amo, stvarajući promenljivu struju koja se može otkriti i pretvoriti u video i audio informaciju.

Iako je dao divovski doprinos nauci, Maksvel nije postao, kao što kažu, 'slavan preko noći'. Čujte samo šta su pojedini kritičari govorili o njegovom delu:

- "Konceptcija dosta gruba", ser Ričard Glejzbruk (Richard Glayebrook).
- "Osećanje nelagodnosti, često čak i nepoverenja, meša se sa divljenjem..." Anri Poankare (Henri Poincaré).
- "Nije našao nikakvo uporište u Nemačkoj, gde, zapravo, jedva da ga je iko primetio", Maks Plank (Max Planck).
- "Mogu da kažem jednu stvar o toj teoriji (o elektromagnetnoj teoriji svetlosti). Mislim da je neprihvatljiva", Lord Kelvin.

Kad u štampi dobijaš ovakve ocene, teško je postati 'superstar'. Maksvela je do legende uzdigao tek jedan eksperimentator, ali Maksvel nije dočekao ta vremena... Umro je desetak godina prerano.

## **HERC PRISKAČE U POMOĆ**

Pravi junak (po mišljenju ovog veoma pristrasnog istoričara nauke) bio je Hajnrih Herc koji je serijom opita, koji su potrajali više od deset godina (1873-1888), potvrdio sva predviđanja data u Maksvelovoj teoriji.

Talasi imaju talasnu dužinu. To im je ona razdaljina između vrha jednog i vrha sledećeg talasa. Talasi vode u okeanu razmaknuti su, tipično, nekoliko metara, recimo nekih sedam do deset metara. Talasna dužina zvučnih talasa iznosi otprilike centimetar-dva, ili tri. Elektromagnetizam takođe nailazi u talasima. Različiti elektromagnetni talasi - infracrveni, mikrotalasi, rendgenski, radio-talasi - razlikuju se između sebe naprosto po talasnoj dužini. Vidljiva svetlost - plava, zelena, narandžasta, crvena - nalazi se u sredini elektromagnetnog spektra. Radio-talasi i mikrotalasi imaju veće talasne dužine. Ultraljubičasti, rendgenski i gama-zraci imaju kraće talasne dužine.

Upotrebljavajući namotaj sa strujom visokog napona i jedan detektor, Herc je našao način da proizvodi radio-talase i da meri njihovu brzinu. Pokazao je da imaju iste odlike u pogledu odbijanja, prelamanja i polarizacije kao i svetlosni talasi; štaviše, da se mogu i prikupiti u žižu. Maksvela su onoliko grdili, a ispalo je da je bio u pravu. Herc ne samo što je podvrgao Maksvelove teorije strogoj opitnoj proverbi; on ih je i učinio jasnijim i pojednostavio na 'sistem četiri jednačine', na koji ćemo uskoro doći.

Posle Herca, Maksvelove zamisli postadoše opšteprihvataene. Stari problem delovanja na daljinu time je odložen u stranu. Sile, u obliku raznih polja, idu kroz prostor, šire se kroz njega jednom konačnom brzinom, a to je baš brzina svetlosti. Maksvel je osećao

potrebu da svojim električnim i magnetnim poljima obezbedi neki medijum koji će ih podržavati i prenositi; u te svrhe, prilagodio je zamisao Faradeja i Boškovića o jednom sveprožimajućem eteru u kome vibriraju električna i magnetna polja. Baš kao onaj Njutnov odbačeni eter, tako je i ovaj eter imao neke vrlo 'zavrnutе' odlike i odigrao ulogu u sledećoj naučnoj revoluciji.

Trijumf Faradeja, Maksvela i Herca značio je, ujedno, i novi uspeh redukcionizma. Univerziteti nisu više morali da zaposle jednog profesora da predaje elektricitet, drugog magnetizam, a trećeg optiku. To se sve sad ujedinilo u isti predmet, pa je dovoljno zaposliti jednog profu (tako da ostaje više para za ragbi ekipu). Tim jednim naučnim predmetom obuhvaćena je ogromna raznovrsnost ljudskih tvorevina i pojava prirode: motori i generatori, transformatori, ogromna industrija za proizvodnju električne energije, ali i svetlost Sunca, zvezdana svetlost, radio, radar, mikrotalasi, kao i zraci infracrveni, ultraljubičasti, rendgenski i gama, i laseri. Prostiranje svih njih objašnjava se pomoću Maksvelove četiri jednačine, koje u svom modernom obliku, primenjene na elektricitet u slobodnom prostoru, izgledaju ovako:

$$\begin{aligned}c \text{ delta } \times E &= - (dB/dt) \\c \text{ delta } \times E &= (dE/dt) \\ \text{delta } B &= 0 \\ \text{delta } E &= 0\end{aligned}$$

U ovim jednačinama, E je električno polje; B je magnetno polje; a c, što je, dabome, brzina svetlosti, jeste kombinacija električnih i magnetnih svojstava koje možemo na laboratorijskom radnom stolu da izmerimo. Zapazite simetriju E i B. Nemojte se mučiti sa tim nerazumljivim škrabocijama; za našu svrhu, nije neophodno da objašnjavamo kako ove jednačine dejstvuju. Suština je sledeća: te četiri jednačine jesu naučni način da kažemo "Neka bude svetlost!"

Studenti fizike i inženjerstva širom sveta nose majice na kojima su ispisane ove četiri stroge jednačine. Maksvelove prvobitne jednačine, međutim, nisu ni izdaleka ličile na ove četiri. Ove uprošćene verzije delo su Herca, čoveka koji je jedan od onih vrlo retkih slučajeva kad neko postigne izvanredne rezultate kao eksperimentator, a u isto vreme raspoláže i znanjem teorije koje je iznad 'dovoljnog snalaženja'. Herc je bio izuzetno uspešan u oba. Kao i Faradej, bio je svestan ogromnog praktičnog značaja svojih postignuća, ali nezainteresovan za to. Prepustio je da praktične primene razvijaju skromniji naučni umovi, kao što su Markoni i Lari King (Larry King). Hercov teorijski rad sastojao se uglavnom u tome što je očistio i sredio Maksvela, sveo i popularizovao njegovu teoriju. Da nije bilo Herca, studenti fizike morali bi da dižu tegove veoma uporno da bi postali mnogo širi u ramenima, kako bi onda na njihovim majicama bilo dovoljno prostora za Maksvelovu trapavu i zapetljanu matematiku.

Ostajemo verni našoj tradiciji i obećanju koje dadasmo Demokritu, koji nam je, uzgred rečeno, maločas telefaksom poslao poruku da se vratimo temi. Znači, treba da pitamo Maksvela (ili naslednike) o atomima. Dabome da je on verovao u njih. Bio je, takođe, autor vrlo uspešne teorije koja je posmatrala gasove kao skupove atoma. Verovao je, i bio je u pravu, da hemijski atomi nisu naprosto kruta tela, nego da imaju i neku složenu strukturu. Ovo verovanje došlo je iz njegovog poznavanja optičkog spektra, koji je postao značajan, kao što ćemo videti, u razvijanju kvantne teorije. Maksvel je takođe verovao, ali pogrešno, da njegovi složeni atomi ne mogu biti presečeni na manje delove. Ovo je iskazao divni stilom i jezikom, godine 1875: "Iako je tokom dugih razdoblja bilo katastrofa nebeskih, koje se i opet desiti mogu; iako se drevna društva mogu raspasti, a iz njihovih ruševina uzdići nova; ipak (atomi) od kojih svi ti sistemi (Zemlja, Sunčev sistem i tako dalje) jesu sazdani - kamenovi temeljci, dakle, materijalne Vaseljene - ostaju neslomljeni - nepohabani, štaviše." Ih, da je samo rekao 'kvarkovi i leptoni' a ne to 'atomi'...

Konačna ocena o Maksvelu dolazi opet od Ajnštajna, koji je rekao da je Maksvel dao najvažniji pojedinačni doprinos nauci devetnaestog veka.

## **MAGNET I KUGLA**

Malo smo preskočili neke važne pojedinosti u našoj priči. Otkud znamo da se polja šire nekom određenom brzinom? Kako su fizičari devetnaestog veka uopšte znali koja je brzina svetlosti? U čemu je razlika između trenutnog delovanja na daljinu i delovanja tek kad signal doputuje?

Zamislite vrlo moćan elektromagnet na jednom kraju ragbi igrališta, a na drugom kraju gvozdenu loptu okačenu o vrlo tanku žicu da visi sa vrlo visokog stuba. Lopta će se naginjati malo, samo malo ka magnetu. Sad pretpostavimo da vrlo brzo isključimo struju u elektromagnetu. Ako pomno motrimo na kuglu i žicu, primetićemo da nastaje reakcija. Kugla kao da je oslobođena, vraća se polako u ravnotežni položaj. Međutim, da li ta reakcija nastaje trenutno? Da, upravo tako, kažu zastupnici trenutnog delovanja na daljinu. Između magneta i kugle postoji veza koja je čvrsto zategnuta; kad magnetno dejstvo iščezne, kugla istog trena polazi natrag ka ravnotežnom položaju, gde će njen odklon biti nula. "Ne!" kažu zastupnici konačne brzine. Preko igrališta putuje informacija koja kaže: "Hej, ti! Magnet je isključen, možeš se sad opustiti!" Ona putuje nekom određenom brzinom, a kad stigne, kugla počne da se vraća, tek tad, u ravnotežni položaj.

Nama je danas poznat tačan odgovor. Kugla mora malo da sačeka; vrlo malo, zato što informacije putuju brzinom svetlosti, ali ipak mora (neko vreme; a to vreme je merljivo) da sačeka. Danas to znamo, ali u Maksvelovo vreme ovaj problem bio je u središtu silovite rasprave. U pitanju je bila sudbina cele zamisli polja. A što nisu oni lepo izveli opite, pa videli? Pa, zato što svetlost putuje tako brzo da za milioniti deo sekunde preleti ragbi igralište. Oko godine 1880. nije bilo baš lako izmeriti tako maleno zakašnjenje. Danas nije nikakav problem - štaviše, trivijalno je - meriti i milijardite delove sekunde, tako da širenja raznih elektromagnetnih pojava merimo do mile volje i uvek nalazimo da se prostiru nekom određenom, konačnom brzinom. Na primer, postavimo ogledalo na površinu Meseca. Onda laserskim zrakom sa Zemlje gađamo to ogledalo i gledamo kad ćemo videti reflektovani zrak. Za ovo dvosmerno putovanje (Zemlja-Mesec-Zemlja) svetlosti je potrebno nešto više od dve i po sekunde.

Evo primera u kudikamo većim razmerama. Dvadeset trećeg februara 1987, tačno u 7 sati i 36 minuta po griničkom srednjem vremenu, primećena je eksplozija jedne zvezde na južnom nebu. Ta supernova eksplodirala je u Velikom Magelanovom oblaku, a to je jedna skupina zvezda i prašine (galaksija) nekih 160.000 svetlosnih godina odavde. Drugim rečima, elektromagnetna informacija o eksploziji putovala je od supernove čak sto šezdeset hiljada godina da bi, najzad, stigla do Zemlje. A ta supernova, registrovana kao 87A, zapravo nam je sused, tu je, blizu. Najudaljeniji opaženi kosmički objekt udaljen je oko 8 milijardi svetlosnih godina. Svetlost koja nam sad stiže sa tih objekata krenula je u jedno doba koje je bilo prilično blizu Početku.

Brzinu svetlosti prvi put je izmerio na Zemlji, u laboratoriji, jedan Francuz po imenu Arman-Ipolit-Luj Fizo (Armand-Hippolyte-Louis Fizeau) godine 1849. Pošto nije na raspolaganju imao osciloskope i kvarcne časovnike, Fizo je domišljato rasporedio ogledala (da bi prisilio svetlost da ide što dužom putanjom, i da se vrati) i namestio jedan zupčasti točak koji se mogao zavrteti veoma brzo. Ako znamo kojom brzinom se točak vrti i znamo obim točka, možemo da izračunamo koliko vremena treba da u jedno prazno mesto naiđe zubac i zakloni ga. Podesimo da ovo vreme bude tako da svetlost prođe između dva zupca, ode do onih dalekih ogledala, vrati se i ponovo prođe kroz isti otvor, u oko msje Fizoa. Mon dieu! Vidim ga! Sad postepeno ubrzavamo točak (skraćujemo vreme raspoloživo za prolazak zraka) i najzad nastupi blokada svetlosti. Eto. Sad znamo ne samo koliki put je zrak morao da prevali - iz izvora svetlosti, kroz prazninu između dva zupca, do ogledala, pa nazad, gde naleti na zubac - nego znamo i za koje vreme je zrak to postigao. Razna petljanja i podešavanja ovoga dala su Fizou slavni broj, trista miliona metara u sekundi ( $3 \times 10^8$  m/s), odnosno 186.000 milja u sekundi.

Uvek me iznenadi filozofska dubina tih momaka u renesansi elektromagnetizma. Ersted je verovao (nasuprot Njutnu) da su sve sile u prirodi (a to je tad značilo: gravitacija, elektricitet i magnetizam) samo različiti vidovi ispoljavanja jedne praiskonske sile. To je taaaako moderno! Faradejeva nastojanja da uspostavi simetriju elektriciteta i



magnetizma odzvanjaju grčkim nasleđem - traganjem za jednostavnošću i objedinjenjem; a to su dva od ukupno sto trideset sedam ciljeva koje danas, devedesetih godina dvadesetog veka, sebi postavlja Fermilab.

### **VREME DA SE KRENE KUĆI?**

U prethodnom i u ovom poglavlju pokrili smo više od tri stotine godina klasične fizike, od Galileja do Herca. Preskočio sam mnoge dobre ljude. Holanđanin Kristijan Hajgens, na primer, rekao nam je mnogo o svetlosti i talasima. Francuz Rene Dekart (René Descartes), osnivač analitičke geometrije, bio je među vodećim zastupnicima atomizma, a davao je i neke teorije o materiji i kosmologiji, veoma maštovite, sa velikim razmahom, ali neuspešne.

Gledali smo klasičnu fiziku iz jednog neuobičajenog ugla - naime, prateći potragu za Demokritovim a-tomom. Obično se ova klasična era posmatra kao istraživanje sila, i to dve sile, a to su sila teže i elektromagnetna sila. Kao što smo videli, sila teže potiče od privlačenja masa. U elektricitetu je Faradej prepoznao drugačiju pojavu; tu je materija nevažna, rekao je on. Polja sila treba gledati. Naravno, kad dobiješ silu, ipak se moraš pozvati na Njutnov drugi zakon ( $F = ma$ ) da bi ustanovio koliko će kretanje proisteći iz te sile; a tu inerciona materija, stvarno, jeste bitna. Faradejeva teza da materija nije bitna izvedena je iz intuicije Ruđera Boškovića, jednog od pionira atomizma. Naravno, Faradej je dao i prve nagoveštaje o 'atomima elektriciteta'. Možda bi neki ljudi rekli da ne treba istoriju gledati na ovaj način, kao traganje za jednim konceptom, za konačnom česticom. Pa ipak, to traganje postoji ispod površine intelektualnog života mnogih junaka fizike.

Potkraj devedesetih godina devetnaestog veka, fizičari su mislili da su već, otprilike, sklopili celu sliku. Shvatili ceo elektricitet, ceo magnetizam, celu svetlost, celu mehaniku i sve o stvarima u pokretu, a i kosmologiju, i gravitaciju... ovladali svim tim stvarima, i to pomoću samo nekoliko jednostavnih jednačina. Što se atoma tiče, većina hemičara smatrala je to pitanje manje-više zatvorenim. Imamo periodnu tablicu elemenata. Vodonič, helijum, ugljenik, kiseonik i tako dalje, svi su elementi, svaki se sastoji od svojih atoma, a ti atomi su svi nevidljivi i svi nedeljivi.

Doduše... šta reći... tu i tamo se u toj slici nalazila poneka tajanstvena naprsina. Sunce, na primer. Zbunjivalo ih je. Koristeći tadašnje poznavanje hemije i atomistike, britanski naučnik lord Rajli izračunao je da je Sunce svakako trebalo da sagori sve svoje raspoloživo gorivo u roku od 30.000 godina od svoga postanka. Naučnici su, međutim, znali da je Sunce mnogo starije od toga. Pa onda, ta stvar sa eterom. Mnogo nezgodna stvar. Eter bi morao da ima neke mehaničke osobine koje su - sakloni Bože - zaista bizarne. Morao bi da bude potpuno providan; takođe, sposoban da klizi između atoma svih materija, a da ih ne uznemiri ni najmanje, a ipak, u isto vreme, da bude čvrst kao čelik da bi izdržao nailazak svetlosti koja kroz njega šiba tako stravičnom brzinom. Ipak, ljudi su se nadali da će te i druge tajne već biti nekako rešene kad za to dođe pravo vreme. Da sam ja bio nastavnik davne 1890, lako se moglo desiti da kažem svim mojim studentima da idu kući i da se opredele za neku zanimljiviju nauku jer su u fizici sva velika pitanja rešena. Ono malo što je ostalo - otkud Suncu snaga, otkud radioaktivnost, i još poneka zagonetka - ranije ili kasnije pregaziće teorijski parni valjak Njutna i Maksvela, neće ti problemčići odoleti takvoj snazi. Fizika je u suštini cela već smeštena uredno u kutiju, kutija zamotana u ukrasni papir, uvezana ukrasnom trakom, a traka je navrh kutije vezana još i u 'mašnicu'.

Kad najednom, na samom kraju veka, počne taj paket da se razmotava. Krivac je bila eksperimentalna nauka. Ko bi drugi.

### **PRVA PRAVA ČESTICA**

Tokom devetnaestog veka fizičari su se zaljubili u električna pražnjenja koja se mogu puštati kroz staklenu cev ispunjenu nekim gasom pod niskim pritiskom. Odeš kod duvača stakla i on ti napravi divnu cevčugu, metar dugačku. U oba kraja uvuku se metalne

elektrode, a onda se zatope. Eksperimentator ispumpa vazduh najbolje što ume i može, a onda pusti unutra samo malo nekog željenog gasa (vodonika, ili ugljen-dioksida, a može i da ostane malo vazduha); važno je da pritisak bude nizak. Negde u blizini treba da bude baterija; žice iz nje prikačiš na jednu i drugu elektrodu. Potreban je visoki napon. Onda, u zamračenoj sobi, naučnici sa divljenjem gledaju prekrasna žarenja i blistanja gasa, koja će i menjati oblik ako se pritisak menja. Ko god je video neonsku reklamu, zna kako izgleda to blistanje i žarenje. A kad se pritisak dovoljno smanji, blistanje u cevi pretvori se u zrak, samo jedan, prav, koji putuje od katode, negativne elektrode, prema anodi, pozitivnoj. Taj zrak nazvaše, logično, 'katodni zrak'. Ove pojave, za koje sad znamo da nisu nimalo jednostavne, očarale su celo jedno pokolenje fizičara i privlačile zanimanje laika širom Evrope.

Naučnici su znali za neke sporne i međusobno suprotne pojedinosti o tim katodnim zracima. Zraci donose negativni električni naboj. Putuju pravolinijski. Ako im se na put, unutar cevi sa niskim pritiskom, namesti fini, laki točak sa lopaticama, zraci će taj točak početi da okreću. Električna polja ne skreću ovakav zrak. Električna polja skreću ovakav zrak. Magnetno polje savija ga u luk, a taj luk je ona vrsta koja je, oblikom, deo kružnice (kružni luk). Kroz debelu metalnu ploču ovaj zrak ne može da se probije, kroz tanku metalnu foliju može.

Zanimljive činjenice, ali ostala je glavna tajna: šta su katodni zraci? U poznom devetnaestom veku, nagađanja o ovome išla su u dva pravca. Neki istraživači su mislili da bi katodni zraci mogli da budu elektromagnetne vibracije u eteru, i to vibracije bez ikakve mase. Nije im to bilo loše nagađanje. Jer, katodni zrak svetli kao svetlosni zrak, koji jeste jedna vrsta (ali ne ta vrsta) elektromagnetnog treperenja. Jasno je bilo da elektricitet, koji je oblik elektromagnetizma, ima neke veze sa ovim zrakom.

Drugi tabor tvrdio je da katodni zrak ipak jeste neki oblik materije. Nagađalo se da su to neki molekuli gasa u cevi, koji su od elektriciteta uzeli deo napona. Ali isto tako se nagađalo da je katodni zrak sazdan od nekog novog oblika materije, od nekakvih sitnih čestica koje nikad dotad nisu izdvojene. Iz raznih razloga, zamisao da postoji neki osnovni prenosilac naelektrisanja 'visila je u vazduhu'. Pa, dobro, hajde da mi odmah pustimo mačku iz te vreće. Katodni zraci nisu bile elektromagnetne vibracije, niti su bili molekuli gasa.

Da je Faradej bio još živ u to doba, šta bi rekao? Njegovi zakoni snažno su nagoveštavali da postoje 'atomi elektriciteta'. Setićete se da je i Faradej pravio neke slične opite, s tim što je provodio električnu struju kroz tečnosti, a ne kroz gasove; na kraju je dobijao jone, dakle naelektrisane atome. Još godine 1874, Džordž Džonston Stouni (George Johnston Stoney), irski fizičar, skovao je termin 'elektron' za onu jedinicu naelektrisanja koja bude izgubljena u trenutku kad neki atom postaje jon. Da je Faradej mogao da gleda katodne zrake, možda bi u dubini duše znao da su to elektroni u akciji.

Neki naučnici su u ovom razdoblju možda naslućivali da je katodni zrak sačinjen od čestica; možda su neki i smatrali da je, time, elektron konačno pronađen. Ali kako to ustanoviti? Kako dokazati? U razdoblju pomnih istraživanja, do godine 1895, mnogi istaknuti istraživači u Engleskoj, Škotskoj, Nemačkoj i SAD proučavali su električna pražnjenja u gasovima. 'Zlatni rudnik' našao je, međutim, tek Dž. Dž. Tomson, Englez. Neki drugi su bili na domaku. Osvrnucemo se na dvojicu takvih, samo da bismo videli koliko tuge i žalosti može biti u naučnom radu.

Tip koji se najbliže primakao da pre Tomsona otkrije elektron bio je Emil Vajhert (Emil Weichert), pruski fizičar. Svoju tehniku pokazao je publici u jednoj dvorani, januara 1887. godine. Njegova staklena cev bila je oko četrdeset centimetara dugačka, a osam centimetara u prečniku. Dvorana je bila delimično zamračena, tako da su blistavi katodni zraci u cevi bili odlično vidljivi.

Ako si naumio da nekoj čestici nabaciš laso oko vrata i uvučeš je u ogradu zvanu 'koral', moraš da postigneš dve stvari: da opišeš koje naelektrisanje (e) ona ima i koju masu (m). U ono doba, čestica o kojoj govorimo nije mogla da bude izmerena jer nije bilo načina da se izmeri težina nečeg tako malenog. Da bi zaobišli ovaj problem, mnogi istraživači su se, nezavisno jedan od drugog, dosetili da na zrak deluju poznatim električnim i magnetnim silama, pa da izmere nastalu reakciju zraka. Sećate se da je  $F = ma$ . Ako je katodni zrak stvarno mlaz nekakvih naelektrisanih čestica, onda će sila, koja

na njih deluje, zavisi od količine naelektrisanja ( $e$ ) koju svaka ta čestica nosi. Ali će reakcija zraka biti utoliko slabija ukoliko je inerciona masa ( $m$ ) svake čestice veća. Na nesreću, dakle, jedino si mogao da izmeriš koeficijent dobijen deljenjem jedne te veličine drugom; razlomak  $e/m$ . A to znači da nikako nisi mogao naći koliko je samo  $e$ , a koliko je samo  $m$ . Šta ti vredi da dobiješ neki broj koji je ishod deljenja  $e$  sa  $m$ ? Evo jednog jednostavnog primera. Daju ti broj 21 i kažu da je nastao tako što je nešto podeljeno sa nečim. Imaš, zaista, jedan nagoveštaj, ali samo nagoveštaj. Ta dva broja za kojima tragaš mogu biti 21 i 1, ili, isto tako, 63 i 3, ali moglo bi biti i 7 i  $1/3$ . Zašto ne 210 i 10? I tako dalje - do beskonačnosti. Ali kad bi bar naslutio koji je jedan od ta dva broja, za tren bi ustanovio i onaj drugi. Dedukcijom.

U svome jurišu na  $e/m$ , Vajhert je preko cevi stavio potkovičasti magnet, tako da se cev našla u rupi potkovice, između krakova. Blistavi zrak savio se u luk. Magnet odguruje električne naboje u česticama na jednu stranu; ukoliko su one sporije, utoliko će lakše magnet uspeti da savije njihovu putanju u kružni luk. Vajhert je dokučio kolika je brzina zraka, i na osnovu toga i magnetu prilično dobro ocenio  $e/m$ .

Bilo mu je takođe jasno da ako može na osnovu iole ikakvog znanja da nasluti koliko je naelektrisanje čestice, odmah potom može i da izračuna približnu njenu masu. Zaključak Vajhertov glasio je: "Nemamo ovde nikakva posla sa atomima znanim iz hemije, jer masa ovih pokretnih čestica (u katodnom zraku) izgleda da je dve hiljade do četiri hiljade puta manja od mase najlakšeg poznatog hemijskog atoma, vodonikovog." To je bilo maltene u samo središte mete. Čovek je bio svestan da traga za novom vrstom čestice. Bio je proketo blizu da pogodi njenu tačnu masu. (Danas znamo da je masa jednog elektrona 1.837 puta manja nego masa vodonikovog atoma.) Pa, zašto je onda Tomson u visinama slave, a Vajhert samo fusnota? Zato što je Vajhert naprosto pretpostavio (nagađao) vrednost za naelektrisanje; nije imao nikakav dokaz o tome. Vajhertu je smetalo i to što je baš tada prelazio sa jednog zaposlenja na drugo; kao i to što mu je pažnju odvlačilo drugo interesovanje - za geofiziku. Bio je to naučnik koji je pogodio tačan zaključak, ali nije imao sve podatke potrebne za to. Na ovom vašaru tvoja strelica je pogodila, Emile, ali cigaru nisi osvojio!

Drugi 'Uh! zamalo!' pronalazač elektrona bio je Valter Kaufman (Walter Kaufmann) u Berlinu. Taj drugar je projurio preko linije finiša ove trke u aprilu 1897, ali su njegove greške bile tačno suprotne od Vajhertovih. Čovek prikupio dobre podatke... a onda loše razmišljao o njima. I on je pomoću magnetnih i električnih polja došao do vrednosti za  $e/m$ , ali je poneo ove opite još dalje - jedan značajan korak dalje. Zainteresovao se za pitanje kako bi se vrednost  $e/m$  menjala kad bi se i pritisak gasa u cevi menjao, i kad bi se, štaviše, menjala vrsta gasa u cevi - vazduh, vodonik, ugljen-dioksid. Za razliku od Vajherta, Kaufman je mislio da su čestice katodnog zraka naprosto naelektrisani atomi tog gasa koji se u cevi nalazi; iz toga proističe da će one imati sasvim različite mase kad je u cevi ovaj, ili onaj, ili neki treći gas. Ali... iznenađenje. Kaufman je ustanovio da se vrednost ( $e/m$ ) prilikom promene vrste gasa u cevi ne menja. Uvedeš u cev bilo koji gas i pod bilo kojim pritiskom, a ovo  $e/m$  ostane - isto! Kaufman je ostao 'bez teksta', nije znao šta bi dalje preduzeo. Zato je i propustio čamac ka obali slave. Šteta, šteta zaista, jer njegov opit bio je i te kako elegantan. Kaufman je čak tačnije izračunao vrednost  $e/m$  nego onaj ko je u ovom takmičenju pobedio, Dž. Dž. Tomson. Zaista je jedna od svirepih ironija nauke da Kaufman nije video, nije čuo ono što su njegovi podaci naprosto vikali, vrištali njemu u lice: tvoje čestice su novi oblik materije, hej, Dummkopf, glavo tvrda! Te čestice su sastavni delići atoma, i to svih atoma, svake vrste atoma. Zato se  $e/m$  ne menja.

Džozef Džon Tomson počeo je karijeru u oblasti matematičke fizike i veoma se iznenadio kad su ga, 1884. godine, imenovali za profesora eksperimentalne fizike u slavnoj laboratoriji Kevendiš na Kembriđžskom univerzitetu. Baš bi lepo bilo kad bismo znali da li je zaista želeo da postane eksperimentator. Nadaleko se širio glas o njegovoj fizičkoj trapavosti u rukovanju raznim predmetima tokom obavljanja opita. Ali on je imao tu sreću da su se oko njega našli odlični asistenti koji su postupali po njegovim uputstvima, tako da profesor Tomson nije morao da prilazi ni blizu staklariji koja, kao što znamo, tako lako može da se polomi.

Godine 1896. Tomson je prionuo na posao da shvati prirodu katodnog zraka. Imao je i on staklenu cev dugačku četrdeset centimetara. I, sad, na jednom kraju je katoda iz koje izbijaju ti tajnoviti zraci. Zraci srljaju prema anodi, dobro, ali u anodi je neko izbušio rupu. Ta rupa dopušta jednom delu katodnih zraka (čitaj: elektrona) da prolete kroz nju i lete dalje, sve do kraja cevi. Tamo je namešten jedan fluorescentni ekrančić. Na njemu nastaje blistava zelena tačkica. Tomson uvodi jedno iznenađenje. U cev unosi dve pločice, dugačke po petnaestak centimetara. Jednu namešta iznad, drugu ispod. Katodni zrak koji je već prošao kroz rupu u anodi mora sad da prođe i između ovih pločica, da bi tek onda udario u ekrančić. Tomson povezuje te dve pločice za bateriju, pušta struju, nastaje električno polje pod pravim uglom u odnosu na putanju katodnog zraka. Sad smo u oblasti defleksije.

Ako zrak bude reagovao na ovo polje, to će značiti da je nosilac naelektrisanja. Ako su, međutim, katodni zraci fotoni, prenebreciće postojanje ove dve pločice i produžice da se kreću pravolinijski sve do ekrana. Tomson uzima moćnu bateriju i vidi da se zelena tačkica na fluorescentnom ekranu pomera nadole kad je gornja pločica naelektrisana negativno, a nagore kad je naelektrisana pozitivno. Time dokazuje da su katodni zraci naelektrisani. Onako uzgred otkriva da ako je struja naizmenična, ako se brzo smenjuju njena dva pola (plus-minus, plus-minus, plus-minus...) tačkica juri gore-dole, gore-dole, tako brzo da se pretvara u blistavu zelenu liniju. To je prvi korak u pravcu stvaranja televizijskog ekrana i gledanja Dena Rejdера na večernjem TV dnevniku.

Ali godina je tek 1896, a Tomsonu sad nije do toga. On nešto drugo ima na umu. Pošto je sila poznata (to je jačina električnog polja), ništa lakše nego izračunati, pomoću najjednostavnije njutnovske mehanike, koliko ta blistava tačkica treba da se pomeri nagore, ili nadole, ako znamo brzinu zraka. Sad Tomson ubacuje jedan trik. Namešta i magnet oko cevi u takav položaj da magnetno polje deluje sasvim suprotno električnom polju; znači, magnetni otklon i električni otklon treba međusobno da se tačno potru. Pošto će magnetna sila zavisiti od te nepoznate brzine, Tomsonu je dovoljno da očita snagu električnog i snagu magnetnog polja, pa da dobije tačnu vrednost za pomenutu brzinu. On to i čini. E, sad, kad je ustanovio brzinu kretanja katodnog zraka, može se vratiti prethodnom zadatku, merenju otklona zraka u električnom polju. Dobija rezultat, tačnu vrednost za  $e/m$ , a to je razlomak dobijen deljenjem naelektrisanja jedne čestice katodnog zraka masom te iste čestice.

Veoma prilježno, Tomson pušta različite jačine električnog polja da deluju. Meri otklone. Poništava otklone pomoću dejstva drugih polja. Meri polja, dobija još podataka o  $e/m$ . Isto kao i Kaufman, sve proverava i sa katodom napravljenom od drugih metala (od aluminijuma, platine, bakra, kalaja). Opiti ponovljeni - rezultati isti. Dobija se uvek jedan isti broj. Tomson takođe menja gas u cevi: vazduh, vodonik, ugljen-dioksid. Rezultati opet isti. Tomson ne ponavlja Kaufmanovu grešku. Zaključuje da katodni zraci nisu neelektrisani molekuli nijednog gasa, nego da su to neke osnovne čestice koje moraju ulaziti u sastav sve materije.

Pošto još nije zadovoljan količinom prikupljenih dokaza, on se doseti da iskoristi zakon o očuvanju energije. Hvata katodne zrake tako što na njihovu putanju stavlja jedan blok metala, kao malu opeku. Taj blok hvata katodne zrake i zadržava ih u sebi. Energija kojom zraci raspolažu poznata je; to je, naprosto, električna energija, tačno ona koju im napon baterije daje. Koliko će se blok metala zagrejati? Tomson meri tu temperaturu i opaža da, kad podeli energiju (onu koju su hipotetični 'elektroni' morali imati) toplotom stvorenom u metalnoj 'opeki', dobija baš onu istu razmeru  $e/m$ . Kreće dugotrajnim nizom opita i dobija vrednost za  $e/m$  ( $2,0 \times 10^{11}$  kulona po kilogramu) koja nije mnogo različita od njegovog prvog nalaza. Godine 1897. Tomson saopštava rezultat: "Imamo u katodnom zraku materiju u jednom novom stanju, stanju u kome se sa deobom materije na sve sitnije i sitnije deliće otišlo mnogo, veoma mnogo dalje nego pri stvaranju običnog gasovitog stanja." Ova "deoba materije na sve sitnije i sitnije deliće" važi za svu materiju, a pronađeni delići jesu "deo one stvari od koje su hemijski elementi sazdani".

Kako nazvati tu novu česticu? Već je pri ruci reč koju je smislio Stouni, 'elektron'; pa, kad je tako, nek bude elektron. Tomson je krenuo da drži predavanja i da piše članke o

osobinama čestica katodnog zraka. Ovim se bavi od aprila do avgusta 1897. Taj posao je poznat pod nazivom marketing - iznošenje tvojih naučnih rezultata na 'tržište'.

Preostala je još jedna zbunjujuća stvar koju je trebalo razrešiti. Kolika je vrednost samo  $e$ , a kolika je, zasebno od  $e$ , vrednost onoga  $m$ ? Tomson se tu nalazi u istom škripcu kao Vajhert nekoliko godina pre toga. Zato preduzima nešto oštroumno. Primećuje da je  $e/m$  za ovu novu česticu otprilike hiljadu puta veće nego za vodonik, najlakši od svih hemijskih atoma, i shvata da kod elektrona ili  $e$  mora biti mnogo veće, ili  $m$  mnogo manje. Šta više volimo: veliko  $e$  ili malo  $m$ ? Po intuiciji, Tomson ide na malo  $m$  - hrabar izbor, jer on je naprosto nagađao da bi nova čestica mogla imati majušnu masu, daleko manju od vodonikove. Imajmo na umu da u to doba većina hemičara i fizičara još veruje da se hemijski atom ne može podeliti. A, gle, šta radi ovaj Tomson, insistira da taj sjaj u njegovoj cevi jeste dokaz da postoji jedan zajednički sastojak svih atoma, jedan njihov sitniji sastavni delić.

Godine 1898. Tomson kreće da izmeri električni naboj elektrona. To bi značilo da, posredno, ustanovi odmah i masu elektrona. Za ovo koristi sasvim novu tehniku, poznatu pod nazivom 'maglena komora'. Izmislio ju je njegov student, Škotlanđanin po imenu Vilson (C. T. R. Wilson), ali sa namerom da proučava osobine kiše. U Škotskoj imaju kiše napretek; tamo nije nestašica toga. Kiša nastaje kad se vodena para kondenzuje oko trunčica prašine, stvarajući, tako, kapljice. Kad je vazduh čist, naelektrisani atomi, dakle joni, mogu da posluže umesto prašine. E, upravo to se dešava u maglenoj komori. Ukupni električni naboj magle u komori Tomson je izmerio pomoću elektrometrijske tehnike, a onda je ustanovio koliki je naboj svake kapljice vlage tako što ih je prebrojao i njihovim brojem podelio ukupni naboj.

Kad sam spremao doktorsku disertaciju, morao sam kao deo tog posla da načinim jednu Vilsonovu (to jest, maglenu) komoru, i od tada mrzim tu tehniku, mrzim Vilsona, mrzim svakoga ko je imao ikakve veze sa tom zlosrećnom spravom tvrdoglavom poput mazge. To što je Tomson izvukao tačnu vrednost  $e$  i onda, naravno, dobio i tačnu vrednost  $m$ , to je čudo nad čudima. A pomislite samo sa čim se on još suočavao... Njegova odanost poslu morala je biti stvarno stamena. Otkud on zna koliko je jako električno polje? Pročita nalepnicu na bateriji, možda? Nalepnice nema. Otkud zna baš tačnu jačinu magnetnog polja, bez čega ne može izmeriti brzinu? A kako je on uopšte merio struju? Gledaš kako se pomiče igla na skali, ali tu ima problema. Igla ima i neku svoju debljinu. Igla se ponekad njiše ili treperi. A kako si kalibrisao taj merni instrument - na osnovu čega su podeoci na skali nacrtani baš tako, a ne drugačije? Godine 1897. nisi mogao iz nekog kataloga da naručiš sve što treba, proizvedeno tačno po standardima. Svako pojedino merenje - napona, jačine struje, temperature, pritiska, udaljenosti, proteklog vremena - bilo je zaseban, ogroman problem. Za rešavanje svakog takvog problema, morao si do u tančine da poznaješ rad baterije, magneta, mernog instrumenta.

A tek politički problem: kako ubediti ljude koji su na vlasti da ti odobre novac potreban za sve to. Tomson je bio gazda u toj laboratoriji, što mu je zaista pomoglo. Međutim, ne pomenuh najveći od svih problema: kako odlučiti koji opit treba da se radi. Tomson je imao dar, političku spretnost i fizičku izdržljivost da izgura do kraja taj posao u kome su svi drugi poklekli i pali. Godine 1898. objavio je da su elektroni sastojci atoma i da su katodni zraci elektroni otrgnuti od atoma. Do tada su naučnici mislili da je hemijski atom lišen strukture, da ga je nemoguće preseći. Tomson ga je rasklopio.

Atom je tako bio rascepljen. Našli smo našu prvu elementarnu česticu, prvi a-tom. Čujete li da se neko tamo tiho smejuje?

## 5. GOLI ATOM

Ovde se dešava nešto glasno,  
al' šta se dešava nije jasno.

Bafalo Springfield

Na novogodišnje večere na kraju 2000. godine, dok se ceo svet bude veselio na poslednjoj velikoj svetkovini u ovom stoleću, fizičari od Palo Alta do Novosibirsk, od Kejptauna do Rejkjavika, odmaraju se, umorni od svoje svetkovine otprilike tri godine pre toga - kad su proslavili stotu godišnjicu (a to je u 1998. godini) otkrića elektrona, prve zaista elementarne čestice. Fizičari vole da svetkuju. Proslaviće oni rođendan svake čestice, ma kako opskurne. Ali elektron - o, uau! Plesaće oni po ulicama.

Kad su otkrili elektron, posle toga su mu često nazdravljali, na mestu gde je rođen (a to je u laboratoriji Kevendiš u Kembridžu) govoreći sa čašom u uzdignutoj ruci: "Dugo nam poživelo i nikada ni za šta ne poslužio!" Ali nije uspelo. Prošlo je, evo, nepuno jedno stoleće, a celokupna naša tehnološka nadgradnja zasnovana je na tom jednom malenom drugaru, elektronu.

Tek što se rodio, elektron je počeo da nam pravi probleme. Baca nas on 'u rebus' i do dana današnjeg. Kad hoćemo sebi da dočaramo 'sliku' elektrona, onda zamislimo jednu lopticu električnog naboja koja se brzo vrti oko svoje ose i time stvara magnetno polje. Dž. Dž. Tomson se borio kao lav da izmeri naelektrisanje i masu ove čestice, i izborio se. Danas znamo i jednu i drugu vrednost veoma precizno.

Pažnja, sad kreće ono avetinjsko. U čudnovatom svetu atoma, manje-više je usvojeno da je poluprečnik elektrona jednak nuli. Ovo postavlja pred nas izvesne probleme:

- Ako je poluprečnik nula, šta se vrti?
- I kako može imati masu?
- I gde je taj njegov naboj?
- Otkud nam uopšte zamisao da mu je poluprečnik jednak nuli?
- Je li možete vi nama da vratite pare koje smo uplatili za ovakvo 'školovanje'?

Sad se gledamo oči u oči sa problemima Ruđera Boškovića. On je problem sudaranja atoma rešio tako što ih je pretvorio u tačke, bez ikakvih dimenzija. Te njegove tačke bile su, bukvalno, matematičke tačke, ali je on ipak dozvolio svojim tačkastim česticama da zadrže neke sasvim obične osobine: masu, kao i nešto što danas nazivamo naboj (a Bošković je govorio da je to "izvor polja sile"). Bošković je pričao teorijski, spekulativno. Ali elektron je stvaran, stvarno postoji. Verovatno jeste tačkasta čestica, ali sve one druge odlike ima. Zadržava ih, nedirnutu. Masu ima. Naelektrisanje ima. Spin ima. Poluprečnik nema.

Setite se češkog mačora u romanu Alisa u zemlji čuda Luisa Kerola (Lewis Carroll). Malo-pomalo nestaje češki mačak, i najzad ga nema, samo njegov osmeh ostaje. Mačora tu nema. Samo se osmeh zadržao. Pa, lepo, zamišljajte kako se poluprečnik jedne čestice, koja se vrti oko svoje ose, smanjuje, smanjuje polako, i najzad nestane, ali ostanu spin te čestice, naelektrisanje, masa i osmeh.

Ovo poglavlje govori o rođenju i razvoju kvantne teorije. To je priča o onome što se dešava u atomu. Počinjem sa elektronom zato što je takva čestica, koja ima masu i spin, a nikakav prečnik nema, suprotna intuiciji nas, ljudskih bića. Ona je, dakle, kontraintuitivna. Razmišljati o takvim stvarima, to je kao da radiš moždane sklekove. Hoće mozak da zaboli malčice jer si prinuđen da koristiš neke opskurne moždane mišiće koji do tada nisu radili, možda, ništa.

Pa ipak, zamisao o elektronu kao tačkastoj masi, tačkastom električnom naboju i tačkastom spinu stavlja nas pred konceptualne probleme. Sa ovim strukturnim teškoćama blisko je povezana i Božija čestica. Dubinsko shvatanje šta je to 'masa' nama još izmiče, a elektron iz tridesetih i četrdesetih godina bio je vesnik ovih teškoća.

Merenje razmera elektrona postalo je svojevrsna narodna radinost, tu su branili doktorske disertacije pripadnici svake nacije, iz celog sveta, pa i sa Tibeta. Prolazile su godine, izvođeni su opiti sa sve većom osetljivošću i svaki put dobijani su sve manji i manji brojevi. Rezultati su svaki put bili takvi da bi se uklopili i sa nultim poluprečnikom. Kao da je Bog uzeo elektron u šaku i stiskao (stiskala) najjače što može. Uz pomoć velikih akceleratora napravljenih tokom sedamdesetih i osamdesetih godina ovog veka, ova merenja postadoše još preciznija. Godine 1990. ustanovljeno je da poluprečnik elektrona mora biti manji od 0,000000000000000001 inča, ili, naučno napisano, oko od 10-18 cm. To je najbolja 'nula' koju fizika može o elektronovom poluprečniku da dâ... za sada. Kad bih smislio opit kojim bi se na ovo mogla dodati još jedna nula, bacio bih iz ruku sve druge poslove i pojurio bih da tražim odobrenje za taj poduhvat.

Još jedna zanimljiva osobina elektrona jeste njegov magnetizam, koji je opisan pomoću jednog broja, poznatog kao  $g$  činilac. Upotrebom kvantne teorije, izračunato je da  $g$  činilac iznosi:

$$2 \times (1,001159652190)$$

Ali to su bila izračunavanja! Velemajstori teorijske fizike godinama su radili, koristeći ogromno vreme na kompjuterima, da bi to izračunali. Radi potvrđivanja, eksperimentatori su smislili veoma domišljate metode da izmere  $g$  činilac sa istom takvom preciznošću. Rezultat je:

$$2 \times (1,001159652193)$$

Kao što vidite, imamo potvrdu maltene do dvanaestog decimalnog mesta. To je spektakularno podudaranje teorije i opita. Suština je ovde to što proračuni  $g$  činioaca izrastaju iz kvantne teorije, a u samom srcu kvantne teorije leži ono što danas kažemo da je 'Hajzenbergovo načelo neodređenosti'. Godine 1927. jedan nemački fizičar predložio je zapanjujuću zamisao: da je nemoguće izmeriti, sa nekom proizvoljno željenom preciznošću, i brzinu i položaj čestice istovremeno. Ponavljam - i jedno i drugo; nemoguće je izmeriti oba. Ova nemogućnost nema nikakve veze sa genijalnošću eksperimentatora i sa razmerama budžeta koji mu je dat na raspolaganje. Ta nemogućnost je jedan od najosnovnijih zakona prirode.

Pa ipak, iako je neodređenost utkana u samo tkivo, u samo biće kvantne teorije, ova teorija nastavlja da proizvodi sve nova i nova predviđanja koja se posle podudare sa rezultatima opita do, recimo, jedanaestog decimalnog mesta. Kvantna teorija je nesumnjivo naučna revolucija i ujedno uporište na kome leže temelji celokupne nauke dvadesetog veka... ali počela je priznanjem o jednoj neodređenosti, nemogućnosti da se bude siguran.

Otkud nam ta teorija? Priča o tome je dobro detektivsko štivo; kao i u svim delima te vrste, i ovde imate tragove, od kojih su neki pravi, a neki lažni. Na sve strane se vrzmaju neki batleri i zbunjuju detektive. Gradski panduri, pa zatim policija savezne države i, najzad, FBI dolaze, svađaju se, sarađuju, odlaze svaki na svoju stranu. Junaka ima mnogo. Postoje preokreti i onda preokreti preokreta. Daću jedno veoma jednostrano gledanje na ovo, nastojeću da prenesem uglavnom samo kakvo je bilo osećanje dok su se ove zamisli razvijale od 1900. do tridesetih godina. (Tada su veoma zreli 'revolucionari' doveli u red i 'završne' pojedinosti ove teorije.) Ali, upozoravam vas! Mikrosvet je kontraintuitivan; tačkaste mase, tačkasti naboji, tačke koje se vrte jesu opitno dokazane odlike čestica u atomskom svetu, ali mi u svakodnevnom normalnom životu ne vidimo ništa ni izdaleka slično tome. Ako ćemo preživeti zajedno i ostati prijatelji do kraja ovog poglavlja, moraćemo naučiti da prepoznamo onaj mamurluk koji u našoj glavi ostaje zbog ograničenog iskustva koje stičemo kao makrostvorenja. Dakle, zaboravite ono što je normalno; očekujte šok i nevericu. Nils Bor, jedan od osnivača kvantne teorije, rekao je da onaj ko kvantnom teorijom nije šokiran, nije ni razumeo šta se u njoj kaže. Ričard Fajnmen je saopštio da kvantnu teoriju ne razume niko. ("Pa šta onda Vi očekujete od nas?" pitaju moji studenti.) Ajnštajn, Šredinger i još neki dobri naučnici nikada se nisu pomirili sa implikacijama kvantne teorije, pa ipak, danas, u

devedesetim godinama dvadesetog veka, za mnoge kvantne 'aveti' smatra se da su od presudnog značaja za razumevanje nastanka Vaseljene.

U arsenalu intelektualnog naoružanja sa kojim su istraživači zakoračili u novi svet atoma behu i Njutnova mehanika i Maksvelove jednačine. Činilo se da sve makroskopske pojave jesu podvrgnute tim dvema moćnim sintezama. Ali opiti iz devedesetih godina devetnaestog veka počeli su da zabrinjavaju teoretičare. O katodnim zracima već smo govorili, a oni su doveli do otkrića elektrona. Godine 1895. Vilhelm Rentgen (Wilhelm Röntgen) otkrio je zrake koji se po njemu tako i zovu, rendgenski zraci. Godine 1896. Antoan Bekerel (Antoine Becquerel) pukim slučajem otkriva radioaktivnost; naime, on je strpao u istu ladicu izvesne fotografske ploče i neke komade urana. Radioaktivnost je brzo dovela do koncepta životnog veka i 'veka poluraspadanja' (ili 'poluživota') radioaktivnih tvari. Polovina radioaktivnog materijala raspadne se posle izvesnog vremena, osobenog za taj materijal. Reč je tu o jednom proseku koji se može izmeriti, ali kad će se i da li će se neki određeni, pojedinačni atom raspasti, to je nepredvidljivo. Pa, šta sve to znači? To nikome nije bilo jasno. Nijedna od pomenutih pojava nije se mogla objasniti na klasičan način.

### **KAD DUGA NIJE DOVOLJNA**

Fizičari su tada počeli da zaviruju izbliza i u osobine svetlosti. Njutm je pomoću prizme pokazao da može napraviti kopiju duge tako što će rastaviti belu svetlost u njene spektralne sastojke; dobija se spektar koji počinje crvenom bojom, a na drugom kraju se završava ljubičastom, pri čemu se boje postupno i glatko pretapaju jedna u drugu. Godine 1815. Jozef fon Fraunhofer (Joseph von Fraunhofer), zanatlija veoma vešt, znatno je unapredio optički sistem korišćen za gledanje tih boja koje izviru iz prizme. Namestio je pored prizme maleni teleskop. Kad zuriš jednim okom kroz taj teleskop, a drugo zatvoriš, ugledaš veoma jasno, sa izvrsnim izoštrjenjem, uveličanu sliku spektra. Ovim instrumentom Fraunhofer je začas došao do jednog otkrića. Na veličanstvenim bojama Sunčevog spektra postoje, pokazalo se, neke fine crne linije, čitav niz; Fraunhofer je posle nekog vremena zabeležio čak 576 tih uporednih tankih linija. Šta bi to moglo da znači? U Fraunhoferovo vreme već je bilo poznato da je svetlost talasna pojava. Kasnije će Džejms Klerk Maksvel pokazati da su svetlosni talasi električna i magnetna polja i da je, kod njih, presudan parametar razdaljina između vrha jednog talasa i vrha sledećeg - dakle, talasna dužina, koja određuje boju.

Kad znamo talasne dužine, možemo spektar duginih boja raširen ispred nas razložiti na uspravne uporedne trake i svakoj traci pridodati određene brojčane vrednosti. Biće to numerička skala, to jest raspon brojeva. Vidljiva svetlost kreće se od duboke crvene, koja ima talasnu dužinu oko 8.000 angstrema (0,00008 cm), pa sve do duboke ljubičaste, koja ima oko 4,000 angstrema. Upotrebljavajući ovu skalu, Fraunhofer je tačno odredio mesto svake od tih tankih crnih linija. Na primer, jedna slavna, poznata kao 'ha-alfa' (tako se naziva, a ako ti se to ne dopada, možeš da je prekrstiš u, recimo, 'Cica') ima talasnu dužinu od 6.526,8 angstrema i nalazi se u zelenom području, blizu sredine spektra.

Šta nas briga za te crte? Briga nas je i te kako, jer je oko 1859. godine nemački fizičar Gustaf Robert Kirhof (Gustav Robert Kirchhoff) pronašao duboku povezanost ovih linija sa hemijskim elementima. Tip je zagrevao pojedine hemijske elemente - bakar, ugljenik, natrijum - u plamenu dok ih nije doveo do usijanja. Propuštao je struju kroz razne gasove u cevima i pomoću još usavršenije optičke aparature osmatrao je spektar dobijen razlaganjem svetlosti iz svake takve užarene tvari. Otkrio je da svaki element emituje osobeni niz vrlo oštih linija, blistavo obojenih, na pozadini koja se sastojala od tamnijeg žarenja boja koje se bez prekida prelivaju jedna u drugu. Kod Kirhofa je u unutrašnjost teleskopa bila već umetnuta jedna skala, ugravirana u staklo, kalibrisana da pomoću nje možeš odmah tačno izmeriti talasne dužine. Na taj način se moglo vrlo precizno odrediti mesto na kome se nalazi svaka blistava linija. Pošto su rasporedi ovih linija bili različiti za svaki hemijski element, Kirhof i njegov saradnik Robert Bunzen (Robert Bunsen) napravili su katalog ovih 'otisaka prstiju' koje svaki element ostavlja



pomoću pomenutih spektralnih linija. (Kirhofu je bio potreban neko da užaruje sve te elemente; a koga bi boljeg mogao da angažuje nego čoveka koji je pronašao Bunzenov gorionik?) Uskoro su istraživači mogli, uz malo veštine, da ustanove da li se u neki užareni komad provukla nečistoća - prisutnost nekog drugog hemijskog elementa u maloj količini. Tako je nauka dobila alatku pomoću koje može da ispituje hemijski sastav svakog predmeta koji iz sebe zrači svetlost - Sunca, na primer; posle izvesnog broja godina počeli smo na taj način da ispituujemo i sastav dalekih zvezda. Naučnici su našli spektralne linije čitavog niza novih, još neotkrivenih hemijskih elemenata, kao prebogati rudnik. U Suncu je nađen jedan takav i dat mu je naziv 'sunčani', a to je helijum. U spektru je uočen 1878. godine, a tek sedamnaest godina kasnije ovaj hemijski element koji se u zvezdama rađa otkriven je i na Zemlji.

Pomislite kakvo je to uzbuđenje bilo kad je prvi put proučena svetlost jedne blistave zvezde... i kad se pokazalo da je i ona sagrađena od istih ovih materijala od kojih smo sagrađeni mi, ovde, na Zemlji! Pošto je svetlost zvezda veoma bleđa, bila je potrebna velika veština u baratanju teleskopom i spektroskopom da bi se proučavali zvezdani spektralni otisci boja i crnih linija, ali su dobijeni zaključci koje više niko nije mogao da izbegne: i Sunce i zvezde od iste su građe kao Zemlja. Zapravo, još nismo našli ni jedan jedini element u zvezdama koji već nemamo na Zemlji. Svi smo napravljeni od zvezdane tvari. Za svako uzvišeno zaključivanje o svetu u kome živimo ovo otkriće je, naravno, od nepojamno velike važnosti. Ono dodatno potvrđuje Kopernikovo gledište: nismo ništa posebno.

Ah, da, ali otkud one crne crte koje je video već Fraunhofer, tip koji je sve ovo započeo? Crne uspravne linije u spektru Sunca? Odgovor na ovo pitanje nađen je prilično brzo. Užareno jezgro Sunca (ono je belo; nalazi se u stanju belog usijanjanja) emituje svetlost svih talasnih dužina. Međutim, ta svetlost mora da prođe kroz srazmerno 'prohladne' (to jest, mnogo hladnije od jezgra) gasove na površini Sunca, a dok svetlost prolazi, gasovi apsorbuju iz nje izvesne frekvencije, i to upravo iste one koje vole i da emituju. Prema tome, Fraunhoferove tamne linije su posledica, i dokaz, apsorpcije, upijanja. A njegove svetle linije su posledica, i dokaz, emisije.

Nalazimo se, dakle, na kraju devetnaestog veka i nastojimo sve ovo nekako da skontamo. Šta sad? Navodno su hemijski elementi čestice koje su tvrde, imaju masu, nemaju strukturu, nemoguće je da budu presečene: a-tomi. Ali, gle, svaki takav 'a-tom' izgleda da je sposoban da emituje ili apsorbuje svoj osoben niz oštih traka elektromagnetne energije. Nekim naučnicima se činilo da ove činjenice naprosto viču, da se dernjaju: "Struktura! Struktura!" Bilo je veoma dobro poznato da neki mehanički predmeti imaju strukturu koja, kad na nju delujete ujednačenim, pravilnim i jednakim impulsima, počinje da daje rezonanciju, pojačano odzvanjanje. Žice na violini ili u klaviru trepere i zato ovi vrlo pažljivo pravljene instrumenti daju muzičke note. Kad neki moćni tenor peva savršenu notu, dešava se da fina vinska čaša prsne u komade. Vojska krene preko mosta na nerazuman način, gruvajući nogama 'svi u korak' i most počne strahovito da se tresne i vibrira. I svetlosni talasi su to isto, ništa drugo: impulsi koji imaju svoj 'ritam', a to vam je njihova brzina podeljena njihovom talasnom dužinom. Ovi mehanički primeri navodili su ljude na pitanje: ako atomi nemaju unutrašnju strukturu, kako mogu da ispoljavaju odlike rezonancije, kao što je ovo sa spektralnim linijama?

Ali, ako atomi imaju strukturu, šta bi Njutnove i Maksvelove teorije rekly o tome? Jedna stvar bila je zajednička za rendgenske zrake, radioaktivnost, elektron i spektralne linije: ništa od ta četiri nije se nikako moglo objasniti klasičnom teorijom (mnogi su pokušali...). Opet, nijedna od tih pojava nije bila ni u neposrednoj suprotnosti sa Njutnovom i Maksvelovom teorijom. To su bile samo pojave koje se nisu dale objasniti. Dakle, nije se nigde video 'zadimljeni pištolj' i zato klasična fizika nije bila leš u padu; ostajala je nada da će odnekud došetati neki mladi pametnjaković da joj spase život.

Nije došetao nijedan. Umesto toga, pojavio se pištolj iz koga se dimilo. U stvari, bar tri zadimljena pištolja su se pojavila.

## **ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 1: ULTRALJUBIČASTA KATASTROFA**

Prvi opaženi dokaz koji je pravo krenuo da baš 'ubije' klasičnu teoriju bilo je takozvano 'zračenje crnog tela'. Iz svih predmeta zrači energija. Topliji predmeti zrače više energije. Živo, dišuće ljudsko stvorenje emituje oko 200 vati zračenja u infracrvenom, nevidljivom području spektra. (Teoretičari 210, a političari kad se zahukću dostižu 250.)

Svi predmeti takođe apsorbiraju energiju iz svog okruženja. Ako su topliji od svog okruženja, onda više zrače nego što apsorbiraju. To znači: hlade se. Izraz 'crno telo' je stručni, tehnički termin. To bi bilo neko telo koje bi savršeno upijalo - dakle, koje bi uspevalo da upije svih 100% zračenja koja do njega stignu. Takav predmet, kad je hladan, izgleda crn, zato što ne odbija od sebe ni zračak svetlosti (sve upija). Eksperimentatori vole da pominju to zamišljeno 'crno telo' zato što je ono etalon (standard za merenje, za poređenje) prema kome mogu da mere koliko zračenja ispuštaju iz sebe razna tela koja stvarno postoje.

Kad se neko telo (neko koje stvarno postoji) zagreva, zanimljivo je pratiti njegovo zračenje. Recimo da se zagreva komad uglja, ili konjska potkovica, ili žica u tosteru kad hoćeš da prepečeš krišku hleba. Gledaš koju boju svetlosti predmet ispušta - dakle, koju talasnu dužinu. Zagrevamo predmet polako, a naše oči prvo primete da on počinje da se žariti tamnocrvenom bojom, pa onda svetlijom crvenom; kad postane mnogo vreliji, žari se žutom bojom, zatim plavobelom, a kad se baš veoma užari (mnogo toplote!) onda blista belom svetlošću. Zašto baš belom?

Postepeno pomeranje boja duž spektra znak je da se, dok temperatura raste, vrhunski intenzitet svetla tako pomera, od infracrvenog preko crvenog i žutog pa sve do plavog. Ali dok se to dešava, širi se i ukupni raspon proizvedenih svetlosnih talasa svih boja. Dok vrhunac (najjača proizvodnja zračenja) stigne do plavog kraja spektra, već je u toku proizvodnja i svih drugih boja, koje se mešaju, što našem oku daje, sveukupno, utisak beline. Pa kažemo: belo usijanje. Danas astrofizičari proučavaju zračenje crnog tela preostalo iz najblistavije provale zračenja u istoriji kosmosa - Velikog praska.

Ali ovo je digresija. U poslednjih nekoliko godina devetnaestog veka, podaci o zračenju raznih stvarnih tela podvrgnutih usijavanju postajali su sve bolji i bolji. A šta je Maksvelova teorija govorila o tome da bi oni trebalo da budu? Eto katastrofe! Pokazalo se da je Maksvelova teorija govorila nešto što je naprosto pogrešno. Naime, ta Maksvelova, klasična teorija predviđala je jednu određenu krivu (jedan grafikon) raspodele intenziteta svetlosti među različitim bojama, ali pogrešnu krivu. Po klasičnoj teoriji, vrhunac intenziteta morao bi uvek da bude negde u najkraćim talasnim dužinama, nadomak ljubičastog kraja vidljivog spektra, ili čak u nevidljivom delu - ultraljubičastom. Ali ne dešava se tako. Otud kažemo 'ultraljubičasta katastrofa'. To je prvi zadimljeni pištolj.

U prvo vreme se verovalo da ovaj neuspeh u primeni Maksvelovih jednačina može biti rešen boljim razumevanjem načina na koji materija stvara i zrači elektromagnetnu energiju. Prvi fizičar koji je uvideo stvarni značaj ovog neuspeha bio je Albert Ajnštajn, godine 1905. Ali pozornicu za nastup ovog velikog majstora pripremio je, ipak, neko drugi.

Ulazi Maks Plank, teoretičar iz Berlina, star oko četrdeset godina, čovek iza koga je već duga karijera u fizici, stručnjak za teoriju toplote. Bio je oštrouman; ali bio je i pravi profa. Jednom prilikom zaboravio je u kojoj fakultetskoj sali je trebalo da održi predavanje; svratio je do kancelarija katedre za fiziku i pitao: "Izvin'te, u kojoj sali danas drži predavanje profesor Plank?" Odgovoriše mu strogim glasom: "Mladiću, nemoj ti tamo da ideš. Suviše si ti mlad da razumeš predavanja našeg učenog profesora Planka."

U svakom slučaju, Plank je imao na raspolaganju podatke dobijene eksperimentima. Veliki deo tih podataka prikupile su, zapravo, kolege u njegovoj berlinskoj laboratoriji, a on je rešio da ih rastumači. Nadao se nagađao o matematičkom izrazu koji bi se dobro uklopio sa ovim podacima. Nagađao i pogodio. Taj njegov izraz ne samo što je odgovarao raspodeli svetlosnih jačina pri bilo kojoj datoj temperaturi nego se i podudarao sa načinom na koji se ova kriva (raspodela talasnih dužina) menjala sa promenom temperature. Da bismo razumeli ono što se posle toga događalo, važno je naglasiti da data kriva omogućuje da izračunamo temperaturu tela koje zrači. Plank je

imao čime da se ponosi. "Danas sam postigao otkriće ravno Njutnovom", hvalio se on svome sinu.

Sledeći Plankov problem bio je kako da poveže svoj srećan, na znanju zasnovan pogodak sa nekim zakonom prirode. Crna tela emituju (govorili su podaci) vrlo malo zračenja na kratkim talasnim dužinama. Koji bi to 'zakon prirode' mogao suzbijati kratke talasne dužine, koje klasična Maksimalna teorija toliko voli? Nekoliko meseci posle objavljivanja svoje uspešne jednačine, Plank je naleteo na jednu mogućnost. Toplota je oblik energije, a to znači da je energetski sadržaj zračećeg tela ograničen temperaturom tog tela. Što je telo vrelije, više energije ima. U klasičnoj teoriji, ta energija trebalo bi da bude jednako raspoređena na razne talasne dužine. Alll-i! (Naježite se, do đavola, evo ovog trenutka ćemo otkriti kvantnu teoriju.) Pretpostavimo da količina energije zavisi od talasne dužine te energije. Pretpostavimo da kraće talasne dužine 'koštaju' više energije. Onda, ako pokušavamo da proizvodimo kratkotalasna zračenja, utrošimo suviše energije. Ona nam, dakle, ponestane, i nemamo je dovoljno za taj zadatak.

Plank je ustanovio da mora, ako želi da odbrani svoju formulu (koja je sada poznata kao Plankov zakon zračenja), usvojiti dve pretpostavke, izričito. To je i učinio. Rekao je, prvo, da zračena energija stoji u vezi sa talasnom dužinom svetlosti koja se zrači; i, drugo, da ova pojava neminovno jeste povezana, i to nerazdvojno povezana, sa takozvanim 'diskretnim' zračenjem (a to znači: u zasebnim, izdvojenim količinama, komadićima). Jedino tako je Plank mogao da spase svoju formulu, a da izbegne objavu rata zakonima toplote. Znači, zračenje izlazi iz toplog tela u 'paketićima', u zamotuljcima. Svaki takav zamotuljak je jedna 'količina', što se latinski kaže 'kvantum'. Eto! Rodilo se. Svaki kvantum (to jest, kvant) povezan je sa frekvencijom u kojoj dolazi; jednačina za ovo sasvim je jednostavna i glasi ovako:  $E = hf$ . Energija jednog kvanta  $E$  jednaka je frekvenciji  $f$  te svetlosti pomnoženoj jednom konstantom. Ova konstanta, kojom treba pomnožiti  $f$ , jeste, dakako, ovo  $h$ . Pošto je frekvencija obrnuto srazmerna talasnoj dužini, kraće talasne dužine (dakle, više frekvencije) koštaju više energije. Kolika god temperatura da je data, ipak je količina energije ograničena, nije beskrajna. Otud se proizvodi manje onih visokih frekvencija. Od ključnog je značaja da svetlost dolazi u paketićima. Frekvencija je brzina podeljena talasnom dužinom.

Ova konstanta koju je Plank uveo,  $h$ , bila je određena već prikupljenim podacima. Ali šta je  $h$ ? Plank ju je nazivao 'kvantum akcije', to jest 'količina delanja', ali istorija je odlučila da se  $h$  zove 'Plankova konstanta'. Tako je ostalo i ta će konstanta zauvek simbolisati ovu revolucionarnu novu fiziku. Plankova konstanta ima određenu vrednost, koja iznosi  $4,11 \times 10^{-15}$  eV sekundi. Pa, sad, ako vam to nešto znači. Nemojte se truditi da upamtite. Samo uočite da je to veoma malen broj, jer u sebi ima ovo 10-15, što znači nula zapeta nula nula... i tako redom, petnaest nula posle decimalne zapete i tek onda nešto.

Ovo - uvođenje zamisli da postoji kvant, to jest zamotuljak energije - jeste prekretna tačka, iako ni Plank ni njegove kolege nisu shvatali dubinu tog otkrića. Jedini je to shvatio Ajnštajn. Samo je on uvideo stvarni značaj Plankovih kvanta; a sva ostala naučna zajednica uspela je to da ukapira tek posle još dvadeset pet godina razjašnjavanja. A Maksa Planka je njegova sopstvena teorija bacila u zabrinutost. Nije želeo da vidi uništenje klasične fizike. "Moraćemo nekako živeti sa kvantnom teorijom", rekao je Maks Plank konačno, mireći se sa sudbinom. "A ona će se, verujte mi, širiti. Neće ona ostati samo u optici. Zahvatiće sva polja." Kako je bio u pravu!

Dodaćemo jedan završni komentar o ovome. Godine 1990. jedan satelit koji se naziva 'Istraživač kosmičkog pozadinskog zračenja' (COBE - Cosmic Background Explorer) poslao je na Zemlju, svojim oduševljenim gospodarima, astrofizičarima, podatke o spektralnoj raspodeli kosmičkog pozadinskog zračenja koje ispunjava svu Vaseljenu. Ovi podaci, koji se odlikuju ranije nedostignutom preciznošću, tačno su se uklopili u Plankovu formulu za crno telo. Pamtim da kriva koja prikazuje raspored intenziteta raznih talasnih dužina što ih zrači neko telo omogućuje da odredimo i temperaturu tog tela. Pomoću podataka sa COBE satelita i pomoću Plankove jednačine izračunali smo prosečnu temperaturu Vaseljene. Dakle, Vaseljena je jedno mnogo hladno mesto: samo je 2,73 stepena iznad apsolutne nule.

## **ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 2: FOTOELEKTRIČNI EFEKAT**

Preskačemo hitro na Alberta Ajnštajna, koji raducka polako kao čata u Patentnom zavodu države Švajcarske, u gradu Bernu. Godina je 1905. Dve godine pre toga, Ajnštajn je odbranio doktorsku tezu. Posle doktoriranja, proveo je jednu godinu razmišljajući sumorno o smislu i sistemu života. Ali godine 1905. krenulo mu je bolje. Uspeo je da reši tri krupna problema fizike, sva tri te iste godine: fotoelektrični efekat (o tome ćemo sad), teoriju Braunovog kretanja (izvol'te pa pogledajte to u nekoj drugoj knjizi!) i - oh, da - posebnu teoriju relativnosti. Ajnštajn je shvatio da ono što je Plank pogodio znači da se svetlost, elektromagnetna energija, emituje uvek u diskretnim (zasebnim, izdvojenim) grudvama energije. Svako hf je jedna takva grudva. Ne događa se ona klasična idila u kojoj emisija samo teče, glatko teče, i svaka talasna dužina se glatko i neprekinuto preliva u one pre i posle sebe.

Ovo uviđanje svakako je navelo Ajnštajna na pomisao da bi mogao da objasni jedno eksperimentalno opažanje Hajnriha Herca, koji je proizvodio radio-talase da bi potvrdio Maksvelovu teoriju. Herc ih je proizvodio tako što je nameštao da između dve metalne kugle iskaču iskre. Dok se bavio time, primetio je da varnice lakše iskaču ako su kugle nedavno izglaçane. Pomislio je da uglačanost olakšava električnom naboju skok ka susednoj kugli. Pošto je bio radoznao, utrošio je izvesno vreme proučavajući kako svetlost deluje na metalne površine. Primetio je da kad varnica zablista plavoljubičastom bojom, u blizini kugle se pojavi veća količina naelektrisanja, što onda pomaže i olakšava da zaprašte još mnoge iskre. Herc je ovako razmišljao: glačanjem se skidaju oksidi koji, valjda, ometaju delovanje svetlosti na površinu metala.

Pokazalo se da plavoljubičasta svetlost navodi elektrone da izleću iz metala u okolni prostor. U ono vreme činilo se da je to baš bizaran efekat. Drugi eksperimentatori su proučavali ovu pojavu i došli do sledećih neobičnih zaključaka:

1. Crvena svetlost ne uspeva da oslobodi elektrone, pa čak ni kad je izuzetno jaka.
2. Ljubičasta svetlost, čak i kad je srazmerno slaba, uspeva, vrlo lako, da oslobodi elektrone.
3. Što je kraća talasna dužina (što je svetlost ljubičastija), viša je energija oslobođenih elektrona.

Ajnštajn je shvatio da Plankova zamisao da se svetlost javlja u zamotuljcima može biti ključ za shvatanje ove fotoelektrične tajne. Zamislite jedan elektron kako, u metalu neke Hercove silno uglačane kugle, gleda svoja posla. Koja vrsta svetlosti može dodati ovom elektronu toliko energije da on iskoči iz površine metala? Ajnštajn je, koristeći Plankovu jednačinu, zaključio da kad je talasna dužina svetlosti dovoljno kratka, elektron primi dovoljno energije da se 'otrgne' iz metala i poleti kroz vazduh. Elektron tu ima samo dve mogućnosti, razmišljao je Ajnštajn: ili da proguta ceo zamotuljak energije, ili ništa. E, sad, ako je talasna dužina progutanog zamotuljka prevelika (a količina energije, dakle, premala), elektron neće moći da pobegne; neće imati dovoljno energije. Uzalud ćeš ti zasipati metal pravom poplavom nemoćnih, impotentnih (dugotalasnih) paketića svetlosne energije. Ništa to ne pomaže. Bitno je, rekao je Ajnštajn, koliko energije ima u svakom zamotuljku ponaosob, a ne koliko tih zamotuljaka imaš.

Ova Ajnštajnova zamisao dejstvuje do savršenstva dobro. Kod fotoelektričnog efekta bivaju apsorbovani svetlosni kvanti - dakle, fotoni (to su ti zamotuljci, to jest paketići). (Plankova teorija je objasnila kako se emituju. Sad vidimo kako se apsorbuju.) I kod emitovanja i kod apsorbovanja neophodni su kvanti, a njihova energija E jednaka je h puta f. Zamisao o kvantima sve šire je prihvatana u nauci. Ali postojanje fotona ubedljivo je dokazano tek 1923. godine, kad je američki fizičar Artur Kompton (Arthur Compton) pokazao da foton može da se sudari sa elektronom; da to ide otprilike kao sudar dve bilijske kugle; da posle tog sudara foton odleti drugim pravcem i ima drugu energiju i drugi impuls i, uopšte, ponaša se u svakom pogledu kao čestica - ali sasvim izuzetna čestica, koja je na neki način povezana sa frekvencijom treperenja (vibriranja), što znači, dabome, i sa talasnom dužinom.

Tu se jedan duh digao iz groba. Priroda svetlosti bila je bojište vrlo staro. Setite se, Njutn i Galilej smatrali su da se svetlost sastoji od 'korpuskula' - dakle, 'telašaca'. Međutim, danski astronom Kristijan Hajgens zalagao se za talasnu teoriju. Ovu istorijsku bitku Njutnovih telašaca i Hajgensovih talasa smirio je Tomas Jang (Thomas Young) tako što je pobjedu dodelio talasima (razmotrićemo uskoro Jangov opit sa dva proreza) početkom devetnaestog veka. Ali nailaskom kvantne teorije vaskrsnula je čestica svetlosti, sada nazvana foton, a nedoumica 'talas ili čestica' opet se postavila pred nauku. Ubrzo je rešena na prilično iznenađujući način.

Ali još crnje i gore nevolje čekale su klasičnu fiziku zbog Ernesta Raderforda koji je otkrio atomsko jezgro.

### **ZADIMLJENI PIŠTOLJ BROJ 3: KO ĆE PUDING OD ŠLJIVA?**

Ernest Raderford bio je jedan od onih likova koji su maltene suviše dobri da bi bili istiniti, kao da je neka filmska kompanija poslala glumca idealnog za ulogu naučnika. Krupan, robustan Novozelanzanin, imao je brkove kao morski konj i bio je prvi strani istraživač ikada pušten da radi u slavnoj laboratoriji Kevendiš, kojom je u ono doba upravljao Dž. Dž. Tomson. Raderford je došao tačno na vreme da prisustvuje otkriću elektrona. Veoma veštih ruku (za razliku od gazde u toj laboratoriji, profesora Tomsona), bio je vrhunski sposoban eksperimentator, dostojan takmac Faradejevoj slavi u tom pogledu. Pročuo se po svome uverenju da kad psuješ jedan opit, on proradi bolje; ovo uverenje podržano je Raderfordovim opitnim uspesima, ako već ne i teorijom. Kad vrednujemo Raderforda, moramo paziti da uzmemo u obzir i njegove studente i postdiplomce, koji su pod njegovim ljutitim pogledom uspešno obavljali velike opite. Imao je on znatan broj njih; jedan je bio Čarls D. Elis (Charles D. Ellis) koji je otkrio beta raspad. Drugi je bio Džejms Čedvik (James Chadwick), tip koji je otkrio neutron. Treći, Hans Gajger (Hans Geiger) koji - znate već. Brojač. A bilo je i drugih. Nemojte zamišljati da je lako držati pod svojim nadzorom pedeset postdiplomaca. Kao prvo, moraš pročitati stručne radove koje oni donose. Čujte kojim rečima je jedan od mojih najboljih studenata započeo svoju doktorsku tezu: "Ovo polje fizike je toliko devičansko da nijedna ljudska očna jabučica još nijednom nije nogom kročila po njemu." Bolje da se vratimo Ernestu.

Raderford je slabo uspevao da prikrije svoj prezir prema teoretičarima, mada, kao što ćemo videti, i sam nije bio loš teoretičar. Nego, mnogo je dobra stvar što novinari pre devedeset godina nisu tako vešto prodirali u naša posla kao što to čine danas. Raderford je tako umeo da 'odvali', da bi sam sebi upropastio nebrojene budžetske dotacije, pune kamione para, da je kojim slučajem u štampi navedeno šta je rekao. Evo nekoliko Raderfordovih bisera koji su procurili kroz decenije i stigli do nas:

"Nemoj neko na mojoj katedri da bi pomenuo Vaseljenu."

"A, to /relativnost/. Mi ovde ne obraćamo nikakvu pažnju na to kad radimo."

"Sva nauka je ili fizika ili filatelija."

"Čitam nešto one moje radove iz mladosti i kažem sebi: Raderforde, momče, al' si bio pametan nekad."

Taj što je bio veoma pametan nekad radio je jedno vreme sa Tomsonom, onda prešao Atlantik i radio na Univerzitetu Mek Gil u Montrealu, u Kanadi, pa se vratio u Englesku i zauzeo katedru na Mančesterskom univerzitetu. Godine 1908. dobio je Nobelovu nagradu za svoj rad u oblasti radioaktivnosti. To bi većini ljudi bio divan vrhunac karijere, ali ne Raderfordu. Taj ford je tek tad počeo da radi.

Ali ne vredi pričati o Raderfordu, a da ne objasniš neke stvari o laboratoriji Kevendiš, koja je osnovana 1874. godine kao istraživačka laboratorija Kembridžskog univerziteta. Prvi direktor bio je Maksvel (teoretičar da komanduje u laboratoriji?). Drugi je bio lord Rejli, a treći Tomson počev od godine 1884. Raderford je došao iz svoje rodne zabiti kao student-istraživač godine 1895, a to je bilo fantastično vreme za velika, nagla otkrića. Jedan od glavnih sastojaka za profesionalni uspeh u nauci jeste čista sreća. Ako nisi taličan, nema izgleda na uspeh. Raderford je bio srećan. Rad na radioaktivnosti, pojavi

tada novootkrivenoj (govorilo se da su to Bekereleovi zraci), izoštrio ga je i pripremio za njegovo najvažnije otkriće, otkriće atomskog jezgra 1911. godine. Atomsko jezgro otkrio je na Mančesterskom univerzitetu, onda se trijumfalno vratio na Kevendiš i tu nasledio Tomsona - naime, postao direktor umesto njega.

Pamtite da je Tomson gadno zapetljao istraživanje materije time što je otkrio elektron. Mislilo se da je hemijski atom ona nedeljiva čestica koju je predložio još Demokrit, a sad se pokazalo da neki mali momci besomučno trče ukруг u unutrašnjosti svakog atoma. Elektroni. Dobro, ako svaki elektron ima po jedno negativno naelektrisanje, tu vidimo jedan problemčić. Materija je neutralna, nije ni pozitivna ni negativna. Onda, šta izravňuje, to jest poništava tu negativnost koju elektroni imaju?

Ova dramatična pripovest počela je vrlo prozaično. Ulazi gazda u laboratoriju. Tu sedi jedan postdiplomac, Hans Gajger, i jedan student koji je, eto tako, gubio vreme i lunjao po prostorijama, Ernest Marsden. Oni obavljaju opit sa rasipanjem alfa-čestica. Izvor radioaktivnosti - na primer, radon 222 - prirodno i spontano emituje alfa-čestice. Alfa-čestice, kako se pokazalo, nisu, zapravo, ništa drugo nego helijumovi atomi lišeni svojih elektrona; a to znači, jezgra helijuma, kao što je Raderford uvideo godine 1908. Radon, koji nam služi kao izvor alfa-čestica, stavimo u jedan olovni sanduk sa rupom, i to uzanom rupom, na jednoj strani. Alfa-čestice prolaze kroz tu rupu, a mi nanišanim tako da pogađaju u jednu izuzetno tanku zlatnu foliju. Alfe proleću kroz foliju, ali se mnoge usput sudaraju sa atomima zlata, što ih skreće s puta. E, ustanoviti pod kojim ih uglom skreće s puta, to je bio cilj proučavanja. Raderford je bio namestio taj jedan opit koji je postao istorijski prototip za sve kasnije opite sa rasipanjem čestica. Ispucavaš čestice u metu i gledaš kuda će koja da odskoči. U ovom slučaju svaka alfa-čestica bila je kao jedna mala sonda, a svrha sondiranja bila je da se možda dozna kakva je struktura atoma. Meta, napravljena od supertankog listića zlata, okružena je sa svih strana - 360 stepeni - zastorima od cink-sulfida. Kad alfa-čestica tresne u molekul cink-sulfida, taj molekul ispusti iz sebe jedan blesak svetlosti. Ovo omogućí istraživačima da izmere ugao pod kojim se alfa odbila od zlata. Da ponovimo: alfa se zaleti u foliju od zlata, čvakne neki atom zlata, zbog toga skrene, i skrka se u ekran od cink-sulfida. Sevne! Većina alfa-čestica skrene sa svoje putanje samo malo, tako da se bleskovi dešavaju uglavnom pravo ispred zlatne folije. Bio je ovo mukotrpan opit. Nisu imali nikakav brojač čestica zato što ga Gajger još nije izumeo. Zato su i Gajger i Marsden bili prisiljeni da sede u mračnoj komori satima, pa kad im se oči priviknu na mrak, da počnu opit. Trebalo je svojim sopstvenim očima da opaze svaki takav mali odsjaj i da u jedan katalog upišu gde je i koliko bleskova bilo.

Raderford, dakle, nailazi - on nije morao da sedi ni u kakvoj mračnoj komori, jer on je tu bio gazda - i kaže toj dvojici: "E, aj' vidite da l' se ne odbije nešto i nazad od zlata." Drugim rečima, da li se događa da neka alfa-čestica udari u zlatnu foliju i pojuri natrag prema svome izvoru. Marsden je kasnije pričao o tom događaju: "Baš me je iznenadilo kad sam primetio upravo taj efekat... Rekao sam to Raderfordu kasnije, kad sam ga sreo na stepeništu koje je vodilo ka njegovom kabinetu."

Podaci koje su Gajger i Marsden objavili obaveštavaju nas da je po jedna od svakih 8.000 alfa-čestica poletala tačno nazad. Sad su slavne reči kojima je Raderford opisao svoju reakciju u prvom trenutku, kad mu je vest saopštena: "Bio je to svakako najneverovatniji događaj u celom mom životu. Bilo je to kao da ispališ artiljerijsku granatu od 380 milimetara na listić toalet-papira, a granata se odbije i doleti nazad do tebe i tresne te."

Bio je maj 1909. godine. Početkom 1911. Raderford, sada nastupajući kao teorijski fizičar, uspeva da reši ovaj problem. Dočekuje svoje studente širokim osmehom. "Znam kako izgleda atom i razumem to snažno rasipanje unazad." Maja iste godine, njegov članak kojim se proglašava da postoji 'nuklearni atom' izlazi iz štampe. To je kraj jedne epohe. Sad se vidi istina o hemijskom atomu. Sad se zna da je složen, a ne jednostavan; da se može seći; da nimalo ne liči na a-tom. Počela je nova era, era nuklearne fizike, a klasična fizika je potučena, bar u unutrašnjosti atoma.

Raderfordu je trebalo više od osamnaest meseci da se razabere u ovom problemu, koji sada rešavaju naši studenti fizike, i to na prvoj godini, kao bruceši. Zašto je potpuna refleksija alfa-čestica toliko zbunila Raderforda? Moralo je ovo biti u nekoj vezi sa

načinom na koji su naučnici tog doba videli atom. Jedna masivna, pozitivno naelektrisana alfa-čestica zaleti se u atom zlata i - odbije se od njega? Opšta saglasnost u godini 1909. bila je da bi alfa-čestica morala da projuri silovito i bez zaustavljanja, kao artiljerijska granata kroz WC papir, ako ćemo upotrebiti Raderfordovo poređenje.

Taj WC model atoma potiče još od Njutna, koji je rekao da se sile u atomu moraju međusobno poništavati da bi on imao mehaničku stabilnost. Prema tome, električne sile privlačenja i odbijanja moraju nekako da se uravnoteže ako hoćemo stabilan atom u koji bismo mogli imati poverenja. Teoretičari u toj epohi na kraju jednog i početku drugog veka prošli su kroz razdoblje zaista mahnitog pravljenja i rasturanja svakojakih modela, ne bi li rasporedili elektrone tako da se dobije stabilan atom. Znalo se da atomi imaju mnoštvo elektrona koji nose svoje negativne naboje. Znači, negde unutra mora biti jednak broj pozitivnih naboja, raspoređenih nekako. Pošto su elektroni vrlo laki, a atom težak, onda mora biti ili da se atom sastoji od mnogo hiljada elektrona (da bi se dobila ta težina) ili da težina počiva u pozitivnim nabojima. Među mnogo predloženih modela, izdvojio se kao vodeći onaj koji je nastao trudom nikog drugog do samog Dž. Dž. Tomsona, Mister Elektrona. Taj model nazvan je 'puding od šljiva' zato što su u Engleskoj imali običaj da u velikom posudu punu pudinga umešaju i pokoju šljivu, a u Tomsonovom modelu je pozitivni naboj bio 'razmućen' po celom atomu, nalik na loptu nekakvog pudinga, dok su elektroni bili tu i tamo usađeni u unutrašnjost kao šljive u puding. Činilo se da bi takav aranžman mogao da ima mehaničku postojanost, pa čak i da dopusti elektronima da vibriraju oko svojih ravnotežnih položaja. Ali priroda pozitivnog naboja ostajala je sasvim tajanstvena.

Raderford je, međutim, smatrao da samo jedna konfiguracija može da se ispreči alfa-čestici na put i da je drmne takvom snagom da ona odleti pravo nazad otkuda je i došla: a to je konfiguracija u kojoj bi sva masa i sav pozitivni naboj bili usredsređeni u vrlo malu zapreminu, u središtu jedne srazmerno ogromne (velike kao ceo taj atom) kugle. Jezgro! Elektroni bi bili razmešteni svud po kugli. Vreme je prolazilo, stizali su sve izoštreniji podaci, pa je Raderford prečistio svoju teoriju. Središnji deo, nabijen pozitivnim naelektrisanjem, ima zapreminu koja je otprilike jedan bilioniti deo ukupne zapremine atoma (hiljaditi deo milijarditog dela). Po Raderfordovom modelu, materija se sastoji uglavnom od praznog prostora. Kad ti lupaš pesnicom po stolu, čini ti se da je sto stamen, ali to je samo zbog međugre električnih sila (i kvantnih pravila) među atomima i molekulima; samo privid čvrstine. Atom je uglavnom praznina. Aristotel bi se užasnio.

Raderfordovo iznenađenje što se alfa-čestice onako odbijaju možemo bolje shvatiti ako se manemo tog njegovog poređenja sa topovskim projektilom i razmislimo o kugli za kuglanje koja grmi niz svoju stazu prema poređanim čunjevima. Zamislite kako bi se šokirala kuglašica (ili kuglaš) kad bi se kugla odbila od čunjeva i pojurila pravo nazad istom stazom, preteći da liši kuglašicu njenoga života! Može li se to dogoditi? Pa, pretpostavimo da se negde oko sredine trougaono raspoređene grupe uspravnih čunjeva nalazi i jedan posebni čunj, 'debeljko', izliven od iridijuma, najgušćeg nama poznatog metala. Bez ikakvih šupljina. Taj čunj je teeežak! Pedeset puta je teži od kugle. Niz fotografija snimljenih superbrzom kamerom i posle puštenih usporeno pokazaće nam kako kugla naleće na debeljka, koji se malo uzdrma i udubi sa te strane, ali brzo ispravlja nastalo izobličenje i time odbacuje kuglu energično od sebe; kugla dobija brzinu u suprotnom smeru (isti pravac) i srlja natrag prema sportistkinji (sportisti). Ovako se dešava pri svakom elastičnom sudaru - recimo, između bilijarske kugle i ograde bilijarskog stola. Raderfordova kudikamo slikovitija metafora sa toaletnim papirom proistekla je iz njegove ranije zablude, u kojoj su bili i gotovo svi fizičari onog vremena, da je atom kugla vrlo razređenog pudinga koji popunjava sav raspoloživi, dakle veoma veliki, prostor. Veoma veliki, to znači, kod atoma zlata, kuglu poluprečnika 10<sup>-9</sup> metara.

Da bismo stekli utisak kako izgleda Raderfordov atom, zamislimo da je jezgro veliko kao zrno graška. To vam je prečnik od nekih pet-šest milimetara. U tom slučaju poluprečnik atoma je oko sto metara; atom je, dakle, lopta prečnika 200 metara, u koju možemo da uguramo šest ragbi igrališta ako ih malo stisnemo i rasporedimo otprilike u kvadrat. I ovde je Raderford imao mnogo sreće. Pukim slučajem se desilo da njegov radioaktivni izvor proizvodi alfe čija je energija bila oko pet miliona elektron-volti (mi to pišemo 5 MeV) - idealno za otkrivanje jezgra. Pri tako niskoj energiji, alfa-čestica ne

uspe da se probije do samog jezgra, nego biva odbijena već samim dejstvom njegovog električnog polja, koje je pozitivno i snažno. Okolni oblak elektrona, međutim, imao je masu tako malenu, da nije mogao ozbiljnije zasmetati prolaznju alfe. Da je alfa-čestica imala mnogo veću energiju, zarila bi se u jezgro, osetila bi jaku nuklearnu silu (o tome ćemo učiti kasnije), pa bi se obrazac rasipanja alfa-čestica veoma zapetljao. (Naravno, ogromna većina alfi prohujaju kroz atom tako daleko od jezgra, da njihova skretanja sa pravolinijske putanje budu malena.) Dogodilo se, sticajem svih ovih okolnosti, da je obrazac rasipanja alfa-čestica, zabeležen trudom Gajgera i Marsdena, a kasnije i trudom čitave gomile njihovih takmaca na raznim mestima na evropskom kontinentu, bio matematički ravan onome što bi se moglo očekivati i ako bi jezgro bilo tačka. Mi sada znamo da jezgro nije tačka, ali ako se alfa-čestica ne zarije suviše duboko prema jezgru, aritmetika iziđe na isto.

Bošković bi bio zadovoljan; opit u Mančesteru podržao je njegove vizije. Ishod sudara zavisi od polja sila koja postoje oko nekih stvari koje su 'tačke'. Raderfordov opit je imao i neke druge implikacije, dalje od otkrića jezgra. Uspostavio je pravilo da vrlo snažna skretanja čestice znače da je čestica naletela na malu, 'tačkastu' koncentraciju; a to je jedna od ključnih zamisli kojima će se istraživači rukovoditi kasnije, kad budu jurili kvarkove, koji zaista jesu tačke. U procesu postepenog uviđanja kakva je zaista struktura atoma, Raderfordov model bio je nesumnjivo orijentir od ogromnog značaja.

Raderfordov atom bio je zaista kao neki minijaturni Sunčev sistem. U središtu je pozitivno naelektrisano, zbijeno jezgro, a oko njega leti izvestan broj elektrona po raznim orbitama, tako da se ukupno pozitivno i ukupno negativno naelektrisanje međusobno tačno potiru. Maksvela i Njutna odmah pozvaše u pomoć. Orbitirajući elektron je kao kakva mala planeta, poslušno izvršavao Njutnovu komandu  $F = ma$ . Sad je, doduše, sila  $F$  bila električna sila između naelektrisanih čestica, po Kulonovom zakonu. Pošto je i ovo sila koja opada obrnuto srazmerno kvadratu udaljenosti, kao i gravitacija, čovek može pretpostaviti, na prvi pogled, da će nastati orbite slične planetnim. I, eto, gotov posao, dobili ste uredan sunčev sistemčić, to vam je model hemijskog atoma. Sve lepo i fino.

Pa, dobro, bilo je lepo i fino dok nije u Mančester došao jedan mladi danski fizičar sklon pretežno teoriji. "Zofem se Bohr, Nils Henrik Daavid Bohr, profesore Radherford. Ja sam mlat teoretski phisicist i došaho sam ta vam pomognem." Možemo samo zamisliti kako je na ovo reagovao grubi Novozelandčanin sklon prostačkom izražavanju.

## **BITKA**

Revolucija koja je nama poznata kao kvantna fizika nije iskočila gotova i cela iz nekog teoretičarskog čela. Ona je izvođena deo po deo, na osnovu podataka koji su stizali iz hemijskih atoma. Ako pratimo kako se odvijala ta borba, razumećemo da je tadašnji atom bio samo vežba za pravu, kasniju bitku, a to je razumevanje subatomske čestice, subnuklearne džungle.

Možda je baš dobro što se stvarni svet otvara pred nama tako sporo, malo-pomalo. Šta bi pomislili Galilej, ili čak Njutn, kad bi neko stavio pred njih celu masu znanja iz Fermilaba? Jednom mom kolegi na Kolumbiji, profesoru vrlo mladom, blistavo inteligentnom, odličnom govorniku, prepunom poleta, dali su, jednom prilikom, jedinstven nastavni zadatak. Trebalo je da uzme nekih četrdeset brucoša koji su se opredelili za fiziku i da sa njima dve godine radi izuzetno ubrzano. Jedan profesor, četrdesetoro mladih koji žele da postanu fizičari, rok dve godine. Opit se završio porazno loše. Gotovo svi ti studenti su napustili fiziku i prešli na razne druge oblasti. Razlog je naveo, kasnije, jedan od njih, kad je diplomirao kao matematičar: "Profesor Mel bio je super, bio je to najbolji nastavnik koga sam ikad imao. Za te dve godine ne samo da smo projurili kroz ono uobičajeno - njutnovsku mehaniku, optiku, elektricitet i tako dalje - nego je on za nas otvorio prozor i prema svetlu moderne fizike i omogućio nam da bacimo pogled na probleme kojima se bavio u svom istraživačkom radu tada. Smatrao sam da ja nikako i nikad ne bih mogao da ovladam tako teškim problemima, pa sam prešao na matematiku."



Ovo nas vodi ka jednom dubljem pitanju, a to je da li će ljudski mozak ikada biti sposoban da prihvati tajne kvantne fizike, tajne koje uznemiravaju čak i neke od najboljih fizičara u devedesetim godinama dvadesetog veka. Teoretičar Hans Pejdzels (Hans Pagels), koji je poginuo pre nekoliko godina u tragičnom događaju prilikom planinarenja, izložio je zamisao, u svojoj izvršnoj knjizi Kosmički kod, da ljudski mozak možda nije dostigao u svojoj evoluciji onaj stepen razvoja koji bi bio potreban da razumemo kvantnu stvarnost. Možda je Pejdzels bio u pravu, mada izgleda da ima nekoliko kolega, danas, koji smatraju da su sa evolucijom odmakli mnogo dalje nego mi ostali.

Ono što se nadasve mora znati o kvantnoj teoriji, koja je danas veoma istančana i koja čvrsto vlada fizikom, jeste sledeće: kvantna teorija uspešno radi. Ona pokazuje taj svoj uspešan rad u atomu. U molekulu, takođe. Ona deluje u složenim čvrstim telima, u metalima i izolatorima, u poluprovodnicima i superprovodnicima, ona naprosto sjajno deluje gde god smo je primenili. Veliki deo ukupnog nacionalnog proizvoda u privredama vodećih zemalja zasniva se na industrijskim procesima u kojima se svaki dan ponovo i ponovo dokazuje da je kvantna teorija tačna. Nama je još i važnije to što nemamo nikakvu drugu alatku osim kvantne teorije za prodiranje dole, dublje u jezgro, u sastojke jezgara, dole, još dole, u ogromnu sitnost praiskonske materije - gde ćemo se naći konačno oči u oči sa a-tomom i sa Božijom česticom. Ali upravo tu mogu biti od presudnog značaja izvesne teškoće u obrascu kvantne fizike, iako ih većina aktivnih fizičara odbacuju kao 'filozofiranje'.

## **BOR NA KRILIMA LEPTIRA**

Raderfordovo otkriće, do koga je došao posle nekoliko eksperimentalnih rezultata koji su bili u suprotnosti sa klasičnom fizikom, bilo je poslednji ekser zakucan u mrtvački sanduk pomenute klasike. U stalnom takmičenju i nadmudrivanju koje postoji između teorije i prakse u fizici, to je bio trenutak pogodan da se kaže: "Koliko još dokaza, ovako jasnih, treba mi, eksperimentatori, da donesemo, da bi vama, teoretičarima, svanulo da morate nešto da menjate?" Ali Raderford, izgleda, nije ni shvatao do koje mere će njegov novi atom da 'razbuca' klasičnu fiziku.

A onda je ušetao taj Nils Bor, koji će za ovog Tihoa Brahea biti Johan Kepler, za ovog Faradeja - Maksvel. Bor je u Engleskoj prvo dobio položaj na Kembridžu, gde je radio za velikog Dž. Dž.; ali je taj dvadesetpetogodišnjak neprestano nervirao starog majstora tako što je u njegovoj knjizi pronalazio greške. Bor je, inače, bio stipendista, verovali ili ne, firme koja proizvodi pivo 'Karlsberg'. I dok je provodio vreme u Kembridžu i studirao u laboratoriji Kevendiš, Bor je, u jesen 1911, čuo Raderfordovo predavanje o novom modelu atoma. Borova doktorska teza, odbranjena pre tih događaja, odnosila se na 'slobodne' elektrone u metalima; zato je Bor dobro znao da je klasična fizika u veoma lošem 'zdravstvenom stanju'. Boru je, dakako, bio poznat i Plankov rad, kao i Ajnštajnovu kudikamo dramatičnije skretanje sa staze klasične, pravoverne fizike. Spektralne linije koje hemijski elementi emituju kad su užareni bile su još jedan nagoveštaj o kvantnoj prirodi atoma. Bor je bio toliko zadivljen Raderfordovim predavanjem i Raderfordovim atomom, da je sredio da mu bude omogućeno da otputuje u Mančester i tamo ostane četiri meseca u poseti, godine 1912.

Nils Bor je video stvarni značaj novog modela. Uvideo je da bi elektroni na kružnim orbitama oko središnjeg jezgra morali, da bi zadovoljili Maksvelove jednačine, stalno da zrače energiju, isto kao elektron koji jurca gore-dole, gore-dole kroz antenu. Ali onda, da bi bili zadovoljni zakoni o očuvanju energije, svaka takva orbita morala bi se sužavati, postala bi spirala, elektron bi silazio sve bliže i bliže jezgru, i dok trepneš okom - strmoglavio bi se na jezgro. Kad bi svi teorijski uslovi bili ispunjeni, materija bi bila nepostojana. Dakle - model je potpuno propao! A ipak, nije postojala nikakva druga mogućnost.

Bor nije imao nikakve stvarne alternative osim da proba nešto veoma novo. Najjednostavniji od svih atoma je vodonikov. Zato je Bor navalio da podrobno prouči sve postojeće podatke - na primer: kako alfa-čestice usporavaju u gasovitom vodoniku.

Zaključio je da vodonikov atom ima jedan elektron na raderfordovskoj orbiti oko pozitivno naelektrisanog jezgra. Dok se dvoumio da li da raskine sa klasičnom teorijom, Bor je dobio podstrek od još nekih neobičnosti. Opazio je da ništa u klasičnoj fizici ne određuje poluprečnik elektronove orbite u vodonikovom atomu. Sunčev sistem je, vidite, dobar primer koliko raznovrsne mogu biti orbite planeta. Držeći se Njutnovih zakona, možemo zamisliti koju god hoćemo orbitu za bilo koju planetu; samo treba u prvom trenutku gurnuti planetu valjano i ona će od tada biti na toj orbiti. A ako bi orbita neke planete bila baš tačno kružna, važilo bi sledeće pravilo: čim bi poluprečnik te kružne orbite bio uspostavljen, orbitalna brzina te planete i trajanje jednog punog kruženja (jedne godine) bili bi jasno određeni. Međutim, činilo se da su svi vodonikovi atomi baš isti. Nije se mogla primetiti raznovrsnost orbita, koju bismo u planetnom modelu očekivali. Bor je zato istupio sa pretpostavkom, razumnom, ali potpuno suprotnom klasičnoj fizici, da su u atomima dozvoljene samo i jedino neke (a ne sve) orbite.

Bor je takođe izložio gledište po kome elektron, dok juri nekom od tih posebnih, jedino dopuštenih orbita, ne zrači ništa. Ovo je, ako imamo u vidu istorijski kontekst u kome se Bor nalazio, bila hipoteza nepojamno, vrtoglavo hrabra. Maksvel se počeo tumbati u svome grobu, ali Bor je išao dalje, naprosto je pokušavao da dovede činjenice u neki razuman međuodnos. Važne su bile one spektralne linije čije je blistanje iz atoma otkrio, nekoliko decenija ranije, Kirhof. Užareni vodonik, kao i svaki drugi hemijski element, emituje niz spektralnih linija koji je njegov prepoznatljiv 'potpis'. Nastojeći da nekako dobije te spektralne linije, Bor je uvideo da mora dopustiti elektronu da ima dve ili više mogućnosti za orbitiranje; drugim rečima, da može, u skladu sa energijom kojom raspolaže, da se popne na ovu, ili onu, ili neku treću orbitu. Zato je dao vodonikovom usamljenom elektronu jedan skup dopuštenih poluprečnika kruženja oko jezgra. Svaki sledeći poluprečnik bio je veći od dotadašnjih jer je predstavljao stanje više energije. Da bi objasnio spektralne linije, Nils Bor je postulirao (bez ikakvih dokaza, jednostavno 'pričajući napamet') da se zračenje dešava kad elektron preskače sa nekog višeg energetskog nivoa na neki niži, to jest na nižu orbitu; ono što biva izračeno, to je jedan foton, a energija tog fotona jednaka je razlici energije koju elektron ima kad je na višoj i kad je na nižoj orbiti. Onda je Bor predložio zaista šokantno, 'nezamislivo' pravilo za te posebne, dopuštene poluprečnike obletanja elektrona oko jezgra. Dozvoljene su isključivo one orbite, rekao je on, u kojima ugaoni momenat, a to je stara, dobro znana količina, mera za zamah nečega što se vrti oko svoje ose, može kod elektrona koji orbitira oko jezgra biti samo i jedino ceo broj ako se meri jednom novom, kvantnom jedinicom mere. A ta Borova kvantna jedinica mere bila je... ništa drugo do Plankova konstanta,  $h$ . Kasnije je Bor objašnjavao da je "visila u vazduhu potreba da se pokušaju nekako iskoristiti već postojeće kvantne zamisli".

Da pogledamo šta to radi Nils Bor u svojoj sobici u potkrovlju, u pozno doba noći, u gradu Mančesteru, sa gomilom praznih listova hartije, olovkom, nožićem za oštrenje olovke, sa takozvanim šiberom (za izračunavanje) i sa nekoliko referentnih knjiga pri ruci? Šta to čini, šta dela? To on traga za zakonima prirode, zakonima koji će biti u skladu sa činjenicama koje su već navedene u tim referentnim knjigama. Odakle njemu pravo da propisuje pravila ponašanja nevidljivim elektronima koji lete ukrug oko (takođe nevidljivih) jezgara vodonikovih atoma? Kad dobro razmislimo, zaključujemo da je to što on radi legitimno u onoj meri (i ne više) u kojoj uspe da objasni podatke. Krenuo je od najjednostavnijeg atoma, vodonikovog. Jasno je njemu da će na kraju morati da bude pronađeno i neko duboko načelo iz koga proističu ta pravila, ali on gleda da prvo odredi sama pravila. Tako rade teoretičari. Bor je u Mančesteru pokušavao, reći ćemo to Ajnštajnovim rečima, da dokuči um Boga.

Bor se ubrzo vratio u Kopenhagen da bi pustio da te ključne zamisli u njegovoj glavi malo odstoje, sazru. Onda je dao u štampu tri svoja stručna rada, u aprilu, junu i avgustu 1913. godine. Bila je to njegova velika trilogija. U njima je predstavio javnosti svoju kvantnu teoriju vodonikovog atoma - mešavinu klasičnih zakona i sasvim proizvoljnih nabacivanja pretpostavki 'onako', bez osnova. Ali ta mešavina očigledno je naciljana da stigne do tačnih odgovora. On je tako izveo svoj atomski model, da je postigao objašnjenje za spektralne linije, one već poznate. Tablice ovih spektralnih linija

- dakle, nizovi brojeva - mukotrпно su prikupili sledbenici Kirhofa i Bunzena; onda su one proverene u Strazburu, kao i u Getingenu, pa ponovo u Londonu, i najzad u Milanu. Kako izgledaju ti brojevi? Evo nekoliko njih, za vodonik:  $I_1 = 4100,4$ ,  $I_2 = 4339,0$ ,  $I_3 = 4858,5$ ,  $I_4 = 6560,6$ . (Izvinite, ali pitali ste. Ne brinite. Nema potrebe da bilo šta od toga pamтите.) Kako nastaju ove vibracije u spektru? I zašto samo te, uvek iste, bez obzira na to do koje je temperature vodonik užaren? Začudo, Bor je kasnije govorio da spektralne linije nisu bile mnogo važne: "Čovek mislio je, da su spektri čudesni. Ali nema progres tu da se napravi, ne. Kao krilo od leptira da si imao, onda je ono regularno veoma sa onim bojama i tako dalje. Ali niko nije mislio da progres u biologiji može da se napravi od boje na krilu leptira, ne." A ipak se pokazalo da su spektralne linije vodonika, jedno takvo 'leptirovo krilo', dale presudne nagoveštaje.

Borova teorija bila je izrađena i podešena tako da, kao svoj ishod, dâ one brojeve koji su već bili u tim knjigama. Ključni činilac u njegovim analizama bila je energija, termin u Njutnovu doba tačno određen, ali koji se kasnije razvijao i širio. Obrazovan čovek treba da zna šta je energija. Hajde da izdvojimo, od ukupnog našeg truda, bar dva minuta za energiju.

## **DVA MINUTA ZA ENERGIJU**

U srednjoj školi, na času fizike, kaže se da predmet koji ima izvesnu masu i kreće se izvesnom brzinom poseduje kinetičku energiju (energiju svoga kretanja). Predmeti takođe imaju energiju zahvaljujući tome što se nalaze na nekom mestu. Čelična kugla na krovu oblakodera Sira ima potencijalnu energiju zato što se neko dobro pomučio da je iznese čak tamo. Ako je bacimo sa tog krova, ona će, dok pada, pretvarati svoju potencijalnu energiju u kinetičku.

Jedino zbog čega je energija zanimljiva jeste to što ona biva sačuvana. Dočarajte sebi sliku jednog složenog sistema koji se sastoji od milijardi atoma gasa: svi se oni brzo kreću, sudaraju se sa zidovima posude i jedan sa drugim. Neki od njih, u tom sudaranju, dobiju, a neki gube energiju. Ali zbir, ukupna njihova energija, ostaje isti, nepromenljiv. Tek u osamnaestom veku naučnici su otkrili da je toplota jedan oblik energije. Kažemo da je to toplotna (ili: termička) energija. I hemikalije umeju da oslobode energiju, putem reakcija kao što je sagorevanje uglja. Energija može da se pretače iz jednog oblika u drugi, a to stalno i radi. Danas smatramo da postoje sledeće vrste energije: mehanička, toplotna, hemijska, električna i nuklearna. Nama je poznato da masa može da se preobrazi u energiju po formuli  $E = mc^2$ . I pored tolike složenosti, ubeđeni smo i sada, i to stopostotno ubeđeni, da u složenim reakcijama ukupna energija, uračunavajući tu i masu, ostaje uvek stalna. Primer: gurneš jednu opeku po nekoj glatkoj dasci. Opeka klizne još malo, pa stane. Izgubila je svu svoju kinetičku energiju, koja se, međutim, pretvorila u toplotnu: daska je sad, na mestima gde je opeka prolazila, malo, samo malčice toplija. Primer: sipaš benzin u auto, znajući da si kupila (kupio) 45 litara hemijske energije (trebalo bi da je merimo u džulima) pomoću koje sad možeš dati svojoj tojoti izvesnu kinetičku energiju. Voziš, voziš, i potrošiš sav taj benzin, ali jasno je gde je energija otišla - uspela si (uspeo si) da prevališ put od 514 kilometara, od Njuarka do Nort Hiroa. Energija je, dakle, očuvana. Primer: vodopad se sručuje na rotor neke hiroelektrane. Rotor okreće elektrogenerator i tako se jedna prirodna potencijalna energija pretvara u električnu energiju koja će obasjavati i zagrevati neki daleki grad. U računovodstvenim knjigama prirode sva sabiranja i oduzimanja moraju se izravnati. Na kraju dobiješ tačno onoliko koliko uneseš.

## **PA ŠTA?**

Pa to, da ovo ima veze sa atomom. U Borovoj slici, elektron se mora obuzdati da ostane uvek samo na jednoj od nekoliko mogućih, tačno određenih orbita, a svaka od tih orbita definiše se svojim poluprečnikom. Svaki od tih dopuštenih poluprečnika odgovara jednom tačno određenom energetsom stanju atoma. Najmanji poluprečnik odgovara

najmanjoj energiji i naziva se 'osnovno stanje'. Ako dolijemo izvesnu količinu energije jednom uzorku vodonika u gasovitom stanju, jedan deo te energije biće utrošen tako što će atomi vodonika biti 'prodrmani', počće jače da se 'tresu', kreću tamo-amo. Međutim, jedan deo te energije apsorbovaće elektron, i to na tačno određen način. Naime, vodonikov elektron može apsorbovati tu energiju samo u 'zamotuljcima' (pamtimo fotoelektrični efekat), i tom prilikom će preskočiti na neku od viših orbita. Te nivoe obeležili smo rednim brojevima: 1, 2, 3, 4... a svaki od njih ima svoju energiju, dakle E1, E2, E3, E4 i tako dalje. Bor je saznao svoju teoriju tako da je u nju uključio i Ajnštajnovu zamisao da energija jednog fotona određuje koliku će talasnu dužinu on imati.

Ako na jedan vodonikov atom počnu da se slivaju, kao kiša, fotoni svakojakih, najrazličitijih talasnih dužina, vodonikov atom će ranije ili kasnije da proguta jedan od tih fotona, ali ne bilo koji, nego upravo onaj koji mu tačno odgovara; znači, elektron će da 'pojede' upravo onaj paketić energije (foton) koji će mu omogućiti da sa svoga dotadašnjeg preskoči na prvi sledeći (viši) energetski nivo. Recimo, sa E2 na E3. Tako elektroni počnu da naseljavaju više nivoe energije u svojim atomima. To se dešava, recimo, u onim cevima gde vidimio lepa električna pražnjenja u gasovima. Električna energija uđe, a cev sva zablista osobenim bojama vodonika. Na viši energetski nivo preskočiće znatan broj od ukupno prisutnih atoma vodonika u cevi; a prisutno je mnogo hiljada milijardi njih. Ako pustimo dovoljno struje, mnogo tih atoma imaće svoj elektron na ovom ili onom, pa i na najvišem energetskom nivou; dakle, u cevi će biti mnoštvo vodonikovih atoma na svim energetskim nivoima koji su vodoniku mogući.

Borova slika nam pokazuje da elektroni koji su se popeli hoće posle i da siđu na niži energetski nivo. To se njima događa spontano. E, sad se prisetite našeg malog, malecnog predavanja o očuvanju energije. Ako elektron siđe na nižu orbitu, gubi energiju, a ta izgubljena energija mora negde, nekako, da ode. "Nema problema", kaže Bor. Dok silazi, elektron emituje jedan foton, čija je energija tačno ona koja mora negde, nekako, da ode. Ako elektron siđe čak dva nivoa niže, recimo sa nivoa 4 na nivo 2, taj foton će odneti energiju jednaku E4 minus E2. Mogućnosti za skok ima mnogo raznih, na primer E2 ® E1, E3 ® E1, ili E4 ® E3. Dozvoljeno je i padanje u dve etape, recimo silazak E4 ® E2, a odmah posle toga E2 ® E1. I svaki takav gubitak elektronove energije praćen je emitovanjem po jednog fotona tačno te energije. Zato užareni vodonik daje baš taj niz spektralnih linija koji daje, a ne neki drugi.

Borovo ad hoc, kvaziklasično objašnjenje atoma bilo je virtuožno i neortodoksno. On se služio Njutnom i Maksvelom samo kad i koliko mu je odgovaralo. A kad mu nisu bili po volji, odbacivao ih je. Uzimao je on i Planka i Ajnštajna kad su mu bili od koristi. Kad naučnik radi na taj način, to je, stvarno, za svaku osudu. Ali - Bor je bio prilično bistar, pa je našao tačna rešenja.

Da napravimo rezime. Zahvaljujući radu Fraunhofera i Kirhoha još u devetnaestom veku, znali smo za spektralne linije. Znali smo da atomi (i molekuli) emituju i apsorbuju zračenje na tačno određenim talasnim dužinama i da svaki atom ima svoj osobeni obrazac talasnih dužina. Zahvaljujući Planku znamo da se svetlost emituje u kvantima. Zahvaljujući Hercu i Ajnštajnu znamo da se i apsorbuje u kvantima. Zahvaljujući Tomsonu saznali smo da postoje elektroni. Zahvaljujući Raderfordu znali smo da atom ima jedno jezgro, gusto, a malo, takođe da atom sadrži u sebi mnogo, mnogo praznog prostora i da kroz taj prazni prostor proleću, tu i tamo, elektroni. Zahvaljujući mojoj mami i mom tati, meni je zapalo da moram sve ovo da učim. Nils Bor je sabrao sve ove podatke - i još mnogo, mnogo drugih - u jednu celinu. Elektronima su dopuštene samo izvesne određene orbite, rekao je Bor. Oni kad apsorbuju energiju, a to može biti samo na načelu 'ili ceo jedan kvant ili ništa', tada su prisiljeni da skoče na neku višu orbitu. Posle, kad siđu opet na nižu, ispuštaju opet ceo jedan kvant energije, i to foton, kvant svetlosti. Naučnici gledaju te kvante, vide ih kao tačno određene talasne dužine - linije spektra, posebne za svaki hemijski element ponaosob.

Za Borovu teoriju, razvijanu između 1913. i 1925. godine, sada kažemo da je 'stara kvantna teorija'. Plank, Ajnštajn i Bor, tim redom, krenuli su da prkose klasičnoj fizici. Svi su raspolagali čvrstim opitnim podacima na osnovu kojih su znali da su u pravu. Plankova teorija se divno slagala sa spektrom crnog tela, Ajnštajnova sa detaljnim merenjem fotoelektrona. U Borovim matematičkim formulama nalazimo količine kao što su naboj i

masa elektrona, Plankova konstanta, nekoliko p-eva kao broj 3, i jedan važan ceo broj, a to je kvantni broj pomoću koga se za neko energetska stanje kaže koje je ono po redu. Sve ovo, kad se uklopi u jednu celinu, daje formulu iz koje možemo da izračunamo sve spektralne linije vodonika. Podudaranje sa podacima bilo je stvarno izvrsno.

Raderfordu se veoma svidela Borova teorija, ali je on postavio i jedno pitanje: kad i kako elektron odluči da skoči sa jednog energetskog nivoa na drugi? Bor je o tome ćutao. Raderford se prisetio i jedne ranije zagonetke: kad to jedan radioaktivni atom donese odluku da se raspadne? U klasičnoj fizici, svakom događaju prethodi neki uzrok. Na području atoma, ta vrsta uzročno-posledičnih veza kao da ne postoji. Bor je uvideo krizu (koja nije stvarno rešena sve dok Ajnštajn nije 1916. godine objavio rad o 'spontanom prelazima') i ukazao na mogući pravac. Međutim, eksperimentatori, koji su zahuktano istraživali pojave atomskog sveta, počele da pronalaze još neke stvari na koje Bor nije računao.

Kad je američki fizičar Albert Majklson (Albert Michaelson), fanatik preciznosti, ispitao spektralne linije baš detaljno, zapazio je da svaka od vodonikovih linija, zapravo, jeste dvojnica: dve uporedne tanke crte, sasvim blizu jedna drugoj. To je značilo, naravno: dve talasne dužine, koje se samo malo razlikuju. Ovo udvajanje znači da elektron, kad se sprema da siđe na niži nivo, ima pred sobom izbor, dva različita stanja koja su, oba, na tom nižem nivou. Borov model to nije predvideo. Toj pojavi udvajanja dade se naziv 'fina struktura'. Albert Zomerfeld (Albert Somerfeld), Borov savremenik i saradnik, primetio je da brzina elektrona, dok se kreću unutar vodonikovog atoma, iznosi jedan značajan deo brzine svetlosti, što znači da se ponašanje elektrona mora posmatrati i sa stanovišta Ajnštajnovog teorije relativnosti, one iz 1905. A kad je uračunao teoriju relativnosti, primetio je da su ishodi takvi da tamo gde Bor predviđa samo jednu orbitu, nova teorija predviđa dve orbite, međusobno veoma bliske. Time je udvajanje linija bilo objašnjeno. Da bi ovaj svoj račun doveo do kraja, Zomerfeld je uveo 'novu skraćenicu' nekih konstanti koje su mu se često pojavljivale u jednačini. Tako je, na primer,  $2\pi e^2/hc$  zamenio, naprosto, grčkim slovom alfa ( $\alpha$ ). Ne dozvolite da vas Zomerfeldova jednačina uznemiri, ni najmanje. Međutim, zanimljivo je ovo: kad se u pomenuti matematički izraz ugraju poznate vrednosti, i to umesto  $e$  - vrednost za naelektrisanje elektrona, zatim Plankova konstanta (to je  $h$ ), i brzina svetlosti, ( $a$  to je, dabome,  $c$ ), dobije se rezultat  $1/137$ . Eto ga. To je to 137. Čist broj.

Eksperimentatori produžiše da dograđuju Borovom atomskom modelu pojedine delove. Još 1896. godine, pre otkrića elektrona, Holanđanin po imenu Piter Zeman (Pieter Zeeman) stavio je Bunzenov gorionik između polova veoma jakog magneta, na plamen gorionika grudvu kuhinjske soli i posmatrao žutu svetlost koja je iz grudve izbijala (od užarenog natrijuma) pomoću veoma preciznog spektrometra. (Sam ga je načinio.) I, gle, u magnetnom polju žute spektralne linije postale su šire, a to je značilo da magnetno polje na neki način uspeva da 'rascepi' ove linije. Ovo dejstvo potvrđivano je sve preciznijim merenjima sve do godine 1925, kad su dvojica holandskih fizičara, Semuel Goudsmit (Semuel Goudsmit) i Georg Ulenbek (George Uhlenbeck) istupili sa bizarnom zamišljom da bi se ovaj efekat mogao objasniti jedino ako bi se poverovalo da elektroni imaju još jednu odliku - 'spin'. Kod nekog predmeta u klasičnoj mehanici, recimo kod čigre, reč 'spin' znači tačno ono što čigra radi: predmet rotira oko svoje ose simetrije. Vrti se. Kvantni analogon toga jeste ovaj takozvani spin kod elektrona.

Sve te nove zamisli, iako je svaka za sebe bila tačna, ljudi su nakačinjali na Borov model iz 1913. godine, nimalo elegantno; kao da na neki stari auto dodaješ delove proizvedene u drugim fabrikama i u drugom vremenu. Neki prastari ford, recimo, a ti u njega uglaviš erkondišn, namestiš ratkapne u spiner stilu, pozadi zavariš uspravna 'peraja' sa neke druge vrste automobila i tako dalje. Sa ovim okačenim dodacima, Borova teorija je sad bila mnogo 'veća'. Objasnjavala je veliku količinu preciznih, sjajno dobavljenih opitnih podataka.

Ovaj model imao je samo jednu slabu tačku. Bio je pogrešan.

## **ZAVIRITI POD VEO**

U sve veće i sve gore teškoće uplovljavala je ta skrpljena, naherena teorija koju je prvi izložio Nils Bor, kada je, godine 1924, jedan francuski postdiplomac otkrio presudni 'ključ' za rešenje problema. Ključ je, doduše, zapao u teško pristupačno mesto, u grozno loše pisane rečenice njegove doktorske disertacije, ali proradio je. Usledile su tri dramatične godine, iz kojih je izronila jedna sasvim nova postavka stvarnosti u mikrosvetu. Autor je bio mladi plemić, princ Luj-Viktor de Brolji (Louis-Victor de Broglie). Taj momak se u Parizu preznojavao pokušavajući da sastavi doktorsku tezu. De Broljija je nadahnuo jedan Ajnštajnov objavljeni rad iz 1909, u kome je Ajnštajn pokušavao da razmotri značaj svojih kvanta svetlosti. Kako je moguće da se svetlost ponaša kao roj letećih zamotuljaka energije - što će reći, kao roj čestica - a istovremeno da pokazuje sve odlike talasa, na primer interferenciju, difrakciju i druge osobine koje zahtevaju talasnu dužinu?

De Brolji je smatrao da ovaj čudnovati dvojni karakter svetlosti možda može biti osnovno svojstvo cele prirode, svojstvo koje bi važilo i za materijalne predmete - recimo, elektrone. Ajnštajn je, idući za Plankom, u svojoj fotoelektričnoj teoriji pripisao kvantu svetlosti određenu energiju, koja zavisi od njegove talasne dužine. De Brolji je onda prizvao jednu novu simetriju: ako talasi mogu biti čestice, onda i čestice (elektroni) mogu biti talasi. Iznašao je način da pripiše elektronima određenu talasnu dužinu, povezanu sa energijom svakog pojedinog. Sa ovom zamišlju odmah je ušetao u zlatni rudnik, čim je pokušao da je primeni na elektron u vodonikovom atomu. Pripisana talasna dužina istog trena objasnila je Borovo pravilo (koje je Bor izmislio ad hoc) da su elektronu dozvoljeni samo neki, a ne svi poluprečnici orbitiranja. Stvar je jasna i očigledna sama po sebi. Ma nemojte? Je l' jeste? Jeste. Ako u Borovom atomu elektron ima talasnu dužinu koja iznosi, recimo, taj i taj delić centimetra (to će biti neki mali, malecki delić centimetra), onda su mu dozvoljene one orbite čiji obim (dakle, dužina orbite) iznosi tačno jednu tu talasnu dužinu; ili tačno dve; ili tačno tri i tako dalje. Znači, pomnožimo talasnu dužinu tog jednog, konkretnog elektrona brojem 1, ili brojem 2, ili brojem 3 i tako dalje... uvek nekim celim prirodnim brojem... i dobijemo obim svih dozvoljenih orbita tog elektrona. Drugim rečima, bitno je koliko tih talasnih dužina možemo da uguramo da stanu tačno, cele, u jednu orbitu. Vidite, ovde nam može pomoći jedna ilustracija, koja će nas otprilike navesti na razumevanje ovog problema. Uzmite punu šaku metalnih novčića, sitnine. Stavite u sredinu jedan novčić od 25 centi. To je sad, kao, atomsko jezgro. Oko njega naređajte ukруг novčiće od po 10 centi. Oni su, kao, orbita elektrona. Otkrićete da vam za najzbijeniji, dakle krajnje 'tesan' krug, treba sedam ovih manjih novčića. Time je određen obim tog kruga (on je: 7) ali, dabome, i poluprečnik. Vi sad poželite da ugurate još jedan novčić od deset centi. Nema problema, ali obim kruga sad će biti veći (8) pa će samim tim i poluprečnik tog kruga biti veći. Za koliko veći? Svakako ne 'bez veze' veći. Samo jedan jedini poluprečnik jeste tačan poluprečnik kruga koji se sastoji od osam novčića. Ako uvedemo i deveti takav novčić, pa i deseti, jedanaesti i tako dalje, obim kruga postajaće sve veći, ali će taj krug svaki put dobiti i jedan tačno određeni novi, veći poluprečnik. Iz ovog prilično glupog primera vidimo da ako se ograničimo na rad samo sa celim novčićima (talasnim dužinama) biće nam dopušteni samo određeni poluprečnici. Jedna orbita može primiti jedan ceo talas, tačno; ili dva cela talasa, koji će se tačno nadovezati jedan na drugi; ili tri cela talasa i tako dalje. Ali nikako ne može da nastane neko gnječenje ili preklapanje - 'novčić delimično preko novčića' - niti bilo šta slično. De Broljijeva zamisao sastojala se u tome da talasna dužina elektrona (dakle, prečnik novčića) određuje koliki će poluprečnik orbite biti dozvoljen. A ključ cele zamisli jeste to da se elektronu uopšte pripiše neka talasna dužina.

De Brolji u svojoj disertaciji nagađa da li elektroni hoće ili neće ispoljiti druga talasna svojstva, kao što su interferencija i difrakcija. De Broljijevi savetnici na fakultetu, na Pariskom univerzitetu, bili su impresionirani virtuoznim radom mladog princa, ali i zbunjeni pričom o čestici koja je talas. Jedan od članova ispitne komisije pozeleo je da čuje i neko mišljenje sa strane, pa je poslao jedan primerak disertacije Ajnštajnu, koji je uzvratio pismom punim komplimenata za mladog De Broljija. "On je odigao jedan ugao

velikog vela", pisao je Ajnštajn. Teza je odbranjena 1924. godine, a za nju je De Brolji kasnije dobio i Nobelovu nagradu; bio je to prvi primer u istoriji da jedan fizičar dobije Nobelovu nagradu za svoju doktorsku disertaciju. Ali najveći dobitnik na kraju bio je Ervin Šredinger, koji je video stvarni potencijal skriven u De Broljijevom radu.

Sad dolazi zanimljivo dodavanje loptice između teoretičara i eksperimentatora. De Broljijeva zamisao nije imala nikakvu ekperimentalnu podršku. Elektron talas? Šta to znači? Neophodna podrška pojavila se 1927. godine, i to u Nju Džerziju - ne na onom engleskom ostrvu koje se slično zove (u kanalu Lamanš) nego u američkoj saveznoj državi Nju Džerzi, i to blizu grada Njuarka. U jednoj slavnoj istraživačkoj laboratoriji u sastavu jedne poslovne firme - a to je 'Bel telefon laboratorija' u sklopu preduzeća 'Bel telefon' - radilo se na proučavanju vakuumskih cevi. Znate, vakuumske cevi ('lampe') jesu jedna pradrevna elektronska tehnologija koja se koristila pre osvita civilizacije, pre pronalaska tranzistora, u kameno doba takoreći... E, dvojica naučnika, Klinton Dejvison (Clinton Davison) i Lester Džermer (Lester Germer) tamo su bombardovali razne metalne površine, ali oksidisane, mlazevima elektrona. Džermer je, radeći po Dejvisonovim uputstvima, otkrio da se elektroni sa nekih neoksidisanih površina odbijaju u čudnovatim obrascima.

Godine 1926. otputuje Dejvison u Englesku i dozna za De Broljijevu zamisao. Odjuri u Ameriku, stušiti se u firmu i navali da razmatra podatke iz perspektive talasnog ponašanja. Zapazi obrasce koji se tačno uklapaju u ponašanje koje bi elektroni morali da ispoljavaju ako jesu talasi i ako je njihova talasna dužina povezana sa njihovom količinom energije. Sad on i Džermer pohitaju da ovo objave, što pre! Bilo je i razloga za žurbu. U laboratoriji Kevendiš, Džordž P. Tomson, rođeni sin slavnoga Dž. Dž. Tomsona, dovršavao je slično istraživanje. Godine 1938. Nobelovu nagradu za prvo opažanje elektrona kao talasa dobili su zajedno Dejvison i taj mladi Tomson.

Samo uzgred da kažemo da postoji sačuvana prisna prepiska koja bogato ilustruje kakvi su bili odnosi između oca Tomsona i sina Tomsona. U jednom od svojih najemotivnijih pisama, sin pušta duši na volju:

Dragi oče,  
ako nam je dat trougao upisan u kuglu, sa stranicama abc...  
(i tako dalje, tri stranice ovog pisma, zbijeno nakrkane sve u tom istom stilu)

Tvoj sin Džordž

Dobro. Sad je elektronu pridružena odlika da je i talas. To važi za elektrone koji su utamničeni u atomima, ali i za one koji putuju kroz vakuumsku cev. Ali šta se to u elektronu talasa?

## **ČOVEK KOJI SE NIJE RAZUMEO U BATERIJE**

Ako je Raderford bio sasvim osoben primer eksperimentatora, Verner Hajzenberg zaista jeste njegova teoretičarska suprotnost. Uklopio se u onu napomenu I. I. Rabija o teoretičarima koji ne umeju ni da vežu pertle sami. Jedan od najblistavijih studenata u celoj Evropi, Hajzenberg umalo da padne na usmenoj odbrani doktorske disertacije na Minhenskom univerzitetu. Zašto? Zato što se nije dopao jednom članu ispitne komisije, čoveku po imenu Vilhelm Vin (Wilhelm Wien), koji je inače bio jedan od pionira u proučavanju zračenja crnog tela. Počne Vin njemu da postavlja praktična pitanja. Kako radi baterija? Hajzenberg - ni da bekne. Nema pojma. Vin nastavi da postavlja praktična pitanja, a onda zatraži da kandidat bude oboren. Smirenije glave su preovladale, i Hajzenberga su pustili da se provuče, sa ocenom koja je bila ekvivalent 'džentlmske šestice'.

Hajzenbergov otac bio je profesor grčkog jezika u Minhenu, pa je Hajzenberg kao mlad pročitao Platonov tekst Timej, gde je zabeležena cela Platonova atomska teorija. Hajzenberg je zaključio da je Platon bio samo malo, malčice blesav - atomi u obliku kocke, piramide... - ali se oduševio Platonovom osnovnom tvrdnjom, a to je da Vaseljenu

nikada nećemo shvatiti ako prvo ne shvatimo najsitnije sastojke materije. Mladi Hajzenberg odluči da posveti svoj život proučavanju tih najsitnijih sastojaka.

Hajzenberg je iz sve snage pokušavao da u svojoj svesti napravi sliku Raderford-Borovog atoma, ali uzalud. Orbite Borovih elektrona nije mogao sebi nikako da dočara. Znao, onaj slatki, mali atom koji je godinama bio simbol američke Komisije za atomsku energiju: jezgro, a oko njega kruže elektrončići svaki svojim 'magičnim' poluprečnikom, a nijedan ništa ne zrači. U tome Hajzenberg nije našao nimalo pameti. Hajzenberg je uvideo da su Borove orbite naprosto izmišljene, iskonstruisane tek da bi se brojevi uklopili i da je Bor to učinio samo da bi se otarasio klasičnih zamerki koje su Raderfordovom atomu upućivane. (Ili da bi te zamerke, što je još bolje, premestio na jedan finiji nivo.) Ali da su to stvarne orbite? Ne. Borova kvantna teorija nije otišla dovoljno daleko u odbacivanju nepotrebnog prtljaga klasične fizike. Tačno je da prostor unutar atoma dopušta samo neke orbite, ali da bi se to stvarno objasnilo, moralo se pribeci nekim još korenitijim postupcima. Hajzenberg je najzad uvideo da taj novi atom naprosto nije moguće vizuelno predstaviti; štaviše, da je to jedna od temeljnih osobina tog atoma. Zato je Hajzenberg sebi nametnuo jedno čvrsto pravilo: nemoj se baviti ničim što ne može biti izmereno. Te orbite ne mogu biti izmerene. Spektralne linije, međutim, mogu. Hajzenberg je napisao teoriju kojoj je dao naziv 'matrična matematika'. Zasnovana je na jednoj matematičkoj pojavi, takozvanim matricama. Njegovi metodi bili su matematički teški, a za vizuelno prikazivanje još teži, ali bilo je jasno da je Hajzenberg uspeo bitno da popravi Borovu staru teoriju. Vremenom se došlo do toga da je matrična matematika postigla, iznova, sve stare uspehe Borove teorije, ali bez potrebe da se uvode proizvoljni magični poluprečnici. Štaviše, Hajzenbergove matrice krenule su ka novim uspesima, tamo gde je stara teorija trpela neuspehe. Ali fizičarima je upotrebljavanje tih matrica bilo naporno.

Onda se dogodio najslavniji godišnji odmor u istoriji fizike.

## **TALASI MATERIJE I DAMA U VILI**

Nekoliko meseci pošto je Hajzenberg dovršio formulisanje svojih matrica, Ervin Šredinger je zaključio: "Meni je potreban godišnji odmor." A bila je zima 1925. godine, još desetak dana do Božića. Šredinger je bio kompetentan, ali ne osobito istaknut profesor fizike na Ciriškom univerzitetu, a svi fakultetski nastavnici zaslužuju božićni raspust. Šredinger je ostavio ženu kod kuće, iznajmio vilu u švajcarskim Alpima na dve i po nedelje, poneo sveske i dva bisera i - poveo sa sobom jednu damu, jednu svoju raniju žensku iz Beča. Sebi je odredio misiju: da spase kvantnu teoriju vremena, koja je tada bila sva zakrpljena i škriptava. Ovaj fizičar, rođen u Beču, ugurao je sebi ta dva bisera u uši da mu nikakvi suvišni zvuci ne bi skretali pažnju. Svoju devojku je smestio u krevet, da mu se nađe pri ruci, za nadahnuće. Nije imao šta da se dvoumi, samo je trebalo da odradi dva posla: da stvori novu kvantnu teoriju i da postigne to da mlada dama bude zadovoljna. (Nemoj postati fizičar ako nisi spreman da ispuniš ta dva zahteva.)

Šredinger je karijeru započeo kao eksperimentator, ali se rano prebacio na teoriju. Sad je bio prilično mator za teoretičara, imao je, tog Božića, trideset osam godina. Naravno, ima koliko god hoćeš sredovečnih, pa i starih teoretičara; ali oni obično postignu svoja najbolja ostvarenja dok su u dvadesetim godinama, a onda se, u intelektualnom smislu, 'penzionišu' i postanu 'stariji državnici' fizike. Ova pojava zvezde-padalice naročito je važila tokom slavnih dana stvaranja kvantne teorije, kad su Pol Dirak, Verner Hajzenberg, Wolfgang Pauli i Nils Bor svi dali svoje najbolje teorije kao veoma mladi ljudi. Kad je Dirak išao u Stokholm po Nobelovu nagradu, pratila ga je - živa istina - njegova majka; Hajzenberga, isto tako. Jednom je Dirak napisao:

Starost je, naravno, groza najgora,  
koje se svaki fizičar boji.  
Jer ovaj kad pregura tridesetu  
nema više razloga da postoji.



(A dobio je Nobelovu za fiziku, ne za književnost.) Na sreću po nauku, Dirak ovo svoje upozorenje nije poslušao, nego je dogurao do osamdeset i poprilično godina.

Jedna od sveščica koju je Šredinger poneo sa sobom bila je ona De Brolijjeva o česticama i talasima. Radeći grozničavo, Šredinger je pomakao kvantni koncept još dalje. Nije se zadržao na tome da elektrone smatra česticama koje imaju i odlike talasa. Napisao je jednačinu u kojoj elektroni jesu talasi, talasi materije. Glavni glumac u ovoj Šredingerovoj proslavljenoj jednačini jeste grčko slovo  $\psi$  koje se čita na grčkom jeziku 'psi'. Ali na engleskom se čita 'saj' ('uzdah'), pa neki fizičari kažu da je Šredinger sveo sve na uzdahe. Ovo  $\psi$  poznato je kao talasna funkcija i sadrži sve što znamo, i sve što možemo znati, o elektronu. Kad rešavaš Šredingerovu jednačinu, ona ti daje razne vrednosti  $\psi$  za razna elektronova mesta u prostoru i razna njegova menjanja u vremenu. Kasnije je ova jednačina primenjena na sisteme sa dva i više, pa i mnogo elektrona, pa konačno i na svaki sistem koji zahteva da bude kvantno tretiran. Drugim rečima, Šredingerova jednačina, pa time i 'talasna mehanika', važi za atome, molekule, protone, neutrone i, što je za nas danas izuzetno značajno, za skup kvarkova; kao i za druge čestice.

Šredinger je krenuo da spase klasičnu fiziku. Insistirao je na tome da elektroni bukvalno jesu klasični talasi, poput zvučnih ili onih u vodi, ili Maksvelovih svetlosnih talasa i radio-talasa, a da je njihov čestični vid varka. Sve te čestice jesu, po Šredingeru, materijalni talasi - to jest, talasi materije. Talasi su bili, još davno pre toga, dobro shvaćena pojava; lako ih je razumeti, a lako ih je i sebi vizuelno dočarati, za razliku od Borovih elektrona koji skaču hteli-ne hteli sa orbite na orbitu. Po Šredingerovom tumačenju,  $\psi$  (zapravo, kvadrat od  $\psi$ , dakle  $\psi^2$ ) opisuje raspored gustine ovog talasa materije. Njegova jednačina opisuje ove talase pod dejstvom električnih sila u atomu. Na primer, u vodonikovom atomu Šredingerovi talasi se gusto zbijaju na ona mesta gde Borova kvantna teorija kaže da postoje orbite. Jednačina je davala Borove poluprečnike automatski, bez ikakvih podešavanja; davala je i spektralne linije, ne samo za vodonik nego i za sve druge hemijske elemente.

Samo nekoliko nedelja po odlasku iz te vile, Šredinger je objavio svoju talasnu jednačinu, koja je istog trenutka postala senzacija. Bilo je to jedno od najmoćnijih ikada pronađenih matematičkih oruđa za istraživanje strukture materije. (Do 1960. godine objavljeno je preko 100.000 naučnih radova zasnovanih na primeni Šredingerove jednačine.) A Šredinger se dao na posao i napisao jedan za drugim još pet radova, i svih pet su objavljeni u roku kraćem od šest meseci od pojavljivanja prvog. Bio je to jedan od najvećih naleta kreativnosti u celokupnoj istoriji nauke. Robert Openhajmer je izjavio da je teorija talasne mehanike "možda jedna od najsavršenijih, najtačnijih i najlepših teorija koje je čovek ikada stvorio". Arnold Zomerfeld, veliki fizičar i matematičar, rekao je da je Šredingerova teorija "ponajviše zapanjujuća među svim zapanjujućim otkrićima u dvadesetom veku".

Pošto je sve to tako, ja, evo, opraštam Šredingeru što se u isto vreme bavio romantičnim izletima koji, ipak, i ne treba da se tiču nikoga osim biografa, socioistoričara i kolega prepunih zavisti.

## **TALAS VEROVATNOĆE**

Fizičari su Šredingerovu jednačinu voleli iz dva razloga: prvo, mogli su da je reše, i drugo, ona je dejstvovala. Doduše, i Hajzenbergova matrična matematika davala je tačna rešenja, ali su svi zgrabili Šredingerov metod zato što je to bila dobra stara diferencijalna jednačina, toplo, dobro poznato područje matematike. Nekoliko godina kasnije pokazano je da su fizičke zamisli i numeričke posledice Hajzenbergove teorije i Šredingerove teorije istovetne. Te dve su bile ista stvar samo napisana pomoću dva različita matematička jezika. Danas koristimo mešavinu koja se sastoji od najpogodnijih elemenata i jednog i drugog.

Jedini problem u Šredingerovoj jednačini bio je taj što je ona sadržala netačno tumačenje pojma 'talas'. Pokazalo se da to  $\psi$  ne može predstavljati talase materije. Nije

bilo ni najmanje sumnje da predstavlja nekakvo talasanje, ali ostajalo je pitanje: šta se talasa?

Tačan odgovor dao je nemački fizičar Maks Born, već u toku te dramatične 1926. godine. Born je insistirao na tome da postoji samo jedno dosledno tumačenje Šredingerove talasne funkcije, a po njemu  $\psi^2$  predstavlja verovatnoću nalaženja jedne čestice, jednog elektrona, na nekom tačno određenom mestu. Znamo da se  $\psi$  menja u skladu sa pomeranjem elektrona kroz prostor i vreme. Tamo gde je vrednost  $\psi^2$  velika, velika je i verovatnoća da ćemo taj elektron naći. Tamo, pak, gde je  $\psi = 0$ , mi ga nećemo naći nikada. Talasna funkcija je talas verovatnoće.

Na Borna su uticali opiti u kojima se mlaz elektrona uperi ka nekakvoj energetskej prepreci. Takva prepreka može biti, na primer, žičana mreža spojena sa negativnim polom neke baterije, tako da se dobije minusni napon od, recimo, 10 volti. Ako elektroni imaju energiju od samo 5 volti, onda bi trebalo, po klasičnoj fizici, da se odbiju. Ako je energija elektrona veća od energije prepreke, elektron prolazi, kao kad baciš loptu preko zida. Ako je manja, on ne prolazi nego se odbije, kao kad baciš loptu na zid. Međutim, Šredingerova kvantna jednačina kaže da će se jedan deo  $\psi$ -talasa probiti, a jedan deo odbiti. A tako se ponaša svetlost. Prođeš pored nekog izloga i vidiš razne zgodarije izložene unutra, ali, ipak, vidiš i jednu bledu sliku samoga sebe. Svetlost prolazi kroz staklo, ali se jednim delom i odbija. Šredingerova jednačina predviđa slične ishode. Ali mi nikada ne vidimo 'jedan deo' nekog, pojedinačnog, elektrona!

Opit ide ovako: pošaljemo 1.000 elektrona u pravcu prepreke. Gajgerovi brojači pokažu da je 550 prošlo, a 450 se odbilo. Ali u svakom pojedinom od tih slučajeva otkrijemo po jedan ceo elektron. Šredingerovi talasi, izračunati kako valja i treba, daju statističku verovatnoću baš 550 prema 450. Ako prihvatimo Borno tumačenje, svaki pojedini elektron ima verovatnoću od 55 odsto da se probije i 45 odsto da se odbije (da bude odražen). Pošto se nikada ne može dogoditi da jedan elektron bude podeljen na ma kakve delove, Šredingerov talas ne može biti elektron. Može biti samo verovatnoća.

Born je, kao i Hajzenberg, bio deo getingenske škole. To je bila jedna grupa fizičara, među najblistavijima u svome dobu; profesionalno i intelektualno bili su povezani sa Getingenškim univerzitetom, u Nemačkoj. Borno tumačenje Šredingerovog 'psi' došlo je iz uverenja pripadnika getingenške škole da su elektroni čestice. Elektroni navode Gajgerov brojač da se oglasi pucketanjem. Ostavljaju oštre tragove u Vilsonovoj maglenoj komori. Sudaraju se sa drugim česticama i odskaču od njih. Eto sad Šredingerove jednačine, koja proizvodi tačne odgovore, ali opisuje elektrone kao talase. Kako da je pretvorimo u čestičnu jednačinu?

Ironija stalno ide uz istoriju. Zamisao koja je promenila sve nađena je (opet!) u Ajnštajnovom radu, petnaest godina starom. Bio je to jedan Ajnštajnov spekulativni rad iz 1911, o odnosu između fotona i Maksvelovih klasičnih jednačina polja. Ajnštajn je tada predlagao da bi svojstva polja mogla da vode fotone ka mestima sa većom verovatnoćom. Borno razrešenje pitanja "Da li je posredi čestica ili talas?" sastoji se naprosto u sledećem: elektron (kao i njegovi prijatelji) ponaša se kao čestica kad ga neko otkrije, ali kad niko ne meri gde je, njegov raspored po prostoru u skladu je sa talasnim obrascem verovatnoća koji dobijamo iz Šredingerove jednačine. Drugim rečima, ovo Šredingerovo 'psi' ( $\psi$ ) opisuje verovatno mesto elektrona. A ta verovatnoća može se ponašati kao talas. Šredinger je obavio onaj težak deo posla, skovao je jednačinu koja sad leži u srcu teorije. Ali tek je Born, nadahnut davnim Ajnštajnovim radom, shvatio šta Šredingerova jednačina, zapravo, predskazuje. Ironija se sastoji u tome što Ajnštajn upravo ovo Borno tumačenje talasne funkcije kao verovatnoće nikad nije prihvatio.

## **ŠTA OVO ZNAČI, ILI FIZIKA ZA SEĆENJE TKANINE**

Borno tumačenje Šredingerove jednačine predstavlja najdramatičniju i najkrupniju promenu u našem pogledu na svet još od Njutna, pa sve do danas. Nimalo nas ne iznenađuje činjenica da je sam Šredinger zaključio da je Borno zamisao potpuno neprihvatljiva i zažalio što je ikada pronašao jednačinu koja je, eto, poslužila nekome da počne širiti takve gluposti. Međutim, Nils Bor, Hajzenberg, Zomerfeld i drugi prihvatili su

Borna, i to bez mnogo gundanja, zato što je 'verovatnoća bila u vazduhu'. Bornov članak ubedljivo je saopštavao da ta jednačina može samo predskazivati verovatnoće, ništa drugo, ali da matematički oblik verovatnoće može da se razvije, putanjama savršeno predvidljivim.

U ovom novom tumačenju, jednačina se odnosi na talase verovatnoće,  $\psi$ , koji predviđaju šta će elektron raditi, koja će mu energija biti, gde je on i tako dalje. Ta predviđanja imaju oblik verovatnoća. Šta se, dakle, talasa, šta 'maše' gore-dole kod elektrona? Pa, to se talasa. Verovatnoća se talasa. Rešavamo jednačine, a rešenja se na nekim mestima nagomilavaju i daju visoku verovatnoću, a na drugim mestima se međusobno potiru i daju nisku verovatnoću. Kad izvedemo test da vidimo da li je to tako, izvedemo ga, u suštini, ogroman broj puta - naime, sa ogromnim brojem elektrona. U većini slučajeva elektron se nađe tamo gde jednačina kaže da je najverovatnije da će se naći. Retko se nađe tamo gde jednačine kažu da su mu slabi izgledi da se nađe. Dakle, kvantitativno gledano, sve se tačno podudara sa predviđenjem. Šokantno je, međutim, to što možeš isti opit izvesti dvaput, sa samo po jednim elektronom, na potpuno isti način, i ipak dobiti u prvom pokušaju jedan, a u drugom pokušaju neki sasvim drugačiji rezultat.

Šredingerova jednačina sa Bornovim tumačenjem u smislu verovatnoće postigla je ogromne uspehe. Ona je ključ pomoću koga smo razumeli vodonik i helijum. Ako bismo imali dovoljno veliki računar, mogli bismo da razumemo i uran. Pomoću nje, shvatili smo kako se dva elementa spajaju u molekul; podigli smo hemiju na daleko naučniji nivo. Pomoću nje uspevamo da načinimo elektronske mikroskope, pa čak i protonske mikroskope. U razdoblju od 1930. do 1950. ona je prenetu u jezgro atoma i tamo se pokazala jednako valjana kao i u svetu celih atoma.

Šredingerova jednačina predviđa sa visokim stepenom tačnosti, ali to što ona predviđa jeste verovatnoća.

Šta je to verovatnoća?

U fizici, nešto nalik na verovatnoću u životu. U privrednom životu, milijarde dolara ulažu se na osnovu verovatnoće. To će vam potvrditi ljudi iz osiguravajućih kompanija, tekstilci, a i mnogi drugi u društvu pet stotina najjačih firmi. Statističari će vam saopštiti da će prosečan Amerikanac, ako je belac, nepušač, muškarac, rođen 1941, živeti 76,4 godine. Ali ništa ti ne mogu oni javiti o sudbini tvog brata koji se zove Sel, koji je rođen baš 1941. godine. Njega može da zgazi kamion sutra, ili on može da umre od infekcije na noktu nožnog palca kroz dve godine. Oni 'pojma nemaju' šta će se Selu desiti.

Kad držim nastavu na Čikaškom univerzitetu, na jednom času odigram ulogu bogatog fabrikanta tekstila. Postići u životu uspeh kao trgovac krpama, ili kao 'čestičar' u fizici, to ti je slično. U oba slučaja treba dobro da vladaš zakonom verovatnoće i da se dobro snalaziš u sakou od tvida. Zatražim od studenata da svako, redom, kaže koliko je visok, a ja to zapisujem i na tabli pravim grafikom. Neko je visok 152 centimetra, neko 157, neko 176 i tako dalje. Jedan drugar je visok 198 (eh, što nemamo košarkaški tim...). Prosek ispadne 170 centimetara. Ukupno je 166 studenata u dvorani, i ja dobijem podatke od svih, i nacrtam lepu zvonastu krivu koja vodi od onih maleckih, pa se uzdiže, polako dođe do 170, a onda se spušta desno prema sve malobrojnijima koji su veoma visoki i završava se sasvim nisko sa onom nepravilnošću od 198. Sad imam 'krivu raspodele' o telesnoj visini ovogodišnjih brucoša, pa ako sam razumno siguran da opredeljivanje omladine baš za proučavanje fizike ne izobličuje tu krivu, imam reprezentativni uzorak telesnih visina brucoša na Čikaškom univerzitetu. Pomoću okomite ose mogu da pročitam postotke; mogu, na primer, da pogledam koliko postotaka njih ima visinu između 170 i 174. Takođe pomoću ovog grafikona mogu, na primer, da ustanovim da postoji verovatnoća od 26% da sledeći student ili studentkinja ima visinu između, recimo, 165 i 175, ako me to zanima.

Sad sam spreman da proizvodim odela. Ako su ovi studenti moje tržište (a to baš ne bi bili kad bih bio tekstilac), mogu da procenim koji postotak mojih odevnih predmeta treba da bude ovog ili onog 'broja' (u smislu veličine). Ako nemam ovaj grafikom telesnih visina mojih mušterija, moraću da ocenim 'od oka' koliko čega da se proizvede, pa će mi u junu ostati neprodato 137 odela veličine 46 koja niko neće. (Ali ja ću krivicu baciti na mog asistenta Džejka.)

Šredingerova jednačina, kad je rešite za bilo koju situaciju u kojoj se dešava neki atomski proces, daje jednu krivu liniju, jedan grafikon, sličan ovome o visinama studenata. Doduše, oblik grafikona može biti sasvim drugačiji. Ako želimo da znamo gde se 'mota' jedan elektron, recimo onaj jedini koji postoji u vodonikovom atomu - drugim rečima, koliko je on daleko od jezgra tog atoma - izračunaćemo i dobićemo krivu raspodele verovatnoće nalaženja koja naglo opada posle nekih 10<sup>-8</sup> cm, sa verovatnoćom od oko 80% da će se elektron zadržavati unutar kugle čiji je poluprečnik 10<sup>-8</sup> cm. To je ono najniže energetske stanje, 'osnovni nivo' tog elektrona. Ako pobudimo elektron da se popne na sledeći, viši energetske nivo, dobićemo zvonastu krivu koja će ukazivati na poluprečnik koji je, u proseku, nekih četiri puta veći. Možemo izračunati krive verovatnoće i za druge procese. Ovde moramo jasno da razlikujemo predviđanja o verovatnoći od predviđanja o mogućnosti. Veoma je precizno poznato koji su energetske nivoi mogući, ali, ako se zapitamo u kom energetske stanju će elektron biti nađen, o tome možemo izračunati samo verovatnoću, koja zavisi od istorije sistema. Ako elektron ima izbor na koji će niži energetske nivo sići (na neki od dva ili više nivoa, ako su mu mogući), opet možemo da izračunamo verovatnoće; na primer, 82 postotka verovatnoće da siđe na E1, 9 posto verovatnoće da siđe na E2 i tako dalje. Demokrit je to najbolje kazao onom svojom rečenicom: "Sve što u Vaseljeni postoji plod je slučaja i nužnosti." Različita energetske stanja su nužnost, jer samo ona mogu da postoje. Ali na koje će od tih energetske stanja elektron da dospe, to mi možemo da predskazemo samo kao verovatnoće. Jer o tome odlučuje slučaj.

Koncepti verovatnoće sasvim su normalni statističarima. Uznemirili su, međutim, fizičare u prvim decenijama ovog veka zato što su oni bili školovani da veruju u klasičnu fiziku. (Uznemiravaju mnoge i danas.) Njutn je opisao jedan deterministički svet. Ako baciš kamen, lansiraš raketu, ili uvedeš novu planetu u Sunčev sistem, možeš (bar u načelu, ako su ti poznate sve sile i svi početni uslovi) savršeno pouzdano da predviđiš kuda će taj bačeni ili lansirani ili uvedeni predmet ići. Kvantna teorija, međutim, kaže: ne. Početni uslovi su sami po sebi neodređeni. Možeš da izmeriš samo verovatnoće za sve ono što želiš: gde će biti čestica, koliko će brza biti i tako dalje. Bornovo tumačenje Šredingera uznemirilo je fizičare koji su tokom tri veka posle Galileja i Njutna prihvatili determinizam kao svoj pogled na svet. Kvantna teorija preti da ih sve pretvori u malo 'uzvišeniju' vrstu statističara.

## **IZNENAĐENJE NA VRHU PLANINE**

Godine 1927. engleski fizičar Pol Dirak pokušavao je da proširi kvantnu teoriju, za koju se u to doba činilo da je u neskladu sa Ajnštajnovom posebnom teorijom relativnosti. Te dve teorije već je 'predstavio' jednu drugoj Zomerfeld, ali Dirak je odlučio da ih uvede u srećan sklad, da ih venča i da nadgleda da srećno urade ono što na početku braka treba da urade.

Čineći to, našao je elegantnu novu jednačinu za elektron (koju, baš neobično, nazivamo Dirakova jednačina). Iz te moćne jednačine proističu dva zaključka: naime, da elektroni moraju imati spin i moraju stvarati magnetno polje. Prisetite se g činioca sa početka ovog poglavlja. Dirakovi proračuni pokazali su da jačina magnetizma elektrona, merena pomoću g, mora biti 2,0. (Tek mnogo kasnije, brušenjem ove jednačine, došlo se do one tačnije vrednosti koju smo vam već dali.) I još nešto! Dirak (tada momak od dvadeset četiri godine) nađe da prilikom dobijanja elektronsko-talasnog rešenja njegove jednačine iskrsava još jedno rešenje, sa bizarnim implikacijama. Morala bi postojati još jedna čestica, koja bi imala odlike u svemu jednake elektronu, ali sa suprotnim naelektrisanjem. Matematički razlog za ovo sasvim je jednostavan i jasan. Svako dete zna da kvadratni koren iz četiri jeste dva, što znači: plus dva; ali, isto tako, i minus dva, jer je minus dva puta minus dva takođe jednako četiri. Evo gledajte:  $2 \times 2 = 4$ , ali, nesumnjivo, i  $(-2) \times (-2) = 4$ . Kvadratni koren iz četiri je ili plus ili minus dva.

Problem je bio u tome što ova simetrija, implicirana Dirakovom jednačinom, znači da za svaku naelektrisanu česticu mora postojati još jedna, ista takva, ali sa suprotnim nabojem. Zato je Dirak, džentlmen konzervativan i toliko neharizmatičan da su se o tome

razvile legende, bio prisiljen da se nekako izbori sa svojim sopstvenim rešenjem. Najzad se odlučio da istupi sa sledećom tvrdnjom: u prirodi mora biti da postoje i pozitivni elektroni, a ne samo negativni. Neko je skovao reč antimaterija. Ta antimaterija trebalo bi da se nalazi svuda; ali niko je nikad nije primetio, ni u najmanjoj količini.

Godine 1932. jedan mladi fizičar sa Kalteka, tip po imenu Karl Anderson (Carl Anderson), sagradio je maglenu komoru udešenu da se u njoj registruju i fotografišu subatomske čestice. Oko te naprave bio je postavljen moćan magnet, da bi savijao putanju čestica i time određivao meru njihove energije. Anderson je u svoju vreću uhvatio bizarnu novu česticu - njen trag, zapravo - čiji je let kroz komoru snimio. Nadenuo je ovom čudnom novom predmetu naziv pozitron zbog toga što su sve osobine bile iste kao kod elektrona, a samo naelektrisanje drugačije. Pozitivno. Anderson je ovo otkriće objavio, ali bez ikakvog pominjanja Dirakove teorije; ali mnogi su se ubrzo dosetili šta je posredi - da je Anderson, zapravo, pronašao jednu novu vrstu materije, antičesticu koja je nekoliko godina pre toga već 'izletela' iz Dirakove teorije. Šta je stvaralo te tragove u Andersonovoj komori? Kosmički zraci su ih stvarali; a kosmički zraci jesu zračenje koje nastaje kad razne čestice doleću iz kosmosa, iz dalekih delova naše Galaksije, i udaraju u našu atmosferu. Da bi dobio još bolje podatke, Anderson je preneo celu svoju skalameriju iz grada Pasadene na vrh jedne planine u Koloradu, gde je vazduh razređeniji, a kosmičko zračenje snažnije.

Andersonovo lice na naslovnoj strani lista 'Njujork Tajms', kao i saopštenje o ovom otkriću, poslužili su kao nadahnuće izvesnom mladom Ledermenu; tad je dotični junosa prvi put bio izložen romantičnoj zamisli o šlepovanju neke grdne opreme čak na vrh planine zarad naučnog merenja. Posle se pokazalo da je antimaterija vrlo bitna stvar, neminovno upletena u život svakog fizičara koji proučava elementarne čestice, o čemu ću, obećavam, kasnije reći više. Kvantna teorija postigla je još jedan uspeh.

## **NEODREĐENOST I SVE TO**

Godine 1927. Hajzenberg je izmislio svoje relacije o neodređenosti, koje su stavile kapu na glavu te velike naučne revolucije za koju kažemo da je kvantna teorija. Dobro, kvantna teorija nije stvarno dovršena do četrdesetih godina ovog veka. Pa, ako baš hoćemo, i danas se nastavlja njen razvoj, u verziji nazvanoj kvantna teorija polja; nema tu stvarne dovršenosti dok je ne spojimo u celosti sa gravitacijom. Ali za svrhe kojima se mi u ovoj knjizi bavimo, načelo neodređenosti predstavlja dobro mesto za završetak. Hajzenbergove relacije o neodređenosti jesu matematička posledica Šredingerove jednačine; takođe su logički postulati, ili pretpostavke, jedne nove kvantne mehanike. Pošto su Hajzenbergove zamisli ključne za shvatanje koliko je kvantni svet stvarno nov, biće potrebno da se tu malo zadržimo.

Neimari kvantne teorije uporno govore da su važna samo merenja. Ona su, dakako, draga srcu eksperimentatora. Kažu: sve što od jedne teorije možemo tražiti jeste da predskazuje ishode nekih merljivih događaja. Reklo bi se da je to samo po sebi jasno, ali ako makar i za tren zaboravimo to pravilo, pojave se paradoksi. Izvesni autori, nosioci takozvane popularne (ne)kulture, veoma vole da eksploatišu te paradokse. Dodaću i ovo: upravo na teoriji merenja prisiljena je kvantna teorija da se suočava sa svojim nekadašnjim, današnjim i, nesumnjivo, budućim kritičarima.

Hajzenberg je proglasio da naše istovremeno znanje o mestu gde se jedna čestica nalazi i o njenom kretanju jeste ograničeno, kao i da kombinovana neodređenost te dve veličine mora da prevaziđe... ništa drugo nego Plankovu konstantu,  $h$ , onu istu koju smo prvi put susreli u formuli  $E = hf$ . Naše merenje položaja čestice i kretanja čestice (njenog impulsa) jesu u obrnuto srazmernoj spregnutosti. Što više znamo o jednom, manje znamo o drugom. Šredingerova jednačina daje nam verovatnoće za te činioce. Ako smislimo neki opit kojim ćemo tačno odrediti gde je jedan elektron - recimo da će se dobiti neke koordinate sa izuzetno malenom nesigurnošću u pogledu položaja - raširiće se u odgovarajućoj meri velika 'lepeza' mogućih vrednosti impulsa, po Hajzenbergovoj relaciji. Proizvod ovih dvaju neodređenosti (a mi im možemo pripisati neke određene brojčane vrednosti) uvek je veći od Plankovog sveprisutnog  $h$ . Hajzenbergove relacije

uništile su, jednom za svagda, klasičnu sliku orbita. Sam pojam 'položaj' - to jest, 'mesto' - sad je manje određen. Hajde da se mi vratimo Njutnu i nečemu što možemo sebi vizuelno da predstavimo.

Pretpostavimo da imamo ravan drum po kome nekom dobrom brzinom pučka jedan automobil, neka je to korejanski hiundai. Mi donesemo odluku da izmerimo njegovu položaj u nekom trenu, otprilike u onom kad projuri pokraj nas. Ali takođe želimo da znamo, molim lepo - kojom brzinom ide. U njutnovskoj fizici, kad tačno ustanovimo položaj i brzinu jednog tela u nekom trenutku, time stičemo moć da predvidimo tačno gde će to telo biti u bilo kom budućem trenutku.

Međutim, mi koji radimo u kvantnoj fizici, kad dovučemo željenu količinu lenjira i časovnika, bliceva i kamera, ustanovimo da što pažljivije merimo položaj nečega, to je manja naša sposobnost da mu izmerimo brzinu, i obratno. (Prisetite se: brzina je promena mesta, podeljena vremenom.) A u klasičnoj fizici (automobil...) možemo stalno da poboljšavamo tačnost merenja i brzine i položaja; možemo u tome dostići tačnost koliku god hoćemo. Treba samo da izvučemo od nekog ministarstva dovoljno love za proizvodnju još bolje merne opreme.

U području atoma, Hajzenberg je ustanovio jednu suštinsku nesaznatljivost, koja se ne može popraviti nikakvom količinom opreme, genijalnosti, niti državnih para. Hajzenberg tvrdi da je jedna od temeljnih odlika prirode upravo to - da proizvod ove dve neodređenosti mora uvek biti veći od Plankove konstante. E, sad, ovo može zvučati čudno; ali - postoji čvrsta fizička osnovica za ovu neodređenost u merenju mikrosвета. Pokušajmo, na primer, da tačno ustanovimo gde je jedan elektron. Da bismo to postigli, moramo ga 'videti'. A to znači da moraš postići da neka svetlost odskoči od njega. Zaspješ ga fotonima, jedan foton se odbije od njega, u redu, vidim ga! Vidim taj elektron! Znam njegov položaj u ovom trenutku. Međutim, kad se foton sudari sa elektronom, promeni njegovo dalje kretanje, poremeti ga. Izmerili smo jedno, pokvarili drugo. U kvantnoj mehanici merenje neminovno dovodi do promene onog što merimo, jer se radi u atomskim sistemima, tako da merni alati ne mogu biti manji, nežniji niti blaži. Atomi imaju prečnik reda jednog desetomilijarditog dela centimetra; a težina im je reda milionitog dela milijardito-milijarditog dela jednog grama. Dakle, nije mnogo potrebno pa da izvršiš veliki uticaj na jedan atom. Za razliku od toga, u sistemima u klasičnoj fizici možemo postići da čin merenja utiče na mereni predmet samo malo, nezatno. Pretpostavimo da želimo izmeriti temperaturu vode. Zamočimo mali termometar u jezero. Time nećemo promeniti temperaturu tog jezera. Ali ako bismo zamočili neki veliki, debeli termometar u jedan naprstak vode, to bi bilo baš glupo, jer bi termometar izmenio toj vodi temperaturu - koju treba da izmeri. U atomskim sistemima, kaže kvantna teorija, moramo znati da i merenje sistema jeste sastavni deo tog istog sistema.

## **SILNE MUKE NA DVOSTRUKOM PROREZU**

Najslavniji i najpoučniji primer kontraintuitivne prirode kvantne teorije jeste opit sa dvostrukim prorezom. Prvi čovek koji je izveo ovaj opit bio je Tomas Jang, lekar, leta gospodnjeg 1804. Tada, pre skoro dva veka, to je naširoko pozdravljeno kao eksperimentalni dokaz talasne prirode svetlosti. Eksperimentator uperi mlaz svetlosti, recimo žute, na zid. Prethodno je na tom zidu načinio dva proreza, uporedna, veoma tanka i veoma blizu jedan drugom. Daleko iza zida je ekran. Ono malo svetlosti što se protisne kroz ta dva tanka zaseka padne na ekran - to jest, projektuje se na njega. Kad je Jang pokrio jedan prorez, na ekranu se pojavila jednostavna, blistava, malo raširena slika drugog, otvorenog proreza. Međutim, kad je ostavio da oba proreza budu otvorena, ishod je bio iznenađujući. Pojavila se obasjana površina, ali kad ju je Jang pomno razgledao, ispostavilo se da na njenim rubovima postoje svetle i tamne trake. Dabome, tamne trake su ona mesta na koja svetlost ne dopire.

Ove trake su dokaz da je svetlost talasanje, rekao je Jang. Zašto? Zato što su deo takozvane 'interferencione slike'. Interferencija se pojavljuje kad god se međusobno sudaraju bilo kakvi talasi. Eto, na primer, dva talasa u vodi se sudare i podudare, vrh jednog se preklopi sa vrhom drugog... u tom trenutku imamo znatno veće nadizanje

vode, oni su se pojačali. Ali ako je jedan zakasnio za pola dužine, pa naiđe svojom udolinom na vrh onog drugog... u tom trenutku imamo znatno manje nadizanje vode, oni se međusobno poništavaju. Voda se u znatnoj meri poravna.

Jangova objašnjenje opita sa dva proreza sastojalo se u tome da na izvesnim mestima uznemirenja slična talasima vode (a ta uznemirenja jesu svetlosni talasi) iz dva proreza pristižu sa tačno takvim pomeranjem faze da se međusobno ponište: vrh jednog svetlosnog talasa podudara se sa udolinom drugog i kao ishod imaš mrak. Takva poništavanja su najbitniji znak svake talasne interferencije. A kad se vrh jednog talasa svetlosti podudara sa vrhom drugog talasa svetlosti, tu dobijemo još jaču svetlost. Na tom mestu na ekranu bude svetla pruga. Ovo je prihvaćeno kao dokaz da je svetlost talasna pojava.

Pa, dobro, u načelu je moguće da se isti ovaj opit izvede i sa elektronima. U suštini, to je ono što je Dejvison uradio u laboratorijama firme 'Bel'. Kad proreze obaspeš mlazevima elektrona, na ekranu dobiješ interferencionu sliku. Ekran je pokriven minijaturnim Gajgerovim brojačima; svaki se oglasi jednim 'Klik!' kad u njega uleti elektron. Gajgerov brojač otkrije čestice. Da bismo proverili da li ovi Gajgerovi brojači rade, pritisnemo debeo komad olova na prorez broj 2. Sada će svi Gajgerovi brojači prijaviti da su uhvatili ponešto, ako čekamo tako dugo da mnogo hiljada elektrona prođe kroz preostali prorez (kroz broj 1). Ali kad ostavimo da oba proreza budu otvorena, čitavi redovi Gajgerovih brojača... zaneme!

Samo malo. Polako s time. Kad je jedan prorez zatvoren, elektroni se protiskuju kroz onaj koji smo ostavili otvoren; naprosto štrcaju kroz njega, ali kad prođu, rasipaju se, neki idu levo, neki desno, gore, dole, a neki baš produže pravo. Na ekranu se začuje mnoštvo 'Klik! Klik! Klik!' otprilike svuda, otprilike ujednačeno, nalik na ono kad je Jang ostavio jedan prorez otvoren i dobio ujednačenu, ali ipak i malo razlivenu traku svetlosti. Drugim rečima, elektroni se ponašaju kao čestice, a to i jeste savršeno logično.

Ali ako otvorimo i drugi prorez, mnogi elektroni će nahrupiti napred i kroz njega. Slika će se promeniti, pojaviće se 'crne trake' u koje neće dospovati nijedan elektron. Sad se elektroni ponašaju kao talasi. A znamo da su čestice po tome što Gajgerovi brojači klikću.

Mogli biste vi kazati ovako: možda dva ili više elektrona prođu istovremeno kroz proreze i načine simulaciju obrasca talasne interferencije. Da bismo pokazali da se to ne događa, znatno smanjimo broj elektrona koje puštamo: sad svakoga minuta puštamo samo po jedan. Pojavi se, opet, interferencionu sliku. Zaključak: elektron, dok prolazi kroz jedan prorez, 'zna' da li je drugi prorez zatvoren ili otvoren! Ponaša se tačno u skladu s tim.

Odakle nam ta pomisao da su elektroni 'pametni'? Stavite sebe u položaj eksperimentatora. Imaš elektronski top i nema nedoumice - ispaljuješ elektrone na te proreze. To je jasno. Znaš sigurno da na cilj stižu čestice jer Gajgerovi brojači klikću. Svaki takav zvuk znači da je u brojač uletela jedna čestica. Znači, ostavio ti samo jedan prorez ili oba, svakako počinješ i završavaš sa česticama. Međutim, gde će čestice padati, zavisi od toga da li otvoriš oba proreza ili samo jedan. Prema tome, čestica koja proleće kroz jedan prorez ponaša se kao da zna da li je onaj drugi prorez otvoren; menja svoje ponašanje u skladu sa ovom informacijom. Ako je drugi prorez zatvoren, čestica kaže sebi: "Nema frke, sad mogu da udarim u bilo koji deo ekrana". Međutim, ako je drugi prorez otvoren, čestica kaže sebi: "Auh. Sad moram da izbegavam neka mesta na ekranu, ona mesta gde treba da ostanu tamne trake, da bi se dobila interferencionu sliku." Pošto čestice ne mogu ništa da znaju, logika zapada u krizu.

Kvantna mehanika kaže da možemo predskazati verovatnoću prolaženja elektrona kroz proreze i kasnijeg njihovog stizanja do ekrana. Verovatnoća je talas, a talasi, kad im namestiš dva prolaza, obrazuju interferencionu sliku. Kad su oba proreza otvorena, y talasi verovatnoće mogu između sebe interferirati na takav način da će na nekim delovima ekrana ishod biti nulta verovatnoća ( $y = 0$ ) da elektron tu udari. Čim postavljaš antropomorfna pitanja kao u prethodnom pasusu, znači da se nisi 'otrezni'o od klasične fizike; ona te još drži. U kvantnom svetu ne može se postaviti pitanje "Kako elektron zna kroz koji prorez da prođe?" zato što je to nešto na šta ne možemo merenjem dobiti odgovor. Niko ne posmatra putanju tog jednog elektrona iz tačke u tačku, celim putem... pa, prema tome, čak ni pitanje "Kroz koji je od ova dva otvorena proreza elektron

prošao?" ne dolazi u obzir za razmatranje. Hajzenbergove relacije neodređenosti leče nas od mamurluka i ovako: ukazuju nam da, ako pokušamo meriti putanju kojom se elektron kreće od elektronskog topa do proreza, time neminovno moramo sasvim da izmenimo putanju tog elektrona, a onda nam je opit sasvim bezvredan. Možemo da znamo početne uslove opita: elektron je ispaljen iz elektronskog topa. Možemo znati i ishod: elektron uleće u jedan Gajgerov brojač koji se nalazi negde na ekranu. Ali ne možemo da doznamo putanju kojom se elektron kreće od A do B, osim ako smo spremni da sasvim upropastimo opit. To vam je ta sablasna, avetinjska priroda ovog novog sveta atoma.

Ovo kvantnomehaničko rešenje, koje u suštini kaže: "Ma, baš nas briga! Mi to izmeriti ne možemo!" sasvim je logično, ali ipak nije zadovoljavajuće za um većine ljudi. Jer čovekov um se bori da shvati pojedinosti ovog sveta oko nas. Postoje izvesne namučene duše koje i danas odbijaju da plate ovu veoma visoku cenu pomirenja sa kvantnom teorijom. Naša odbrana glasi ovako: pa, to je jedina nama poznata teorija koja dejstvuje.

## **NJUTN PROTIV ŠREDINGERA**

Moraš da neguješ u sebi jednu novu intuiciju. Dve godine potrošimo da studente naučimo klasičnoj fizici, a posle toga nastojimo da ih okrenemo na sasvim drugu stranu i naučimo kvantnoj teoriji. Tek postdiplomci, posle još dve ili više godina rada, razvijaju u sebi kvantnu intuiciju. (Od tebe, talični čitaoče/čitateljko, očekujemo da ovu piruetu izvedeš u prostoru ovog poglavlja.)

Samo po sebi nameće se pitanje koja teorija je tačna, Njutnova ili Šredingerova? Molimo žiri da preda kovertu sa svojim ocenama. Pobjednik je... Šredinger! Njutnova fizika razvijena je za velike predmete; ona ne uspeva u unutrašnjosti atoma. Šredingerova teorija razvijena je za mikropojave. Ali kad se primeni na makroskopske situacije - uspeva. Daje iste rezultate kao Njutnova.

Pogledajmo jedan klasičan primer. Planeta Zemlja kruži oko Sunca. Elektron - upotrebićemo jezik klasične fizike, Borov - 'kruži' oko jezgra. Elektron je, međutim, prisiljen da se drži samo nekih orbita, sasvim određenih. Postoje li i neke određene kvantne orbite koje su planetama, u njihovom kretanju oko Sunca, jedine dozvoljene? Njutn bi rekao: ne, orbita planete može se nalaziti bilo gde. Tačan odgovor, međutim, glasi: da. Možemo da primenimo Šredingerovu jednačinu i na sistem Zemlja-Sunce. U tom slučaju Šredingerova jednačina daće nam svoj uobičajeni skup diskretnih (zasebnih) orbita, ali ogroman broj njih. Pošto u jednačinu moramo ugurati masu cele Zemlje (a ne jednog elektrona), i to ispod razlomačke crte, razmaci između svake dve susedne orbite, ovde gde Zemlja jeste, a to znači na oko 150 miliona kilometara daleko od Sunca, iznosiće nešto tako majušno - recimo, na otprilike svaki milijarditi deo milijarditog dela centimetra po jedna - da je to, u praksi, isto što i neprekinuta, povezana sloboda da orbita bude bilo gde. Sa praktične tačke gledanja, ispada da je tačno ono Njutново da su sve orbite dozvoljene. Uhvatiš Šredingerovu jednačinu i primeniš je na makroobjekat, a ona počne pred tvojim očima da se menja, menja - i pretvori se u...  $F = ma!$  Ili u nešto sasvim slično tome. Ruđer Bošković je bio, uzgred rečeno, taj koji je još u osamnaestom veku pretpostavio da su Njutnove formule samo približno tačne, dobre za upotrebu kad se barata velikim razdaljinama, ali da neće moći da se održe u mikrosvetu. Prema tome, naši diplomci ne moraju da pobacaju svoje udžbenike iz mehanike. Neko će se možda zaposliti kod NASA, ili u bezbol klubu 'Čikaški mladunci' da tamo izračunava putanje raketa ili bezbol optica, pomoću dobrih, starih njutnovskih jednačina.

U kvantnoj teoriji, koncept orbita, ili pitanje šta elektron radi u atomu ili u nekom zraku, nije od koristi. Važni su samo rezultati merenja, a kad se oni predskazuju, kvantna nauka može samo dati verovatnoće ovakvog ili onakvog rezultata. Ako meriš gde se elektron nalazi, recimo u vodonikovom atomu, kao rezultat možeš dobiti jedan broj koji će ti kazati koliko je elektron daleko od jezgra. Ali to ne postižeš mereći jedan atom, nego ponavljajući merenje mnogo, mnogo puta, zatim crtajući jednu krivu, unoseći sve dobijene rezultate i poredeći dobijeni grafikoni sa teorijskim predviđanjem. Teorija ne može predvideti kakav ćeš rezultat dobiti pri jednom merenju. Ovo su ti statističarska posla. Vratću se onome kako bi bilo kad bih bio bogati tekstilac: ustanovio sam, recimo,



da je prosečan brucoš na Čikaškom univerzitetu visok 170 cm, ali, i kad sam to ustanovio, vrlo lako može biti da sledeći koga pogledam bude visok (ili visoka) 158 ili 188. Ne možemo predskazati visinu sledećeg koga ćemo meriti; samo možemo imati tačnu statističku grafičku krivu o svima njima.

Stvari postaju sablasne kad treba predskazati kako će se čestica probijati kroz neku prepreku ili kad će se neki radioaktivni atom raspasti. Mi sve lepo pripremimo da opit mnogo puta izvedemo sasvim isto. Ispalimo elektron od 5 MeV na prepreku koja je negativno naelektrisana u iznosu 5,5 MeV. Prognoza je da će se u 45 posto slučajeva elektron probiti kroz prepreku. Znači, probiće se, od svakih stotinu, 45. Ali nikada ne možemo za jedan određeni elektron biti sigurni šta će učiniti. Jedan se probije; drugi, u svakom pogledu istovetan, ne probije se. Opiti isti, ishodi drugačiji. To je kvantni svet. U klasičnoj fizici naglašavamo značaj ponavljanja opita da bi se potvrdilo da su rad i zaključak ranijih eksperimentatora bili dobri. U kvantnom svetu možemo ponoviti sve osim rezultata.

Stvar je ista sa neutronom. On ima 'poluživot', to jest razdoblje poluraspada, koji iznosi 10,3 minuta. Ovo znači da ako na početku imamo 1.000 neutrona, kroz 10 minuta i 18 sekundi imaćemo ih samo 500. Ali jedan, pojedinačni neutron? Pa, taj se može raspasti kroz 3 sekunde ili kroz 29 minuta. Njegovo tačno vreme raspada nepredvidivo je. Ajnštajn je mrzeo ovu ideju. "Bog se ne kocka sa Vaseljenom", govorio je Ajnštajn. Neki drugi kritičari su govorili: a šta ako postoji, u svakom neutronu i svakom elektronu, neki mehanizam, skrivena opruga, neka 'skrivena promenljiva veličina' zbog koje je svaki neutron drugačiji; to bi bilo kao kod ljudi, svako je drugačija osoba, a ipak postoji prosečan ljudski životni vek. Kod ljudi ima mnoštvo činilaca ne baš veoma skrivenih - geni, začepjene arterije i tako dalje - pomoću kojih možemo, bar u načelu, predskazati kad će jedan određeni pojedinac umreti, pod pretpostavkom da ga pre toga ne sredi lift koji se otkači sa kablova, niti romantična veza sa katastrofalnim završetkom, niti mercedes koji se izmakao kontroli vozača.

Ali ta hipoteza o skrivenom promenljivom činiocu u suštini je propala, i to iz dva razloga. Prvo, već je izvedeno na milijarde opita sa elektronima, a nikad se ni trag ma i najmanjeg skrivenog promenljivog činioca nije ukazao; drugo, nove, poboljšane teorije u vezi sa kvantnomehaničkim opitima kažu da takvi činiooci ne postoje i ne mogu postojati.

### **TRI STVARI KOJE TREBA ZAPAMTITI O KVANTNOJ MEHANICI**

Moglo bi se kazati da kvantna mehanika ima tri osobine koje su zaista izuzetne: (1) ona je kontraintuitivna; (2) ona deluje, radi; i, (3) ona ima neke vidove koji su takvi da ih nije mogao prihvatiti čak ni sam Ajnštajn, čak ni sam Šredinger, vidove zbog kojih se podvrgava sve novim i novim preispitivanjima, evo, i sad, u poslednjoj deceniji dvadesetog veka. Idemo redom.

1. Kontraintuitivna. Prvi primer: umesto da su pojave kontinuirane, kvantna mehanika ih zamenjuje 'diskretnoću' - to jest, insistira na tome da su iseckane na zasebne komadiće. Metaforički kazano, umesto da se u čašu uliva tečnost, glatko, uliva se vrlo fini pesak. Ti čuješ neki glatki ton, ali to je samo bubnjanje milijardi atoma po tvojim bubnim opnama.

Drugi primer: onaj užasavajući opit sa dva proreza, o kome smo već govorili.

Treći primer za kontraintuitivnost jeste 'tunel efekat'. Pričali smo o ispaljivanju elektrona na elektronsku prepreku. Analogija u klasičnoj fizici za ovo jeste kotrljanje lopte po uzbrdici. Ako si na početku dovoljno jako gurnuo loptu uz neko brdašće (dao si joj dovoljno energije), ona će se prekotrljati preko vrha i otići na drugu stranu. Ako nisi, skotrljaće se nazad u udolinu. Ili, zamislite tobogan čiji je vagon ostao u udolini između dva zastrašujuća uspona. Pretpostavimo da vagon ima još dovoljno zamaha da se popne do pola uzbrdice koja je pred njim. Onda će se zakotrljati unazad, do dna udoline, pa opet uzbrdo, ali unazad, po usponu iza sebe; pa sve opet tako, napred i nazad. Kad bismo mogli da odstranimo trenje, vagon bi tako oscilovao večito napred-nazad, zarobljen između dva nesavladiva uspona. U kvantnoj atomskoj teoriji takva situacija je poznata kao 'vezano stanje'. Međutim, kad opisujemo šta se događa sa elektronima koje

smo poslali da srljaju ka nekoj energetskoj prepri, ili ostavili zarobljene između dve, moramo uzeti u obzir talase verovatnoće. I pokaže se da jedan deo talasa ipak može da se provuče, da 'procuri' kroz prepreku. (U atomskim sistemima ili sistemima jezgara, prepreka je ili od električne sile ili od jake sile.) Prema tome, postoji konačni iznos verovatnoće da će se zarobljena čestica ipak pojaviti - izvan klopke! Ovo nije bilo samo kontraintuitivno, ovo je već bio ogroman paradoks zato što bi elektron u trenucima dok prolazi kroz barijeru imao negativnu kinetičku energiju - a to je klasični apsurd. Ali kad se u čoveku razvije kvantna intuicija, on se osposobi da odgovori ovako: "Pa, stanje tog elektrona dok prolazi kroz 'tunel' energije koja mu je protivna ne možemo da posmatramo. Prema tome, to nije pitanje za fiziku." I stvarno, mi samo opazimo da je on izišao. Ova pojava, poznata kao 'tunel efekat', iskorišćena je da objasnimo alfa radioaktivnost. Ona je takođe osnova za jednu važnu spravicu u tranzistorskoj elektronici, poznatu kao tunnelska dioda. Tunel efekat nesumnjivo jeste 'hladna strava' za sve nas, sa stanovišta logike, pa ipak, neprestano ga koristimo u modernim računarima i drugim elektronskim spravama.

Čestice koje su tačke; tunel efekat; radioaktivnost; naše muke neviđene zbog dvostrukog proreza; sve to nas je prisiljavalo da razvijamo novu intuiciju koja je kvantnoj fizici bila potrebna u poznim dvadesetim i u tridesetim godinama ovog veka kad su se naučnici 'razvijali u strelce' i polazili, naoružani novim intelektualnim oružjem, u traganje za neobjašnjenim pojavama.

2. Dejstvuje. Ishod svih tih događaja između 1923. i 1927. jeste da je atom shvaćen. Doduše, u onim vremenima pre kompjutera, samo najjednostavniji atomi - vodonik, helijum, litijum i neki kojima je jedan ili više elektrona otrgnuto (pa su jonizovani) - mogli su biti proučavani kako valja i treba. Glavni prodor u ovom poslu postigao je Wolfgang Pauli, jedan od tih 'vunderkinda' koji su sa devetnaest godina razumeli teoriju relativnosti i pretvorili se u 'anfan teribl' za starije državnike fizike.

Ovde je neizbežna digresija o Pauliju. Poznat je bio po svojim visokim merilima, ali i po sklonosti da se razbesni. Bio je prava savest fizike onog vremena. Ili, naprosto, iskren čovek? Ejbraham Pejz je prijavio da mu se Pauli jednom prilikom žalio kako mu nije lako da pronađe dovoljno izazovan problem kome bi se posvetio: "Možda zato što suviše znam." Nije to bilo hvalisanje, nego, naprosto, saopštavanje činjenice. Možete zamisliti kako je tvrd bio prema svojim asistentima. Kad mu se jedan novi mladi asistent, Viktor Vajskopf (Victor Weisskopf), javio na dužnost, u Cirihu, Pauli ga je odmerio pogledom od glave do pete, odmahnuo glavom i rekao: "Ahhh, tako mlad, a već nepoznat." Prođe nekoliko meseci, a Vajskopf preda Pauliju jedan svoj pokušaj teorijskog rada. Pauli samo baci pogled i odmah kaže: "Ah, ovo nije čak ni pogrešno!" Jednom studentu na postdoktorskim studijama je rekao: "Ne smeta meni što mislite sporo. Smeta mi što objavljujete brže nego što mislite." Niko nije bio bezbedan od Paulija. Kad je preporučivao jednog momka da postane asistent Ajnštajnu, koji se, u starosti, zadubio u matematičku egzotiku u svom neuspešnom traganju za objedinjenom teorijom polja, Pauli je napisao ovakvo propratno pismo: "Dragi Ajnštajne, ovaj student je dobar, ali još nije sasvim shvatio razliku između matematike i fizike, a ti si, dragi Majstore, odavno zaboravio gde je jasna granica." Tako je umeo da 'skreše' naš momak Wolfgang.

Godine 1924. Pauli je predložio jedno temeljno načelo kojim je objašnjena Mendeljejevljeva periodna tablica elemenata. Problem je u sledećem: atome težih hemijskih elemenata izgrađujemo tako što dodajemo jezgru nove pozitivne čestice (protone), a elektronskom omotaču nove elektrone koji moraju zauzeti neka mesta među dozvoljenim energetskim stanjima, to jest nivoima tog atoma (po starom, klasičnom načinu govora: neke orbite). Kuda odlaze elektroni? Pauli je objavio pravilo koje je postalo poznato kao Paulijevo načelo isključenja: nikada ne mogu dva elektrona zauzimati isto kvantno stanje. Ovo je u prvi mah bilo samo Paulijevo nadahnuto nagađanje, a kasnije se pokazalo da je posledica jedne duboke, predivne simetrije.

Da pogledamo kako Božić Bata, u svojoj radionici, pravi hemijske elemente. Mora ih napraviti valjano, jer radi za Nju, Boginju, a Ona je mnogo nezgodna. Za vodonik je lako. Božić Bata uzme jedan proton - eto jezgra. Doda i jedan elektron, koji zauzme najniže moguće energetsko stanje - po staroj Borovoj teoriji (koja i danas ostaje korisna, u smislu slikovitosti) to bi bila orbita sa najmanjim dozvoljenim poluprečnikom. Deda Mraz

ne mora ovde naročito da se trudi: dovoljno je da samo otprilike baci elektron negde blizu protona, a elektron će onda, sam od sebe, 'skočiti' na to najniže, 'prizemno' stanje; usput će emitovati fotone. E, sad, helijum. Deda Mraz sastavlja jezgro atoma helijuma, u kome postoje dva pozitivna naelektrisanja. Znači, on mora da ubaci i dva elektrona. Već kod litijuma moraće da ubaci ne dva, nego tri elektrona, da bi dobio električno neutralni atom. Pitanje je kuda odlaze ovi elektroni. U kvantnom svetu dopuštena su samo izvesna tačno određena stanja. Da li se na najnižu orbitu ('osnovno stanje') naguraju svi: dva elektrona, tri, četiri pet...? Tu sad na pozornicu stupa Paulijevo načelo. Ne mogu svi, kaže Pauli. Ne mogu čak ni dva elektrona biti u istom kvantnom stanju. Kod helijuma, drugom elektronu jeste dopušteno da se pridruži prvome na najnižem energetskom nivou, ali samo ako ima spin suprotan spinu prvoga. Ako pravimo atom litijuma, dodamo treći proton i treći elektron; e, taj treći nema dozvolu da se ukrca u najniže stanje, on se mora odmah popeti na ono sledeće, više. Pokazuje se da taj viši energetski nivo ima mnogo veći poluprečnik (opet u skladu sa Borovom teorijom), čime je objašnjena litijumova hemijska aktivnost - naime, lakoća kojom može taj svoj treći elektron da izgubi da bi stupio u hemijska jedinjenja sa drugim hemijskim elementima. Posle litijuma imamo atom sa četiri elektrona, berilijumov. Kod njega se četvrti elektron pridružuje trećem elektronu i njih dvojica zajedno čine drugu 'ljusku', to jest drugi sloj - drugi energetski nivo.

Sad veselo idemo dalje, i to se brzo nakarika: berilijum, bor, ugljenik, azot, kiseonik, fluor, neon... dodajemo protone u jezgro, ali i elektrone u omotač, sve dok svaki sloj ne bude popunjen. A kad je jedan sloj popunjen, u njega ne može stati više nijedan elektron, kaže Pauli. Mora biti započeto popunjavanje novog, sledećeg. Najkraće rečeno, pravilno pojavljivanje hemijskih osobina i ponašanja potiče u celosti od ovog kvantnog nadodavanja jednog po jednog elektrona, po Paulijevom načelu. Pre samo nekoliko decenija naučnici su se rugali insistiranju Mendeljejeva da elementi moraju biti poređani ne samo u redove, nego i u stupce, u skladu sa njihovim osobinama. Pauli je pokazao da su te periodičnosti njihovih osobina tačno povezane sa raznim elektronskim slojevima i kvantnim stanjima elektrona: u prvi sloj mogu stati dva elektrona, u drugi osam, u treći opet osam i tako dalje. Periodna tablica je zaista sadržala dublji smisao.

Da rezimiramo ovu važnu misao. Pauli je smislio novo pravilo o načinu na koji hemijski elementi menjaju svoju elektronsku strukturu. Ovo pravilo objašnjava hemijske odlike (da li će neki element biti inertni gas, ili aktivan metal i tako dalje) tako što te odlike čvrsto povezuje sa brojem i stanjem njegovih elektrona, a naročito onih u spoljašnjem sloju gde oni najspremnije stupaju u dodir sa drugim atomima. Jedna dramatična posledica Paulijevog pravila sastoji se u tome što kad je jedan elektronski sloj pun, u njega ne možeš dodati još jedan elektron - nikako. Oni koji su se već nastanili unutra i popunili ga, pružaju ogroman otpor. To je pravi uzrok neprobojnosti materije. Atomi jesu više od 99,99% prazan prostor, pa ipak, ja imam stvarni problem kad god pokušam da se prošetam kroz neki zid. I vama je to verovatno izvor strašnog osećanja uskraćenosti. A zbog čega ne uspevam da prođem kroz zid? Kod čvrstih predmeta, atomi su 'prikačeni' jedan za drugi, veoma složenim električnim privlačenjima, pa kad se sistem elektrona tvog tela približi elektronima koji čine atome u sistemu zida, oni mu ne daju da prođe, opiru se nametanju novih elektrona. Puščani metak se zarije u taj isti zid zato što raskida veze kojima su atomi za atome prikačeni; kao najkрупniji ragbista, raskrči sebi put, porazbaca one koji mu smetaju i prođe, noseći svoje sopstvene elektrone sa sobom. Paulijevo načelo je od presudnog značaja i u nekim bizarnim i romantičnim sistemima kao što su neutronske zvezde i crne rupe. Nego, skrenuo sam s teme.

Kad shvatimo atome, onda nam je jasno i njihovo kombinovanje u molekule, recimo u H<sub>2</sub>O ili u NaCl. Molekuli nastaju delovanjem kompleksa sila između atoma koji će ući u njihov sastav, i to između njihovih elektrona, kao i njihovih jezgara. Da bi molekul bio stabilan, od ključnog značaja jeste tačan aranžman elektrona u omotačima atoma. Kvantna teorija dala je hemiji čvrstu naučnu osnovu. Danas je kvantna hemija bujno polje koje se naglo razvija; iz nje izrastaju nove naučne discipline kao što su molekularna biologija, genetski inženjering i molekularna medicina. U nauci o materijalima, kvantna teorija nam pomaže da objasnimo i kontrolišemo odlike metala, izolatora, superprovodnika i poluprovodnika. Poluprovodnici su doveli do otkrića tranzistora, čiji su

pronalazači bez oklevanja priznali da su nadahnuće dobili iz kvantne teorije metala. Iz tog otkrića rodili su se kompjuteri, mikroelektronika i sva ova revolucija u komunikacijama i informacijama. A pomislite samo na lasere i masere, koji su potpuno kvantni sistemi.

Kad su naša merenja dosegla u atomsko jezgro - dakle, u razmere razdaljina 100.000 puta manje nego što je prečnik atoma - kvantana teorija nam je bila glavni alat za snalaženje u tom novom režimu. U astrofizici, zvezdani procesi daju mnoge egzotične objekte kao što su sunca, a među njima i crveni džinovi i beli patuljci; zatim, neutronske zvezde; pa crne rupe. Biografije tih predmeta zasnivaju se na kvantnoj teoriji. A kad je reč o društvenoj korisnosti, procenjujemo da oko 25 posto ukupnog nacionalnog dohotka najrazvijenijih zemalja proističe iz eksploatacije kvantne teorije. Zamislite samo, evropskih fizičara ima toliko koliko ih ima, i oni misle, misle, opsednuti pitanjem kako atom deluje; iz njihovog truda proističe privredni uspeh, hiljade milijardi dolara novog dohotka... Da su samo države bile mudre i dalekovidne, pa da su nametnule porez od samo 0,1% na sve proizvode kojih ne bi bilo bez kvantne fizike i da su prikupljene pare usmerile u obrazovanje i naučno istraživanje... Ništa, idemo mi dalje. Kvantna fizika zaista uspešno radi.

3. Ona ima problemčice. Koji su u vezi sa talasnom funkcijom ( $\psi$ , ili  $y$ ) i onim što ta funkcija stvarno znači. I posle toliko ogromnih intelektualnih i praktičnih trijumfa talasne teorije, mi ne znamo, baš, šta ta teorija znači. Osećamo se nelagodno zbog nje. Naša nelagodnost možda je posledica neke urođene slabosti ljudskog uma; opet, nije nemoguće da će se jednog dana došetati neki genije sa novom slikom i objasniti sve na takav način da će svi biti srećni. Ako ste sumnjičavi i zabrinuti zbog onoga što kvantna teorija kaže, ne brinite. U dobrom ste društvu. Kvantna teorija je uznemiravala i fizičare, među njima i Planka, Ajnštajn, De Brojlija, Šredingera...

Postoji bogata literatura u kojoj se kritikuje priroda kvantne teorije zasnovana na verovatnoći. U ovu bitku jurio je Ajnštajn ispred svih, kao barjaktar; preduzeo je on dugi niz pokušaja (ne lakih za razumevanje) da sruši relacije o neodređenosti, i svaki put ga je sapleo Nils Bor, koji je razvio ono što danas nazivamo 'kopenhagensko tumačenje' talasne funkcije. Bor i Ajnštajn stvarno su oko ovoga vodili rat, bespoštedno. Ajnštajn smisli neki misaoni opit koji treba da poleti kao strela i zarije se u srce nove kvantne teorije; a Nils Bor, najčešće posle samo jednog vikenda napornog rada, pronađe grešku u Ajnštajnovoj logici. Ajnštajn je tu bio onaj problematični iz publike koji stalno nešto osporava. (Takvi na časovima hrišćanske veronauke pitaju: "Ako Bog može sve, može li i da napravi stenu tako tešku da čak ni on sam ne može da je podigne?") E, tako je Ajnštajn smišljao sve nove i nove kvantne paradokse, a Bor je bio onaj pop koji odbija svaku takvu primedbu.

Priča se da su mnogo puta raspravljali šetajući se, njih dvojica sami, po šumi. Znam šta je bilo jednom kad se ispred njih pojavio ogroman medved. Bor je odmah izvukao par 'ribok' patika za trčanje (to su one što koštaju 300 dolara), obuio ih i počeo da vezuje pertle. "Šta to radiš, Nilse? Znaš da ne možeš trčati brže od medveda", ukazuje Ajnštajn logično. "Ah, nije neophodno da ja trčati brše od metveta, dragi Albehr", uzvraća Nils Bor. "Dovoljno da ja trčati brše od tebe."

Godine 1936. Ajnštajn je priznao, nerado, da kvantna mehanika korektno opisuje sve moguće opite, ili bar sve koje mi možemo zamisliti. Odmah je, međutim, prešao u 'drugu brzinu' i izjavio da kvantna mehanika nikako ne može biti potpuni opis sveta, bez obzira na to što tačno daje verovatnoću za ishod svih budućih opita. Borova odbrana bila je da ta nepotpunost koja Ajnštajna zabrinjava nije posledica nikakve slabosti niti nedostatka kvantne teorije, nego je odlika ovog sveta u kome živimo. I tako su njih dvojica nastavila raspravu o kvantnoj mehanici, bukvalno do groba; siguran sam da oni i sad o tome raspravljaju, tamo gore, osim ako im je 'Matori' (tako je Ajnštajn nazivao Boga) otkrio, u nekom nastupu dobrote, tačno rešenje.

Bilo bi potrebno nekoliko ovakvih knjiga da bi se prepričale sve rasprave Ajnštajna i Nilsa Bora, ali ja ću pokušati da ilustrujem stvar samo jednim primerom. Samo ne gubite iz vida osnovno Hajzenbergovo uverenje: nikada ne može uspeti nijedan pokušaj da jednovremeno izmerimo gde neka čestica jeste i kojom se brzinom kreće. Smisli način da izmeriš gde je elektron, izmeri to; nema problema, on je tu. Možeš izmeriti koliko god

hoćeš tačno. Ili se opredeli za ono drugo - da utvrdiš koliko brzo se kreće. Ali da utvrdiš oba, to ne može. Šta je stvarno - dakle, stvarnost koju razna merenja otkrivaju - to zavisi od strategije za koju se eksperimentator opredeli. Tu, vidite, vlada subjektivnost koja prkosi našem dragom verovanju u uzroke i posledice. Ako elektron krene iz A i stigne u B, nama se čini da je 'prirodna' pretpostavka da je on stvarno leteo nekom određenom putanjom između A i B. Ma, nije, kaže nam kvantna fizika. Putanja je nesaznatljiva. Sve putanje su moguće. Svaka ima neku svoju verovatnoću, veću ili manju.

U naporu da razotkrije lažnost ove kvantne zamisli o putanji koja kao da je avetinjska (a ne stvarna), Ajnštajn je predložio jedan presudni opit. Nemam ovde mesta da ga objasnim onako detaljno kako to on zaslužuje, ali prepričaću najsažetije. Danas se kaže da je to 'misaoni opit EPR', što su prva slova od prezimena trojice fizičara koji su ga zajedno smislili (Einstein, Podolsky, Rosen). Njih trojica predložiše opit sa dve čestice, ali takve čija je sudbina međusobno neraskidivo vezana. Postoje metodi za stvaranje dve čestice koje se razlete na dve strane, a ipak, ako jedna ima spin nagore, druga mora imati spin nadole, ili, ako jedna ima spin nalevo, druga mora nadesno. Pošaljemo mi jednu od te dve putanjom ka Tajlandu, i ona odjuri u glavni grad - Bangkok. Drugu pošaljemo u Čikago. Ajnštajn kaže: u redu, hajde, neka i prihvatimo zamisao da ni o jednoj čestici ništa ne možemo znati dok je ne izmerimo. Važi, evo, merimo česticu A koja je doletela u Čikago. Otkrivamo: ona ima spin nadesno. Samim tim znamo da čestica B, koja upravo pristize u Bangkok, ima spin nalevo. Pre nego što smo izmerili u Čikagu, verovatnoća za B bila je 50% da ima spin nalevo i 50% da ima spin nadesno. Sad, posle merenja u Čikagu mi znamo da B ima spin nalevo. Ali kako je čestica B saznala ishod merenja u Čikagu? Čak i kad bi čestica B nosila sa sobom mali radio-aparat, da sluša vesti, ipak bi vestima trebalo neko vreme da stignu u Bangkok zato što se radio-talasi prenose samo brzinom svetlosti, a ne trenutno. Pa kakav je onda to mehanizam komunikacije koji nije čak ni toliko pristojan da se kreće brzinom svetlosti? Ajnštajn je rekao da je to 'sablasno delovanje na daljinu'. Zaključak opita EPR bio bi da se samo na jedan jedini način može objasniti veza između onog što se desilo čestici A (naše merenje se njoj desilo) i reakcije čestice B na to; a taj način je da se otkriju još neke istine o dejstvovanju materije, neke pojedinosti koje nam kvantna teorija ne može dati. "Eto ti!" povikao je Albert, "kvantna mehanika je nepotpuna!"

Kad je Ajnštajn tresnuo protivnika ovim EPR problemom, čak i saobraćaj u Kopenhagenu bio je obustavljen dok je Nils Bor mozgao o mogućem odgovoru. Hm, Ajnštajn pokušava da zatraži da se ispod Hajzenbergove neodređenosti otkrije nešto još istančanije; on insistira na tome da se izmeri i ona druga čestica, da? Posle nekog vremena Bor je uzvratio ovako: ne možemo da gledamo zasebno događaje kod A, događaje kod B i posmatrača; nego je sve to jedan sistem, u kome se nalaze i A i B i posmatrač. Ovo je holistički odgovor sa prizvukom istočnjačkog mističizma; do danas je napisano mnogo (i premnogo) knjiga o tim vezama. Pitanje je da li čestica A i posmatrač (ili detektor) A imaju stvarno ajnštajnovsko postojanje ili su beznačajni duhovi-posrednici pre merenja. Ali postignut je i u ovoj oblasti presudan teorijski napredak i (aha!) izveden je blistav opit.

Zahvaljući teoremi koju je 1964. godine razvio teoretičar elementarnih čestica po imenu Džon Bel (John Bell), postalo je jasno da se jedan preinačeni oblik misaonog EPR opita može stvarno izvesti u laboratoriji. Bel je smislio opit u kome možemo da predskazemo različite obime korelacije između ponašanja čestice A i čestice B, u zavisnosti od toga da li je tačno Ajnštajnovsko ili Borovo uverenje. Belova teorema je danas prerasla maltene u kult, možda i zato što dobro stane na majicu. Postoji bar jedan ženski klub, mislim da je u Springfildu, čije se članice sastaju svakog četvrtka posle podne da raspravljaju o Belovoj teoremi. Mnogi su, čak, na Belovo nezadovoljstvo i ljutnju, pozdravili tu teoremu kao 'dokaz' postojanja nekakvih paranormalnih pojava.

Belova zamisao nadahnula je niz opita, stvarno izvedenih, među kojima je najuspešniji bio onaj koji su preduzeli Alan Aspekt (Alan Aspect) i njegove kolege godine 1982. u Parizu. Taj opit je, u suštini, merio koliko puta se rezultati zabeleženi na detektoru A podudaraju sa onima na detektoru B, a detektorom se ustanovljavao levi i desni spin; dakle, koliko puta se dogodilo da budu izmereni levi i levi, ili desni i desni.

Belova analiza omogućila nam je da predvidimo koliko će ova korelacija biti velika ako je ispravno Borovo tumačenje po kome je kvantna teorija već sad sasvim upotpunjena, najpotpunija što može ikad biti, a koliko će biti velika ako je u pravu Ajnštajn sa svojom tvrdnjom da moraju postojati i neki skriveni promjenljivi činioci koji, ipak, odlučuju o korelaciji. Opit je jasno pokazao da je Bor bio u pravu, a Ajnštajn ne. Znači, svi su izgledi da čestice koje se nalaze na velikim udaljenostima jedna od druge jednostavno imaju neke svoje istovremenosti, korelacije, naprosto zato što... naprosto zato što priroda tako djeluje.

Šta, pitate da li je time ova rasprava okončana? Nije. Ni utišana, čak. Ona besni punom žestinom i danas.

Još jedno od opasnih mesta gde se 'aveti' kvantne jeze visoko uzdižu oko nas jeste ono (i mesto i vreme) gde je Vaseljena stvorena. U najranijim fazama svog nastanka, Vaseljena je bila subatomska malena, pa je kvantna fizika važila za celokupni kosmos odjednom. Znači, da vam ja kažem, u ime moje i velikog broja drugih fizičara: ja ću se držati mog akceleratora i mojih istraživanja. Baš mi je drago što će se neko drugi baviti brigama oko tih konceptualnih temelja kvantne teorije.

Mi koji se ne upuštamo u takve podvige idemo samo svojim putem dalje, moćno naoružani Šredingerom, Dirakom i novijim jednačinama, a to su jednačine kvantne teorije polja. Put ka Božijoj čestici - ili bar početak tog puta - vidimo jasno.

## **Međuigra B: RAZIGRANI ŠUĆ-MUĆ MAJSTORI**

Tokom beskrajnog procesa stvaranja i vaskrsavanja poleta za izgradnju SSC-a (superprovodnog superkolajdera), posetio sam jednog dana kancelariju (onu u Vašingtonu) senatora Beneta Džonstona (Bennett Johnston), iz Luizijane. On je član Demokratske stranke. Njegova podrška bila je važna za sudbinu superkolajdera, za koji se očekuje da će koštati ukupno 8 milijardi dolara. Ovaj Džonston je, za jednog američkog senatora, čudan momak. Voli da razgovara o crnim rupama, o zakrivljenjima vremena i o drugim takvim pojavama. Čim sam ušao u njegovu kancelariju, ustao je iza radnog stola i protresao jednom knjigom prema mom licu. "Ledermene", reče on molećivim tonom, "imam mnogo pitanja za tebe o ovome." Knjiga je bila Razigrani vu-li majstori od Garija Zukava (Gary Zukav). Tokom našeg razgovora, neprestano je produžavao mojih 'petnaest minuta', tako da smo proveli jedan sat pričajući o fizici. Stalno sam vrebao na neki prolaz kroz koji bih mogao da ubacim temu zarad koje sam i došao, a to je zalaganje da treba dati državne pare za superkolajder. ("Kad već pomenusmo protone, imam ovu mašinu koja...") Ali Džonston je bio neumoljiv. Pričao je o fizici bez prestanka. Kad je njegova sekretarica ušla po četvrti put da nas prekine i da kaže koliko ljudi čeka napolju na zakazane razgovore, on se osmehnuo i rekao: "Vidi, znam zašto si došao. Da si mi izveo svoj promotivni nastup za kolajder, obećao bih da ću 'učiniti koliko mogu'. Ali ovo je bilo mnogo zabavnije! A uradiću stvarno koliko mogu." I uradio je, uistinu, poprilično.

Mene je tada pomalo uznemirilo to da jedan senator SAD, gladan znanja, zadovoljava svoju radoznalost knjigom tog Zukava. Tokom poslednjih nekoliko godina pojavio se znatan broj knjiga - jedna od njih je i Tao fizike - koje nastoje da objasne modernu fiziku u svetlosti istočnjačke religije i misticizma. Autori su skloni da zaključe, u svome zanosu i oduševljenom blaženstvu, da smo svi mi deo kosmosa i da je kosmos deo svih nas. Svi smo mi jedno! (Pazi, molim te. Pa zašto onda računati stižu svakom posebno?) Brinuo sam se zato što bi taj senator mogao izvući neke pogrešne poruke iz takvih knjiga neposredno pre jednog važnog glasanja o mašini od osam milijardi dolara, kojom treba da upravljaju fizičari. Doduše, Džonston je naučno pismen, a i poznaje mnoge naučnike.

Nadahnuća za takve knjige obično je kvantna teorija sa svojim avetnim tvrdnjama, koje su njen nerazdvojni, urođeni deo. Jedna knjiga, čiji naslov nećemo pomenuti, izlaže prilično trezveno objašnjenja o Hajzenbergovim relacijama neodređenosti, o misaonom opitu Ajnštajna, Podolskog i Rozena, kao i o Belovoj teoremi, a onda zaneseno jezdi dalje u 'tripove' LSD narkosa, u priče o kućnim duhovima (koji 'pomeraju predmete') i o davno umrlom entitetu koji se zove Seth i koji svoje zamisli saopštava ljudskom rodu tako što

preuzima komandu nad glasom i desnom šakom (koja drži olovku) izvesne Elmiere, domaćice u Njujorku. Očito, jedna od polaznih pretpostavki na kojima je zasnovana ova knjiga (i ne samo ova, nego mnoštvo drugih...) jeste sledeće: pošto je kvantna teorija tako sablasna, a naučno je istinita, zašto ne bi i sve druge sablasne priče bile naučno istinite?

Ne bi čovek normalno brinuo zbog takvih pisanija kad bi to ostajalo u onim delovima knjižara gde stoje natpisi 'religija', ili 'paranormalno', ili 'poltergajsti' ili već tako nešto. Na nesreću, prodavci knjiga često strpaju to u deo gde su knjige o nauci, verovatno zato što se u naslovu pojavi neka reč kao 'kvantno' ili 'fizika'. Onaj deo našeg naroda koji čita knjige dobija veliku i preveliku količinu informacija o nauci iz takvih dela. Ovde ćemo se zadržati na samo dve, najistaknutije među njima. To su Tao fizike i Razigrani..., obe objavljene u sedamdesetim godinama ovog veka. Budimo pošteni: knjigu Tao fizike napisao je Frithof Kapra (Fritjof Capra) koji je doktorirao fiziku na Bečkom univerzitetu; ona je mnoge ljude uvela u mnoga znanja o fizici, što je dobro. Slično je postigla i knjiga Razigrani... koju je napisao Gari Zukav, pisac. Niko njima dvojici ne zamera što pronalaze paralele između nove kvantne fizike i hinduizma, budizma, taoizma, zena, ili narodne kuhinje u kineskoj pokrajini Hunan, zašto ne. Kapra i Zukav su mnogo štošta rekli tačno. U obe te knjige ima lepog i dobrog pisanja o fizici, što im daje uverljivost. Na nesreću, oba ta pisca čine skok sa čvrstih, dokazanih naučnih istina na neke sasvim druge zamisli koje su izvan nauke, izvan fizike; skok, ili prelazak preko nekakvog mostića koji je krajnje klimav ili ga i nema.

U Razigranim..., na primer, Zukav lepo objašnjava slavni opit Tomasa Janga sa dva proreza. Ali onda se upušta u prilično bizarnu analizu rezultata. Kao što smo videli, pošto se dobija različit obrazac fotona (ili elektrona) na ekranu, u zavisnosti od toga da li je otvoren samo jedan prorez ili i onaj drugi, uporedni, u neposrednoj blizini njega, eksperimentator bi se mogao zapitati: "Pa kako čestica 'zna' koliko ima otvorenih proreza?" Ovo je, naravno, jedna neozbiljna, konverzaciona formulacija stvarnog pitanja, koje (naučno) glasi: koji mehanizmi dovode do tih pojava. Hajzenbergovo načelo neodređenosti, koje je u samom temelju kvantne teorije, kaže da ne možemo saznati kroz koji od ta dva otvora će se naša čestica, u svome zmijskom talasanju, prošunjati; ne možemo saznati, osim na neki takav način koji bi nam upropastio čitav opit. Strogost kvantne teorije je čudnovata, ali daje rezultate. A ta strogost zahteva da odbacimo pomenuto pitanje, da zaključimo da ono naprosto nije relevantno.

Međutim, Zukav izvlači sasvim drugačiju poruku iz opita sa dvostrukim prorezom: čestica zna da li je i onaj drugi prorez otvoren. Fotoni su pametni! Čekajte, tek postaje uzbudljivo. "Nema se kud, moramo priznati", piše Zukav, "da fotoni, koji su energija, po svemu sudeći obrađuju informacije, pa se i ponašaju u skladu sa onim što tako saznaju; prema tome, oni su, ma kako čudno to moglo zvučati, organska bića." Ovo je zabavno, možda ima čak i neke veze sa filozofijom, ali nauka svakako nije.

Paradoksalno, ovaj isti Zukav koji pripisuje fotonima svest odbija da prihvati da atomi postoje. Ovako piše Zukav: "Atomi ionako nikada nisu bili stvarni. Atomi su hipotetični entiteti, sazđani samo da bi se opitna opažanja nekako učinila shvatljivim. Niko nikad - nijedan čovek na svetu - nije video nijedan atom." Eto nam opet one stare dame u publici koja nam baca rukavicu izazova, pitajući: "A jeste Vi ikad vid'li atom?" Samo, ta dama je, ipak, voljna i da sasluša odgovor. Zukav sam odgovara, i to odrečno. Ali netačno, čak i ako usvojimo bukvalno značenje reči 'videti'. Jer posle izlaska njegove knjige iz štampe usavršen je skenirajući tunelski mikroskop zahvaljujući kome su mnogi ljudi videli atome i gledaju ih i sad. Znate, takav mikroskop pravi divne slike tih malih drugara - atoma.

Kapra je mnogo oštroumniji, on se uzdržava od preteranih zaletanja i u idejama i u jeziku kojim se služi, ali, u suštini, i on je jedan od nevernika nauke. Insistira da 'prosta mehanistička slika cigala koje samo treba slagati jednu na drugu' treba da bude napuštena. Počinje razumnim opisivanjem kvantne fizike, ali onda pravi razna složena proširenja, u kojima nema više ni traga od razumevanja kako se pomno moraju da spletu u jednu celinu opit i teorija, i koliko krvi, znoja i suza mora da se uloži u svaki naš bolni korak napred.

Površnost i nemarnost takvih pisaca odbija me, ali kad naiđem na škrabocije pravih šarlatana, isključim se potpuno. Zapravo, knjige Tao fizike i Razigrani vu-li majstori predstavljaju neki srednji teren, vredan izvesnog uvažavanja, između pravih knjiga o nauci i ludačkih rubova gde nadiru lažovčine i lopovčuge, šarlatani i mentalno poremećeni tipovi. Ljudi koji vam jemče da ćete živeti večno ako ne jedete ništa osim korenja biljke sumak. Ljudi koji javljaju da su vanzemaljci dolazili njima lično u posetu. Ljudi koji netačnost teorije relativnosti dokazuju pomoću sumerskih kalendara za poljoprivredne radove. Takvi zasipaju svojim manijačkim pismima časopis 'Njujork Inkvajerer', ali i svakog istaknutog naučnika. Većinom su to bezopasni otkačenjaci, kao ona dama od sedamdeset i nekoliko godina koja mi je javila na osam stranica gusto ispunjenih sitnim rukopisom o tome šta su joj sve pričali mali zeleni posetioци iz kosmosa. Ali nisu baš svi bezazleni. Jedan je potegao pištolj i ubio sekretaricu naučnog časopisa 'Revija za fiziku' zato što je redakcija odbila da štampa njegov članak, koji je bio nepovezano lupetanje svakojakih gluposti.

Važna poenta je, verujem, ovo: u svakoj disciplini, u svakoj oblasti ljudskog rada i truda, postoji neki 'establišment', neka grupa ljudi koji su na vlasti i čine deo društvenog sistema. Neka su to, u jednom slučaju, stari profesori fizike na prestižnim univerzitetima. U nekom drugom slučaju, to su, recimo, glavni bogataši u poslu proizvodnje i prodaje brze hrane. U trećem slučaju, stariji službenici američkog Udruženja advokata ili u Bratstvu poštara ili... nije bitno. Put ka napretku u nauci najbrži je kad neko uspe da poruši te džinove. (Znao sam da će ovde ispasti neka dobra pomešana metafora.) Zato željno tragamo za ikonoborcima, za buntovnicima koji su sposobni da bace bombu (ali samo intelektualnu...); za takvima traga čak i sam establišment nauke. Naravno, nijednom teoretičaru ne prija da gleda kako njegovu teoriju bacaju u kontejner za smeće; pojedini teoretičari skloni su možda da reaguju u prvom trenutku, čisto nagonski, kao političari suočeni sa narodnim ustankom. Ali tradicija zbacivanja ranijih učenja duboko je ugrađena u samo biće nauke. Sveta obaveza svakog naučnog establišmenta jeste upravo to da neguje i nagrađuje mlade i kreativne. (Najtužniji izveštaj koji možemo dobiti o nekom mladom kolegi glasi: nije dovoljno samo biti mlad...) Ova naša etika - koja kaže da treba biti otvoren prema mladosti, neortodoksnosti i pobuni - otvara, međutim, prolaz i raznim prevarantima i zabludelim osobama, a takvi umeju da se nameću naučno nepismenim ili nemarnim novinarima, urednicima i drugim čuvarima medijskih kapija. Neki prevaranti postigli su ogroman uspeh, kao, na primer, izraelski mađioničar Uri Geler (Uri Geller), ili pisac Imanuel Velikovski (Immanuel Velikovsky), ali nađe se među takvima i poneki doktor prirodnih nauka. (Ni Nobelova nagrada ne jemči da je neko u pravu, a kamoli doktorat.) Ima ljudi koji nam pokušavaju prodati baš potpuna lupetanja, 'šake koje vide', 'psihokinezu', 'kreacionizam', 'polivodu', 'hladnu fuziju' i mnoga druga prevarantska baljezganja. Uobičajena je kod takvih mangupa tvrdnja da establišment, koji se 'užirio' na položajima vlasti, moći i povlastica, sprečava da se dozna prava istina.

Naravno, moguće je da se takva sprečavanja, uistinu, dogode. Ali u našoj disciplini, fizici čestica, čak i članovi establišmenta ponekad žestoko napadaju isti taj establišment. Jedan od naših svetaca-pokrovitelja, Ričard Fajnmen, u svome eseju 'Šta je nauka?' upozorava studente: "Naučite iz nauke to da morate sumnjati i u ono što govore stručnjaci (...) Nauka je verovanje u neznanje stručnjaka." I dalje: "Svako pokolenje koje svojim iskustvom nešto otkrije mora to preneti dalje, ali preneti uz onu tananu ravnotežu poštovanja i nepoštovanja, tako da se trka nastavi, da na mlade ljude ne pređu u prevelikim količinama greške starijih, kruto prenete, ali ipak da pređu u dovoljnim količinama one pametne stvari koje im stariji imaju dati, nagomilana mudrost starijih; uz nju, opet, i svest da mudrost može biti lažna."

Ovaj rečiti pasus izražava nešto što je duboko usađeno u sve nas koji smo rabotali u vinogradima nauke. Naravno da ne može svaki naučnik ispoljiti onu sposobnost za kritiku, strast i perceptivnost koju je Fajnmen umeo da ispolji kad se povede rasprava o nečemu. U tome se naučnici razlikuju međusobno. Takođe je istina da mnogi naučnici shvataju sebe suviše ozbiljno. To onda nanosi štetu njima samima, jer oni gube sposobnost da kritički preispitaju sopstveni rad i, još gore, rad mladih ljudi koji im upućuju neki naučni izazov. Nijedna naučna disciplina nije savršena. Ali narod koji se ne



bavi naukom, dakle laička publika, retko kad uviđa sa koliko spremnosti, želje, čak sa koliko očajničkog priželjkivanja ukupna zajednica nauke pozdravlja dolazak svakog intelektualnog borca protiv starih ideja - samo, pod uslovom da on ili ona ima onu pravu robu, onu koja se traži.

Nije samo po sebi tragično to što aljkavi pisci pseudonauke brljaju koješta po hartiji. Niti to što će neki prodavac polisa za osiguranje u Vičiti, koji se dosetio gde je Ajnštajn pogrešio, napisati knjigu o tome i objaviti je o svom trošku. Nije tragično što će razni mutljaroši, spremni da učine bilo šta za šaku dolara, natrućati gomilu koještarija. Ima i biće Uri Gelera i Imanuela Velikovskih. Tragedija je što oni nanose štetu milionima ljudi, onima koji su lakoverni, a u nauku se ne razumeju. Tad narod počinje da kupuje 'moćne piramide', da daje čitava bogatstva za 'injekcije iz majmunskih žlezda', da grize koščice od kajsije; ima naroda koji je spreman da čini bilo šta i da pođe bilo kuda ako napred stupa vešt varalica koji svoje laprdanje premesti sa zadnjih vrata cirkuskih kola na neki popularan TV kanal i onda bez imalo stida i srama nudi svakojake palijativne prcaboce kao 'lek za sve', a u ime - nauke.

Zašto smo mi, a time hoću reći javnost, narod, tako ranjivi? Jedan moguć odgovor bio bi sledeći: narod se nelagodno oseća kad gleda šta nauka radi. Način na koji se nauka razvija i napreduje nije narodu dobro poznat. U javnosti se stiče utisak da je nauka nekakvo monolitno zdanje skovano od neumitnih pravila i verovanja. U medijima se stvara slika da su naučnici stisnute šonje u belim mantilima, stari i staromodni, fosilizovani branioci starog poretka stvari. Istina glasi da je nauka nešto mnogo fleksibilnije. Nauka se ne bavi podržavanjem status kvoa. Ona hoće revolucije.

## **PRVA TUTNJAVA REVOLUCIJE**

Kvantna teorija je laka meta za one pisce koji proglašavaju da je ona nešto srodno nekoj religiji ili misticizmu. Klasičnu njutnovsku fiziku često prikazuju kao bezbednu, logičnu i usklađenu sa čovekovom intuicijom. Onda naiđe kvantna teorija koja je kontraintuitivna i avetinjska, i 'zameni' njutnovsku. Teška je za razumevanje. Zvuči preteće. Jedno rešenje - predloženo u nekim od pomenutih knjiga - jeste to da se o kvantnoj fizici razmišlja kao o još jednoj religiji. Zašto ne smatrati da je ona samo novi oblik hinduizma (ili budizma i tako dalje)? Eto lepog načina da naprosto napustimo svaku logiku.

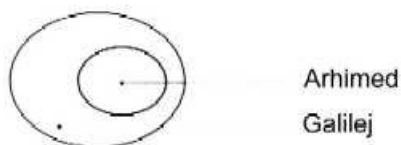
Međutim, može se stvar sagledati i ovako: kvantna teorija je, hm, nauka. A što se tiče onoga da neko nekoga zamenjuje, nemojte nasedati na to. Nauka ne baca na đubrište ideje vekovima stare tek tako, kako se nekome prohte. Naročito ne one ideje koje su uspešno deystvovala. Vredi ovde napraviti jednu malu digresiju i videti kako se dešavaju naučne revolucije.

Ne mora nova fizika uvek da potuče staru. Nauka je sklona da revolucije u sebi samoj izvodi konzervativno i ekonomično. Možda filozofske posledice mogu da 'obaraju s nogu', da bar prividno napuste staru mudrost koja je govorila kako svet deystvuje i tako dalje. Ali u konkretnoj stvarnosti nauke dogodi se ovo: stara dogma se proširi na nova područja.

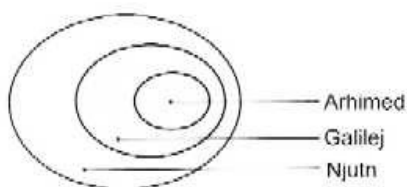
Pomislite na jednog antičkog Grka koji se zvao Arhimed. Godine 100. pre rođenja Hrista, taj je naučnik sazeo načela statike i hidrostatičke. Statika je disciplina koja proučava postojanost sklopova kao što su merdevine, mostovi i građevinski lukovi - najčešće nekih stvari koje je čovek načinio da mu život bude udobniji. Arhimed je radio i na hidrostatici koja govori o tečnostima i o predmetima koji plove po tečnosti, ili potonu, ili plove neko vreme uspravno, pa se onda izvrnu; o načelima plovnosti, zatim o razlozima zbog kojih bi normalan čovek mogao da počne da viče "Eureka! Eureka!" kad uđe u kadu punu vode i tako dalje. Te teme su i danas isto onako važne kao i pre dve hiljade leta - štaviše, način na koji im je Arhimed pristupao dobar je i danas.

Godine 1600, Galileo Galilej uzeo je da preispita zakone statike i hidrostatičke. Međutim, svoja merenja proširio je i na predmete u pokretu - na primer, lopte koje se kotrljaju niz nagnute žlebove, druge lopte koje neko pušta da padaju sa tornja, zatim na strune muzičkog instrumenta leuta, ali opterećene tegovima - a takve su se blago njihale

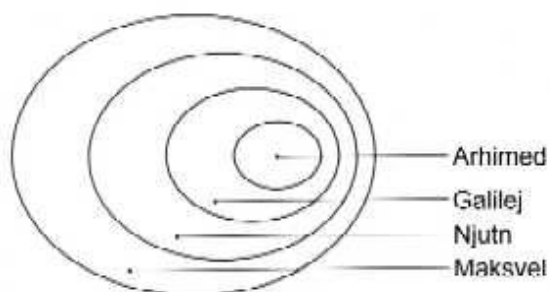
tamo-amo u radionici njegovog oca. Galilejev rad je obuhvatio i uključio u sebe Arhimedova dostignuća, ali je objasnio i mnogo više. Čak do objašnjenja za pojedine odlike površine Meseca, i čak do Jupiterovih prirodnih satelita dosegno je Galilejev rad. Nije Galilej pobedio i srušio Arhimeda. Obuhvatio ga je. Ako bismo hteli slikom da prikazemo šta se tu desilo, slika bi izgledala ovako:



Njutn je domašio mnogo dalje nego Galilej. Dodajući uzročnost, uspeo je da ispita naš planetni sistem, kao i dnevne plime i oseke. Njutnova sinteza uključila je nova merenja kretanja planeta i njihovih 'meseca' (prirodnih satelita). Ništa u Njutnovoj revoluciji nije bacilo ljagu na dostignuća Galileja, a ni Arhimeda, ali je ta revolucija proširila ono područje Vaseljene koje je dostupno našoj velikoj sintezi.

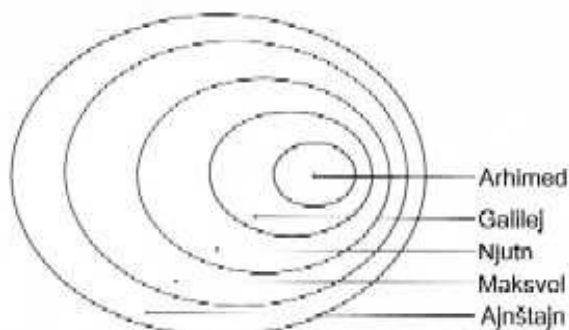


U osamnaestom i devetnaestom veku, naučnici su počeli da proučavaju jednu pojavu koja izlazi iz okvira svakidašnjeg ljudskog iskustva. Ona je dobila naziv elektricitet. Da bismo mogli da proučavamo elektricitet, morali smo prvo da ga sami proizvodimo, osim u jednom slučaju, a to je kad sevne munja - nesumnjivo zastrašujuća pojava. (Isto tako moramo danas da prvo proizvedemo neke čestice u našim akceleratorima, a tek onda da ih proučavamo.) Elektricitet je tad bio jednako egzotičan kao kvarkovi danas. Električna struja, napon, jačina, razna električna i magnetna polja, postepeno su shvatani. Čak i stavljeni pod kontrolu. Zakone elektriciteta i magnetizma proširio je i kodifikovao Džejms Maksvel. Ali su Maksvel, pa Hajnrih Herc, pa Guljelmo Markoni, pa Čarls Štajnmec (Charles Steinmetz) i mnogi drugi uvodili te zamisli i u praktičnu primenu, pa se ljudska životna okolina menjala. Nas, danas, elektricitet okružuje sa svih strana, komunikacije pucketaju u ovom vazduhu koji udišemo. Pa ipak, Maksvel je sa besprekornim poštovanjem gledao na sve svoje prethodnike.



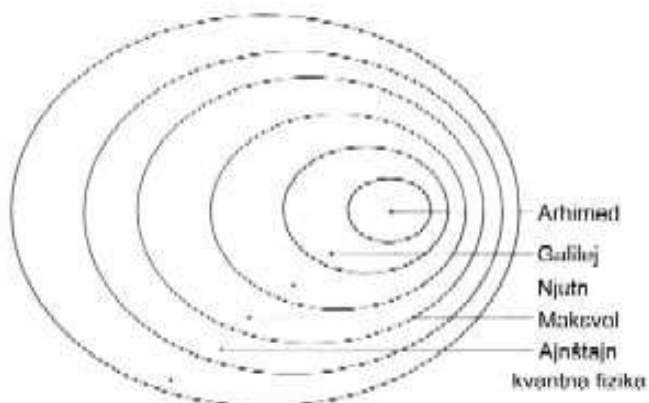
Posle Njutna i Maksvela nije imalo više šta da se traži u nekim prostorima 'izvan'. Da li će biti baš tako? Ajnštajn je usredsredio svoju pažnju na sam rub njutnovskog kosmosa. Njegove konceptualne zamisli otišle su veoma duboko; pojedini vidovi Galilejevih i Njutnovih verovanja uznemiravali su Ajnštajna i konačno ga naterali da

smisli odvažne nove premise. Područje njegovih posmatranja sada je obuhvatilo i neke stvari koje se kreću veoma brzo. Takve pojave nisu bile od značaja posmatračima pre godine 1900. Međutim, pošto su posle 1900. ljudi počeli da razgledaju atome, da prave nuklearne naprave i da zaviruju u najranija dešavanja pri postanku kosmosa, Ajnštajnova razmatranja stekla su veći značaj.



Ajnštajnova teorija gravitacije takođe je otišla dalje od Njutnove, uključila je i dinamiku Vaseljene (jer Njutn je verovao u statičnu Vaseljenu) kao i širenje Vaseljene iz jednog prvobitnog kataklizmičnog događaja. Pa ipak, kad primenimo Ajnštajnovu jednačinu na Njutnov svet, one daju njutnovske rezultate.

Znači, time je cela frka okončana, zar ne? Ne! Tek je trebalo da zavirimo u unutrašnjost atoma, a za to su nam bili neophodne zamisli koje će otići mnogo, mnogo dalje nego Njutn, zamisli neprihvatljive čak i samome Ajnštajnu. Sada smo morali da proširimo svoj svet nadole, u dubinu atoma, u jezgro atoma; taj put još nije pređen do kraja, izgleda da ima da se ide i dalje. (To jest, još dublje unutra.) Pa ipak, ništa u kvantnoj revoluciji nije nas navelo da prodamo Arhimeda neprijatelju, izdamo Galileja, opustošimo Njutna, obaspemo Ajnštajnovu relativnost blatom. Ne, nego smo ušli u jedan novi, drugačiji svet, pun sasvim novih pojava. Ustanovili smo da je Njutnova nauka tamo neprikladna; proticalo je vreme i jednog dana stiglo se do nove sinteze.



Pamtite šta smo ono rekli u petom poglavlju - da je Šredingerova jednačina stvorena da bi se ovladalo elektronima i drugim česticama, ali da, primenjena na loptice za bezbol i druge velike predmete, ona počne pred našim očima da se menja, menja i najzad se pretvori u  $F = ma$ ? (Ili, bar, u nešto sasvim blisko i slično tome.) Dirakova jednačina, ona koja je predskazala antimateriju, bila je 'eleganтно pročišćenje' Šredingerove, smišljeno da se uhvate 'brzi' elektroni, oni koji lete nekom brzinom koja je značajan deo brzine svetlosti. Pa ipak, kad Dirakovu jednačinu primenimo na spore elektrone, ona počne da se menja... i gle šta zuri u nas, Šredingerova jednačina. Doduše, magično proširena, jer u njoj sada postoji i spin elektrona. Jesmo li sad izgazili Njutna? Nismo. Ništa ni slično tome.

Možda ovaj marš napretka zvuči kao da je predivno delotvoran. Zato treba da napomenemo da u naučnom radu nastaju i ogromne količine škarta i rasipanja. Kad god, ovako radoznali i dovitljivi (i obilato finansirani iz budžeta ove naše savezne vlade), otvorimo za posmatranje neku novu oblast, iz našeg roga izobilja poteku bujice novih zamisli, teorija i sugestija, uglavnom pogrešnih. Vodi se borba za kontrolu najdalje dohvatljive granice znanja; pobednik bude, među zamislama, obično samo jedna. Sve ostale su gubitnici. One potonu u tamu. One ostaju samo fusnote u istoriji nauke.

Kako se dogodi revolucija? Tokom svakog razdoblja intelektualne smirenosti, kao što je bilo ono doba pod kraj devetnaestog veka, postoji i jedan skup pojava koje 'još nisu objašnjene'. Eksperimentatori se nadaju da će opaziti nešto pomoću čega može biti ubijena vladajuća teorija, pa da nova, bolja teorija zauzme njeno mesto, a novi ljudi steknu glavnu slavu. Ali to obično ne uspeva; pokaže se da su merenja bila netačna, ili da se novi tačni podaci mogu, ipak, objasniti domišljatom primenom stare teorije. Ipak, ponekad uspe. Uvek postoje tri mogućnosti: (1) pogrešni podaci; (2) stara teorija se žilavo brani i (3) potrebna je nova. Opiti čine da je nauka jedan vrlo živahan zanat.

A kad se revolucija u nauci dogodi, ona ne samo što proširi dohvat naučne misli nego, pokatkad, bitno utiče i na naš ukupan pogled na svet. Primer: Njutn ne samo što je dao opšti zakon gravitacije on je uveo i determinističku filozofiju koja je prinudila teologe da Bogu dodele sasvim novu ulogu. Njutnovske matematičke jednačine pokazale su da možemo odrediti budućnost svakog sistema ako znamo početne uslove. Suprotno od toga delovala je, čim je stupila na pozornicu, kvantna fizika, ona koja je primenljiva u svetu atoma; ublažila je determinizam. Dala je pojedinačnim atomskim događajima zadovoljstvo neodređenosti. Kretanja u nauci najnovijeg doba pokazuju da je čak i u svetu velikih predmeta Njutnov determinizam, zapravo, suviše idealistički prikaz onog što se stvarno zbiva. Mnoge pojave u makrosvetu sačinjene su od ogromnog broja malih sastavnih delova, na takav način uklopljenih u sistem da i najnezatnija promena u početnim uslovima može izazvati ogroman preokret u konačnom ishodu. Šta ćete jednostavniji sistem nego kad voda teče niz brdo, ili kad se dva klatna njišu jedno pokraj drugog; pa ipak, i tu se pokaže 'haotično ponašanje'. Sada postoji nauka o haosu, takozvana nelinearna dinamika, koja nam pokazuje da stvarni svet nije ni približno onoliko deterministički koliko se ranije mislilo.

To, međutim, nikako ne znači da su nauke i razni istočnjački misticizmi najednom otkrili da imaju mnogo zajedničkog. Nemaju. Ali ipak, ako vama lično neke verske metafore (date u knjigama autora koji porede novu fiziku sa istočnjačkim misticizmom) pomažu da se snađete u modernim revolucijama u fizici - koristite ih, zašto ne. Metafore, ipak, ostaju samo metafore. To su vrlo grube mape. Pozajmićemo jednu staru izreku: ne gubi nikad iz vida koliko se razlikuju mapa i stvarni teren. Fizika nije religija. Eh, kad bi bila, koliko bismo lakše pribavili pare.

## **6. AKCELERATORI: ATOME RAZBIJAJU, ZAR NE?**

SENATOR DŽON PASTORE: Postoji li, u vezi sa nadanjima da se ovaj akcelerator sagradi, išta što bi na ma koji način moglo uticati na bezbednost ove države?

ROBERT R. VILSON: Ne, gospodine. Mislim da ne postoji.

PASTORE: Baš ništa?

VILSON: Baš ništa.

PASTORE: Akcelerator je, sa tog stanovišta, potpuno bezvredan?

VILSON: Vrednost akceleratora samo je u onome zbog čega mi jedni druge poštujemo, u dostojanstvu čoveka, to je ono zbog čega volimo našu kulturu. Jesmo li dobri slikari, dobri vajari, veliki pesnici? Isto tako treba da se pitamo i kad je reč o ovom akceleratoru. Imam u vidu sve ono što je u ovoj zemlji predmet našeg ogromnog uvažavanja, počasti i rodoljublja. Akcelerator nema nikakve veze sa odbranom ove države, osim što čini da ju je vredno braniti.

Mi u Fermilabu imamo jednu tradiciju. Svakog 1. juna, bez obzira na to da li je sunčano ili pada kiša, tačno u 7 sati ujutro krenemo - celo osoblje, svi zaposleni - da

optrčimo, i to lakim trkom, jedan pun krug, šest i po kilometara, oko akceleratora. Trčimo uvek u onom smeru u kom antiprotoni ubrzavaju. Za to nam služi površinski put koji je tačno iznad tunela izgrađen, a koji, vidite, dobro dođe i kao staza za džoging. Moje poslednje nezvanično izmereno vreme bilo je 38 minuta. Sadašnji direktor Fermilaba, moj naslednik, Džon Pipls (John Peoples), kad je započeo svoje prvo leto na tom poslu, okačio je plakat kojim je pozvao osoblje da prvog juna potrči sa 'mlađim, bržim direktorom'. Bio je brži od mene, tačno, ali ni ja ni on ne možemo prestići antiprotone. Oni optrče jedan krug za 22 milionita dela sekunde, što znači da dok ja optrčim jedan pun krug, antiproton me prestigne oko 100 miliona puta - naime, on toliko puta optrči isti taj pun krug.

Antiprotoni na ovaj način svake godine ponize osoblje Fermilaba. Mi im se, međutim, osvetimo tako što im namestimo opite u kojima se oni moraju nabiti čeonice u mlaz protona koji stiže jednako zahuktano, ali iz suprotnog smera. Suština ovog poglavlja jeste: kako mi to teramo čestice da se sudaraju.

Naša rasprava o akceleratorima značiće prilično veliku promenu u ovoj knjizi. Sve dosad smo jurili kroz vekove naučnog napretka kao kamion koji se oteo kontroli. Sad nam predstoji da malo prikočimo. Nećemo više govoriti mnogo o otkrićima, pa ni o fizičarima, nego uglavnom o mašinama. Instrumenti su nerazdvojno povezani sa naučnim napretkom, još od Galilejevih strmih ravni, pa do Raderfordove scintilacione komore. A sada je na sredini pozornice jedan određen instrument. Nemoguće je razumeti poslednjih nekoliko decenija razvoja fizike bez razumevanja prirode akceleratora i raznovrsnih detektora čestica; jer to su glavni alati na ovom polju već četrdeset i više godina. A kad shvatimo akcelerator, ujedno smo naučili poprilično o fizici, jer u tu mašinu uključena su mnoga načela na čijem usavršavanju fizičari već decenijama mukotrpno rade.

Ponekad pomišljam da je Krivi toranj u Pizi prvi akcelerator čestica; jedan, da kažemo, (umalo) okomit linearni akcelerator koji je Galilej koristio u svojim raznim opitima. Međutim, prava priča počinje mnogo kasnije. Razvoj akceleratora proističe iz naše želje da siđemo u atom. Ako ostavimo Galileja po strani, istorija ovog posla počinje sa Ernestom Raderfordom i njegovim studentima, koji su, željni da istraže atom, postali majstori u korišćenju alfa-čestice.

Alfa-čestica je poklon koji smo od sudbine dobili. Kad se izvesni radioaktivni materijali spontano raspadaju, ispaljuju iz sebe ove teške čestice, pune energije. Alfa-čestica obično ima energiju od 5 miliona elektron-volti. Jedan elektron-volt (eV) jeste količina energije koju bi jedan jedini elektron dobio prelazeći u nekoj baterijskoj svetiljki (ako je umetnuta baterija sa naponom od 1 volt) iz negativnog pola baterije na pozitivni pol. Dok vi dogurate do kraja ovog poglavlja, i do kraja onog sledećeg, biće vam eV nešto vrlo dobro znano, nešto blisko, kao i centimetar, kalorija ili megabajt. Evo četiri skraćenice koje bi trebalo da poznajete pre nego što nastavimo:

KeV: hiljadu elektron-volti (K za kilo)

MeV: milion elektron-volti (M za milion)

GeV: milijardu elektron-volti (G za giga)

TeV: bilion elektron-volti (T za tera)

Posle TeV, pribegavamo notaciji sa stepenovanjem broja deset. Naravno  $10^{12}$  eV jednako je 1 TeV. Preko  $10^{14}$  eV naša tehnologija, sadašnja i svaka koju u doglednoj budućnosti možemo stvoriti, ne može da dobaci. Ostaju nam, tada, samo kosmički zraci, koji bombarduju našu planetu iz kosmosa. Oni su malobrojni, ali njihove energije dosežu sve do  $10^{21}$  eV.

Sa stanovišta fizike čestica, 5 MeV i nije nešto. Raderfordove alfe jedva su uspevale da se proguraju do jezgra atoma azota; bili su to možda prvi namerno izvedeni nuklearni sudari. Samo daleki nagoveštaji o onom svetu koji postoji unutra, u atomu, dobijeni su takvim sudarčićima. Kvantna teorija nas uči da što je manji objekt koji želimo da proučavamo, više energije nam je potrebno - to vam je ravno zaoštavanju Demokritovog noža. Ako hoćemo uspešno da seckamo jezgro, moramo da spremimo mnogo desetina, pa i mnogo stotina MeV. Što više, to bolje.

## **DA LI BOGINJA SVE OVO IZMIŠLJA U HODU?**

Jedna filozofska digresija. Kao što ću uskoro opisati, fizičari čestica su veselo gradili sve jače i jače akceleratorne, podstaknuti, kao i svi ostali sapiensi za sve što uopšte rade, radoznalošću, egom, željom da steknu moć, pohlepom, ambicijom... S vremena na vreme sastane se grupa nas, sednemo oko krigli piva i razmišljamo ovako: da li i sama Boginja zna šta će se roditi u našoj sledećoj mašinčini - na primer, u trideset-gigaelektronvoltnom 'čudovištu' čija se izgradnja bližila kraju godine 1959. u Brukhejvenu. Šta ako mi sami za sebe izmišljamo sve nove zagonetke, koje inače ne bi ni postojale, kad god postignemo nove, 'još nečuvenije' energije? Da li Boginja, Stvoriteljica, viri preko ramena nekog Gel-Mana, Fajnmena ili već nekog drugog svog omiljenog teoretičara i misli: "Baš se pitam šta će biti kad ovaj opali iz ove ogromne stvari?" Možda ona sazove dežurnu ekipu anđela - Njucu, Ajnštajnocu, Maksvelčeta - da ih pita šta treba da se desi kad šibnemo 30 GeV? Ovakva razmišljanja zasnivaju se donekle i na skokovitom razvoju (istorijski gledano) naše teorije: čini se kao da nadiremo sve dalje i dalje, a Ona svaki put smisli šta će. Međutim, napredak u istraživanju kosmičkih zraka brzo nas uveri da je to samo pričanje bez veze, onako preko piva, na početku vikenda. One naše kolege koje gledaju uvis uveravaju nas da u Vaseljenu ima 30 GeV koliko hoćeš, da se Vaseljena igra i česticama od 300 GeV, razbacuje se ona neštedimice i česticama od tri milijarde GeV. Kroz kosmički prostor plove takve astronomske energije. Osim toga, ono što je nama danas u nekoj laboratoriji, na Long Ajlendu, Bataviji ili Cukubi, egzotičan događaj koji se desi samo u jednoj infinitezimalno sitnoj tački sudara, to je u vreme neposredno posle rađanja Vaseljene bilo nešto najnormalnije i raslo je posvuda, kao zelenilo u komšijinoj bašti.

Dobro, da se vratimo mašinama.

## **ZAŠTO TAKO MNOGO ENERGIJE?**

Najmoćniji na svetu akcelerator danas je Tevatron u Fermilabu. On postiže sudare od oko 2 TeV, a to je 400.000 puta više energije nego što su imale Raderfordove alfe. Onaj naš budući superprovodni superkolajder predviđen je da postigne, kad ga dovršimo, nekih 40 TeV.

E, sad, 40 TeV zvuči kao veoma velika količina energije, a i jeste kad se sva skrka samo u sudar dve čestice. Ipak, dajte da sagledamo stvari u nekoj perspektivi. Kresnemo šibicu: tu nastane jedna hemijska reakcija u kojoj učestvuje oko 10<sup>21</sup> atoma, a svaki od njih sa oko 10 eV energije, dakle pri paljenju jednog jedinog palidrvca oslobodi se ukupna energija od približno 10<sup>22</sup> elektron-volti, a to je oko 10 milijardi TeV. Superkolajder će ostvarivati 100 miliona sudara u sekundi, po 40 TeV u svakom, to vam je ukupno samo 4 milijarde TeV. Vidite - superkolajder će biti slabiji nego jedna ukresana šibica! Štos je u tome što usredsređujemo tu energiju u samo nekoliko čestica, a ne u milijarde i milijarde i milijarde čestica, koliko ih ima u svakoj trunčici vidljive materije.

Ako obuhvatimo pogledom ceo jedan akceleratori kompleks - od elektrane, koja radi na naftu, pa preko kablova za dovod struje, do laboratorije u kojoj transformatori prebace tu električnu energiju u magnete i u radio-frekventne šupljine - sve to možemo da sagledamo kao jednu divovsku spravu za usredsređenje hemijske energije (uz vrlo nizak stepen iskorišćenja, to jest delotvornosti) u samo nekih tričavih milijardu protona u sekundi. Kad bi se makroskopska količina nafte (ova velika količina koju imamo u rezervoaru) zagrejala tako da svaki njen sastavni atom ima energiju od po 40 TeV, nastala bi temperatura od 4 x 10<sup>17</sup> stepeni Kelvinovih: četiri stotine miliona milijardi stepeni. Atomi bi se rastopili u svoje sastavne kvarkove. A takvo i jeste bilo stanje Vaseljene u trenu koji je nastupio nešto malo pre isteka prvog milionitog dela milijarditog dela sekunda posle Postanja.

Pa, šta radimo sa tolikom energijom? Kvantna teorija zahteva sve moćnije i moćnije akceleratorne da bismo proučavali sva manje i manje stvari. Evo jedne tablice koja

pokazuje približno koliko nam je energije potrebno da bismo 'rascopali' razne zanimljive strukture i zavirili u njih:

**ENERGIJA (približno) VELIČINA STRUKTURE**

0,1 eV molekul, veliki atom, 10<sup>-8</sup> metara

1,0 eV atom, 10<sup>-9</sup> m

1.000 eV atomsko jezgro 10<sup>-11</sup> m

1 MeV debelo jezgro 10<sup>-14</sup> m

100 MeV nuklearno jezgro 10<sup>-15</sup> m

1 GeV neutron ili proton, 10<sup>-16</sup> m

10 GeV kvarkni efekti 10<sup>-17</sup> m

100 GeV kvarkni efekti (sa više pojedinosti) 10<sup>-18</sup> m

10 TeV Božija čestica? 10<sup>-20</sup> m

Primećujete kako je predvidljivo da svaki put energija postaje sve veća, a razmere posmatranog predmeta sve manje. Takođe zapažate da vam je dovoljan i samo 1 elektron-volt da proučavate atome, a bez 10 milijardi elektron-volti ne možete ni početi da proučavate kvarkove.

Akceleratori su kao mikroskopi kojima se biolozi služe da izučavaju sve sitnije i sitnije stvari. U običnom mikroskopu koristi se svetlost koja obasjava, recimo, jedno crveno krvno zrnce. Videćemo njegovu strukturu. Ali postoje i elektronski mikroskopi (lovci na mikrobe ih vole) koji su moćniji upravo zato što je energija elektrona veća nego energija svetlosti u optičkom mikroskopu. Osim toga, talasna dužina tih elektrona tako je mala, da biolozi mogu 'videti' čak i molekule od kojih je crveno krvno zrnce sačinjeno. Talasna dužina onih predmeta kojima bombardujemo posmatranu stvar određuje koliko ćemo sitne pojedinosti moći da 'vidimo' i proučimo. U kvantnoj teoriji znamo da što je kraća talasna dužina, veća je energija; tabela koju smo upravo dali prikazuje, naprosto, tu vezu.

Godine 1927. Raderford je, držeći govor u britanskom Kraljevskom društvu, izrazio nadu da će naučnici jednog dana naći načina da ubrzavaju čestice do energija većih od onih koje nastaju pri radioaktivnom raspadanju. Predvideo je da će biti pronađene mašine sposobne da generišu milione volti. Ovo je bilo potrebno iz još jednog razloga, a ne samo zbog energije projektila; fizičarima je bilo neophodno da zasipaju metu većim brojem projektila. Tačno je da priroda pruža izvore alfa-čestica, ali ti izvori nisu naročito izdašni: nije bilo moguće usmeriti više od milion čestica u sekundi na metu površine jedan kvadratni centimetar. Milion, to zvuči kao nešto mnogo, ali jezgra zauzimaju samo stomilioniti deo površine mete. Treba ti bar hiljadu puta veći broj čestica (dakle, na metu treba da ispališ bar milijardu čestica u sekundi), a, osim toga, neophodno je, kao što smo već rekli, da svaka od tih čestica ima veću energiju, neke milione eV (fizičari nisu bili sigurni koliko miliona eV) da bi se jezgra mogla uspešno pogađati, ali i proučavati. Potkraj dvadesetih godina ovog veka činilo se da je to zastrašujući zadatak - pa ipak, fizičari u mnogim laboratorijama bacili su se na posao ne bi li nekako počeli da rešavaju taj problem. Usledila je trka: ko će pre napraviti mašinu u kojoj bi se čestice proizvodile u neophodnom broju (a to znači u ogromnom mnoštvu) i onda ubrzavale do barem jednog miliona volti. Pre nego što vidimo kako se u toj tehnologiji napredovalo, da razjasnimo prvo neke osnovne stvari.

**RAZMAK**

Fizika ubrzavanja čestica jednostavna je za objašnjavanje. (Da, da. Veoma jednostavna.) Idi kupi bateriju u nekoj prodavnici i poveži njena dva pola (a to znači njena dva naelektrisana izlaza, plus i minus) sa dve metalne ploče. Samo da znaš, sad i za te dve ploče kažemo takođe da su polovi. Neka je rastojanje između te dve ploče, recimo, trideset centimetara. E, to rastojanje naziva se Razmak - dakle, zjapeća praznina između dva pola. Uхвати neku veliku teglu i zatopi ove dve ploče unutra, a onda iz tegle isisaj sav vazduh. Organizuj opremu tako da neka naelektrisana čestica - glavni projektili

su elektroni i protoni - može slobodno da leti kroz Razmak. Elektron, koji je negativno naelektrisan, vrlo rado će pojuriti prema pozitivnom polu (pozitivnoj ploči). Čineći to, dobiće energiju koja iznosi... čekaj da pogledamo šta piše na bateriji... 4,5 eV. Znači, Razmak proizvodi ubrzanje. Ako pozitivni pol nije čvrsta ploča nego žičana mreža, većina elektrona će projuriti kroz mrežu, stvarajući tako usmereni mlaz elektrona koji svi imaju energiju od po četiri i po elektron-volta. Nema sumnje da je 1 eV zaista vrlo mala količina energije. Pa i naša četiri i po eV je malo. Nama treba milijardu volti, ali u samoposluzi ne prodaju baterije od milijardu volti. Niti takve postoje. Baterija je sprava koja radi pomoću hemije, a za neke ogromne napone moramo se poslužiti sasvim drugim sredstvima, ne hemijskim. Ali bez obzira na to da li govorimo o ovom našem maleckom akceleratoru od 4,5 elektron-volti, ili o onom koji napraviše Kokroft (Cockroft) i Volton (Walton) u dvadesetim godinama ovog veka, ili o superkolajderu sa kružnim tunelom dugačkim 84 kilometra, osnovni mehanizam je uvek isti: postoji Razmak, čestice ga preleću, i čineći to, dobijaju veću energiju.

Akcelerator uzima normalne čestice, one koje se ponašaju kako im i dolikuje, a onda im dodaje još energije. Kako dobijamo čestice? Za elektrone je lako. Užarimo neku žicu - elektroni samo pohrle iz nje, na sve strane. I protone je lako nabaviti. Proton je jezgro vodonikovog atoma (vodonikovi atomi u svom jezgru nemaju nijedan neutron), pa prema tome treba samo da kupimo od neke fabrike bocu vodonika u gasovitom stanju: to se prodaje kao i svaka druga roba. Možemo mi da ubrzavamo i mnoge druge čestice; ali one moraju biti stabilne, što znači - moraju imati dug život, jer ubrzavanje je proces koji prilično dugo traje. Osim toga, one moraju biti naelektrisane, jer Razmak, naravno, ne bi nimalo ubrzavao česticu koja je neutralna. Glavni kandidati za ubrzavanje su, osim elektrona i protona, još i pozitron (a to je antielektron, pozitivni elektron) i antiproton. Možemo ubrzavati i jezgra teža od vodonikovog, recimo deuteron ili alfa-česticu; to se i radi, za posebne svrhe. Na Long Ajlendu, u Njujorku, u toku je izgradnja neuobičajene mašine koja će ubrzavati jezgra urana do brzine od nekoliko milijardi elektron-volti.

## **PONDERATOR**

Šta tačno bude sa česticom u akceleratoru? Lak ali nepotpun odgovor glasi da ta čestica-srećnica pojuri brzo i nastavi da juri sve brže. U ranim danima ovog posla to je bilo dovoljno objašnjenje. Ali bolji je opis ako kažemo da se povećava energija čestice. Kad su naučnici počeli da prave moćne akcelatore, brzo su postignute brzine bliske onoj najvećoj mogućoj, a to je brzina svetlosti. Ajnštajnova posebna teorija relativnosti, objavljena 1905. godine, tvrdi da se ništa nikad ne može kretati brže od svetlosti. Zbog teorije relativnosti, reč 'brzina' nije mnogo korisna u ovom poslu. Recimo da neka stara mašina ubrzava protone do 99 posto brzine svetlosti. Mnogostruko skuplja mašina, koju izgradimo deset godina kasnije, poboljša ovaj ishod na 99,9 postotaka brzine svetlosti. Pih... samo 0,9 posto? Idi ti pa objasni nekom kongresmenu da je onako ogromna lova utrošena da bi se postiglo tako malo!

Nije brzina ono što oštri Demokritov nož i otvara nam nove prostore za osmatranje. To postiže energija. Proton koji se kreće brzinom od 99% brzine svetlosti (99% c) ima energiju od oko 7 GeV (postignuto 1955. godine u takozvanom Bevatronu, u Berkliju), ali proton koji dostigne 99,95% ima 30 GeV (postignuto 1960. godine u AGS u Brukhejvenu), dok proton sa 99,999% brzine svetlosti ima čak 200 GeV (postignuto 1972. godine u Fermilabu). Zbog Ajnštajnovе relativnosti, vidite, koja upravlja promenama brzine i energije, smešno zvuči kad pominjemo te brzine. Važne su količine energije. Postoji još jedno svojstvo čestice, a naziva se impuls. Kod čestice koja se kreće veoma brzo možemo smatrati da je impuls nešto kao 'usmerena energija'. Uzgred rečeno, ta čestica koju ubrzavamo postaje i teža, zbog onog  $E = mc^2$ . U teoriji relativnosti i čestica koja nikud ne ide ima, ipak, određenu energiju, po istoj ovoj formuli, koja onda glasi:  $E = m_0c^2$ . Pri tome je  $m_0$  definisano kao 'masa mirovanja' te čestice. Čim se čestica ubrza, već je dobila neku veću energiju (E), pa samim tim i veću masu (m). I što je bliže brzini svetlosti, to teža postaje, pa je samim tim sve teže i teže postići ma kakvo njeno dalje ubrzavanje. Sve teža znači i sve punija energije. Masa mirovanja



protona baš je zgodna za nas, iznosi približno 1 GeV, pa je računica jednostavna: proton čija se energija podigne na 200 GeV sad ima i 200 puta veću masu nego dok je mirovao udobno smešten u bocu gasovitog vodonika. Naš akcelerator je, zapravo, 'ponderator'. Ta reč znači: onaj koji dodaje težinu.

## **MONEOVA KATEDRALA, ILI TRINAEST NAČINA DA GLEDAMO PROTON**

Kako koristimo te čestice? Jednostavno rečeno, namestimo im da se sudare. Pošto je ovo najvažniji način sticanja znanja o materiji i energiji, zaslužuje da se pogleda malo поблиže. Sasvim je u redu da zaboravite sve one pojedinosti o mašineriji i o načinu ubrzavanja (mada su to baš zanimljive stvari, zar ne?), ali ovaj deo zapamtite svakako. Jedini smisao postojanja akceleratora jeste sudar.

Tehnika kojom se služimo da bismo opazili, a jednog dana i shvatili apstraktni subnuklearni vilajet slična je načinu na koji opažamo i shvatamo i bilo šta drugo na svetu - neko drvo, recimo. Kako ide taj proces? Prvo nam je potrebna svetlost. Hajde da iskoristimo Sunčevu svetlost. Iz Sunca fotoni dopiru u bujicama, zapljuskuju to drvo, odbijaju se od lišća i kore, grančica i grana; neki deo od te ukupne količine fotona dospeva u naše oko. Možemo to isto reći i na ovaj način: fotoni udaraju u objekat, rasipaju se i lete (neki od njih) ka detektoru. Mi imamo očnu jabučicu, a u njoj se nalazi očno sočivo. Ono dovodi i žižu svetlost i baca izoštrenu sliku na mrežnjaču koja se nalazi duboko unutra, u oku. Mrežnjača otkrije fotone i klasifikuje njihove odlike koje opazi: boju, nijansu, jačinu osvetljenja. Onda te informacije budu organizovane i poslate jednom procesoru koji je već uključen i spremno čeka, a to je ocipitalni režanj mozga, specijalizovan za obradu vizuelnih podataka. Posle nekog vremena, taj procesor dolazi do zaključka: "Gle, drvo. Baš je lepo."

Informacije mogu u oko da stižu i filtrirane - recimo, kroz obične naočari ili kroz naočari za Sunce; to će povećati distorziju koje se već događa zbog osobina samog oka. Mozak ima dužnost da ispravlja nastala izobličenja. Hajde da zamenimo oko kamerom. Nedelju dana kasnije, ako želimo još veći stepen apstrakcije, možemo namestiti da ta kamera ne gleda stvarno, živo drvo, nego samo sliku drveta - neko u porodici je svojevremeno fotografisao to drvo, napravljen je slajd, i sad možemo pomoću projektoru za slajdove da bacamo sliku drveta na neki zastor. Postoji i drugi način: snimamo drvo video-kamerom, koja hvata fotone i pretvara dobijene svetlosne informacije u mlaz elektronskih digitalnih informacija: u duge nizove nula i jedinica. Posle ovo pustimo pomoću video-rekordera na naš TV i, gle, na ekranu je slika drveta. Ako bismo želeli da pošaljemo 'drvo' našim kolegama, naučnicima na planeti Agizizi, možda bismo poslali samo digitalnu informaciju, ne još pretvorenu u analognu; pa ipak, i tako, oni tamo bi primili, krajnje tačno, konfiguraciju za koju Zemljani kažu da je drvo.

Naravno, u akceleratoru nije tako jednostavno. Različite čestice koriste se na različite načine. Pa ipak, ovu alegoriju sa gledanjem drveta možemo, u našem razgovoru o nuklearnim sudarima i o rasipanju, izgurati još jedan korak dalje. To drvo ne izgleda isto ujutro, u podne i pri zalasku Sunca. Francuski slikar Mone (Monet) načinio je brojne slike ulaza u katedralu u Ruanu u razna doba dana; ko god ih je video, zna koliku razliku čini drugačiji kvalitet svetla. Šta je tu istina? Za umetnika, katedrala ima mnogo istina. Svaka od tih istina svetluca svojom stvarnošću - magličasta svetlost ranog jutra, drastični kontrasti svetlosti i senke na podnevnom, jakom suncu, ili bogato žarenje poznog popodneva. Pri svakom od tih osvetljenja pokaže se neki drugi, drugačiji vid istine. E, pa, i fizičari rade tako. Nama su potrebne sve informacije koje možemo da dobijemo. Umetnik upotrebljava Sunčev sjaj, koji se stalno menja. Mi obasipamo predmet različitim česticama: mlazevima elektrona, mlazevima muona ili neutrina - a njihove energije stalno menjamo.

Evo kako to radi.

O sudaru znamo dve stvari - naime, šta u sudar ulazi i šta iz sudara izlazi. I još - kako izlazi. Šta se desi u onoj majušnoj zapremini, u maleckom delu prostora, gde bude, baš, sam sudar? To ne možemo videti. Istina je takva da izludiš: ne možemo videti! Kao da se sudar odigrava unutar neke zatvorene crne kutijice. Unutrašnje mehaničke pojedinosti

samog sudara nisu dostupne posmatranju i merenju; a vrlo ih je teško, ako ne i nemoguće, čak i dočarati u mašti, zamisliti njihov "izgled". Tako vam je to u sablasnom, treperavom svetu kvanta. Raspoložemo modelom za razumevanje sila koje stupaju u međusobnu igru. U nekim slučajevima, tamo gde ima osnova, nastojimo da dočaramo sebi i neku strukturu predmeta (čestica) koji se sudaraju. Vidimo šta ulazi i šta, posle sudara, izlazi. Postavljamo pitanje da li dobijeni rezultati mogu biti predskazani pomoću našeg modela onoga što je u 'crnoj kutijici'.

U našem obrazovnom programu za decu od deset godina, mi u Fermilabu postavljamo pred mališane sledeći problem. Damo im jednu praznu kockastu kutiju da je razgledaju, tresu, mere. Onda stavimo u kutiju nešto, na primer blok drveta ili tri čelične kuglice. Ponovo zatražimo od đaka da kutiju mere, drmajuju, nagingju, oslušuju i da nam na osnovu toga kažu sve što mogu o predmetima koji su unutra: o veličini tih predmeta, obliku, težini... To je dobra metafora za ono što stvarno radimo u našim opitima rasipanja čestica. Iznenadili biste se koliko često deca pogode istinu o onome unutra.

Prebacujemo se sad na odrasle i na čestice. Pretpostavimo da želimo saznati koliko je veliki poluprečnik protona. Pozajmimo fazon od slikara Monea. Gledaćemo proton pomoću raznih vrsta 'svetlosti'. Možda bi protoni mogli biti tačke? Da bi ovo ustanovili, fizičari gađaju protone drugim protonima, i to vrlo niske energije, da bi proučili elektromagnetne sile između ova dva naelektrisanja. Kulonov zakon kaže da se elektromagnetna sila proteže do beskonačnosti, ali postaje sve slabija sa kvadratom razdaljine. Proton koji je namešten da bude meta, a isto tako i onaj ubrzani proton koji juri ka njemu, oba su, naravno, pozitivno naelektrisana, pa pošto se plus i plus odbijaju, ovaj koji stoji na meti vrlo spremno odbije uljeza od sebe. Ubrzani proton ne stigne ni blizu. Pod tom vrstom 'svetlosti', proton, zaista, izgleda kao tačka, i to tačka naelektrisanja. Zato počnemo da povećavamo energiju napadača, ubrzanih protona. Sada odstupanja u obrascu rasejanja protona nagoveštavaju da neki brži protoni uspevaju da se probiju vrlo duboko i dodirnu takozvanu jaku silu, za koju sada znamo da održava protonove sastavne delove na okupu. Jaka sila je sto puta jača od Kulonove električne sile, ali se razlikuje od nje po domašaju, koji ni u kom slučaju nije beskonačan; naprotiv. Jaka sila domašuje na otprilike 10-13 centimetara, a onda brzo opada na nulu.

Pojačavajući energiju sudara, uspevamo da 'iskopamo' sve više i više podataka o jakoj sili. Protoni imaju talasnu dužinu (pamtimo De Brolija i Šredingera). Što im je veća energija, manja im je talasna dužina. A što je kraća talasna dužina, utoliko se više pojedinosti može razaznati o čestici koju proučavamo.

Neke od najboljih 'slika' protona načinio je pedesetih godina ovog veka Robert Hofštater (Robert Hofstadter) na Stenfordskom univerzitetu. On je kao 'svetlost' za gledanje protona upotrebio mlazeve elektrona, a ne drugih protona. Hofštaterova ekipa usmeravala je dobro organizovan zrak elektrona koji su nosili svaki po, recimo, 800 MeV energije na jednu malu posudu sa tečnim vodonikom. Elektroni su bombardovali protone u vodoniku i izletali iz posude rasipajući se - dakle, menjao im se pravac kretanja. To su raderfordovska posla. Za razliku od protona, elektron ne reaguje na jaku nuklearnu silu. Reaguje samo na električni naboj u protonu. Zato su naučnici na Stenfordu bili u mogućnosti da ispitaju oblik raspodele naelektrisanja u protonu. U suštini, to je otkrilo i veličinu protona. Bilo je jasno da proton nije tačka. Izmeren je prečnik od  $2,8 \times 10^{-13}$  cm, s tim što je naelektrisanje bilo nagomilano naročito u središtu, a opadalo je prema rubovima te stvari koju nazivamo 'proton'. Slični rezultati dobijeni su kad su opiti ponovljeni sa muonskim zracima, koji takođe prenebregavaju jaku silu. Hofštater je 1961. dobio Nobelovu nagradu za ovu 'fotografiju' protona.

Negde oko 1968. godine, fizičari u stenfordskom centru za linearnu akceleraciju (skraćeno SLAC) bombardovali su protone elektronima mnogo veće energije - od 8 do 15 GeV - i dobili potpuno drugačije slike rasipanja. Obasjan pomoću te tvrde svetlosti, proton je pokazao sasvim drugačiju sliku. Hofštaterovi srazmerno slabi elektroni dali su samo mutnu sliku, sticao se utisak da je proton kašasta loptica u kojoj je naelektrisanje otprilike ravnomerno raspoređeno na pomenuti način. SLAC-ovi elektroni zadirali su mnogo oštrije i pronašli neke male momke koji trče okolo, unutar protona. Bio je to prvi pokazatelj da kvarkovi stvarno postoje. Novi podaci i stari podaci uklapali su se tačno - kao i Moneove jutarnje i večernje slike - s tom razlikom što su oni na niskim energijama

otkrivali samo prosečnu raspodelu naelektrisanja. Vizuelizacija koju smo dobili tek sa elektronima mnogo jačim (sa mnogo više energije) pokazala je da proton sadrži tri sastavna delića koji se veoma brzo kreću i da svaki od ta tri izgleda kao tačka. Zašto je SLAC-ov opit pokazao ove pojedinosti, a Hofštaterova studija nije? Kad elektron uleti sa dovoljno visokom energijom u sudar, kvarkovi zastanu u mestu, kao da su 'zakucani', a elektron koji je na njih naleteo oseti dejstvo sile tačkastog izvora; sve to zaključujemo isključivo na osnovu znanja šta je ušlo u sudar, a šta je iz sudara izišlo. Još jednom izvlačimo korist iz kratkoće kratkih talasa. Tačkasta sila izaziva veliku promenu energije elektrona i baca ga pod nekim jakim uglom u stranu. (Pamtimo Raderforda i jezgro.) Stručni, zvanični naziv za ovu pojavu jeste: duboko neelastično rasejanje. U Hofštaterovim ranijim opitima 'trčanje' kvarkova ostaje zamućeno, pa proton izgleda 'gladak' i ujednačen unutra, a sve zato što je niska energija onih elektrona pomoću kojih prikupljamo informacije. Zamisli tri vrlo sitne sijalice koje vrlo brzo trepere; zamisli da ih slikaš pomoću fotoaparata čija ekspozicija iznosi 1 minut. Na filmu bi ostala slika nečeg velikog, mutnog, nejasnog. Opit u SLAC-u jeste kao fotoaparat koji mnogo brže škljocne, ulovi i 'zaustavi' te tačkice svetlosti, tako da ih lako možemo prebrojati.

Pošto je kvarkovsko tumačenje ovog rasipanja visokoenergetskih elektrona bila vrlo neuobičajena i ogromno važna stvar, ti opiti su ponavljani u Fermilabu i u CERN-u (Evropski centar za nuklearna istraživanja) pomoću muona sa energijom deset puta većom od SLAC-ove (150 GeV), pa i pomoću neutrina. Muoni, kao i elektroni, isprobavaju elektromagnetnu strukturu protona, dok neutriini, koji nimalo ne mare ni za elektromagnetnu, ali ni za jaku silu, testiraju takozvanu 'raspodelu slabe sile'. Slaba sila je ona nuklearna sila koja je odgovorna za radioaktivno raspadanje i za još neke stvari. Ovi ogromni opiti, izvedeni u zahuktalom, vrelom takmičenju između pojedinih grupa naučnika, dali su, svi bez izuzetka, isti zaključak: proton je sagrađen od tri kvarka. Doznali smo i neke pojedinosti o načinu na koji se kvarkovi kreću tamo unutra. Njihovim kretanjem određeno je to nešto što nazivamo 'proton'.

Podrobne analize sve tri vrste opita - sa elektronima, sa muonima i sa neutrinima - dovele su do otkrića nove čestice, a to je gluon. Gluoni su prenosioci jake sile; bez njih, naši podaci naprosto ne bi mogli biti objašnjeni. Te iste analize dale su nam i kvantitativne podatke o načinu na koji se kvarkovi kovitlaju jedan oko drugog u svom protonskom zatvoru. Dvadeset godina takvih proučavanja (za koja imamo stručni zvanični naziv: izučavanje strukturnih funkcija) dadoše nam istančan model koji objašnjava sve sudarne opite u kojima pomoću protona, neutrona, elektrona, muona, kao i pomoću fotona, piona i antiprotona gađamo protone. To vam je slikar Mone, dostignut i nadmašen. Možda je kao bolji primer mogla da posluži pesma Volasa Stivensa (Wallace Stevens) 'Trinaest načina gledanja na gavrana'.

Kao što vidite, doznamo mnogo i objasnimo šta je ušlo, a šta je 'izletelo' iz sudara. Saznamo mnogo toga i o silama, i o načinu na koji iz tih sila proisteknu složene strukture poput protona (koji je napravljen od tri kvarka) i mezona (koji se sastoji od jednog kvarka i jednog antikvarka). Pa, kad imamo toliku količinu informacija, i vidimo da su sve one međusobno usaglašene, nije nam mnogo važno, i sve manje nam je važno, to što ne možemo, baš, da zavirimo u samu crnu kutijicu gde se sudar zaista događa.

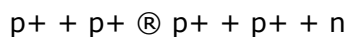
Hteli mi to ili ne, na nas mora da ostavi jak utisak sintagma 'seme unutar semena'. Molekul je načinjen od atoma. Atom ima jezgro. Jezgro je načinjeno od protona i neutrona. Proton i neutron su načinjeni od kvarkova. Kvarkovi su naččč... e-hej, stani malo. Kvarkovi ne mogu biti razbijeni. Naime, mi mislimo da ne mogu, ali, dabome, nismo u to sasvim sigurni. Otkud nam pravo da kategorično izjavimo da smo stigli do kraja tog drumca? Pa ipak, u ovom času postignuta je saglasnost da kvark ne može biti razlupan. Uostalom, ni taj Demokrit ne može živeti večno.

## **NOVA MATERIJ: NEKI RECEPTI**

Tek treba da razmotrimo jedan važan proces koji se dešava tokom nekih sudara. Nove čestice se stvaraju. Ovo se i u vašoj kući stalno dešava. Pogledajte sijalicu koja se hrabro trudi da obasja ovu stranicu koju čitate, a koja bi inače bila u mraku. Šta je izvor

te svetlosti? Elektroni. Oni su uznemireni dejstvom električne energije koja kulja u vlakno vaše sijalice, ili, ako ste jedan od onih koji vole da štede energiju, u gas u vašoj fluorescentnoj svetiljki. Ti elektroni emituju fotone. Zbog tog procesa sijalica sija. Ako ćemo govoriti apstraktnijim jezikom fizičara koji ima posla sa elementarnim česticama, onda ćemo kazati da elektron u procesu sudara zrači jedan foton. Da bi elektron ovo mogao učiniti, stiže mu (kroz utikač) energija koja izaziva proces ubrzavanja.

Sad moramo ovo da uopštimo. U procesu stvaranja, nama su nametnuta određena ograničenja: vezani smo zakonima o očuvanju energije, o momentu sile, o naelektrisanju, kao i svim kvantnim pravilima. Osim toga, onaj predmet koji je na neki način odgovoran za stvaranje nove čestice mora da ima neku 'vezu' sa česticom koja treba da bude stvorena. Primer: proton se sa drugim protonom sudari i nastane jedna nova čestica, pion. To pišemo ovako:



Čitamo: dva protona se sudaraju i nastane opet jedan proton, jedan pozitivni pion (to je  $p^+$ ) i jedan neutron. Ono što čini vezu između svih ovih čestica jeste jaka sila. Prikazan je jedan tipičan proces stvaranja čestice. Možemo i drugačije da pročitamo gornji iskaz: jedan proton se, 'pod uticajem' drugog protona, raspada na jedno 'pi plus' i na jedan neutron.

Postoji još jedna vrsta stvaranja. To je redak i uzbudljiv proces, a naziva se anihilacija. U najbukvalnijem smislu, onom iz rečnika, anihilacija znači da nešto postaje ništa, to jest prestaje da postoji. Kad se elektron sudari sa svojom antičesticom, pozitronom, nestaju oba: i elektron i pozitron. Na tom mestu se energija za trenutak pojavi u obliku jednog fotona. Ovaj proces ne sviđa se zakonima o očuvanju, pa je zato ovom fotonu kratak vek, on mora da nestane, a namesto njega pojavljuju se ubrzo dve čestice - na primer, opet jedan elektron i jedan pozitron. Ređe se dešava da se foton raspadne na muon i antimuon, ili čak na proton i antiproton. Anihilacija je jedini proces koji sa punim uspehom pretvara materiju u energiju po Ajnštajnovoj formuli  $E = mc^2$ . Jer, kad eksplodira, recimo, atomska bomba, samo jedan delić od jednog postotka njene mase preobrazi se u energiju. Dok, kad se materija i antimaterija sudare, sto posto mase iščezava.

Kad pravimo nove čestice, osnovni je zahtev da energije mora biti dovoljno, a osnovni 'knjigovodstveni' alat je  $E = mc^2$ . Na primer, pomenuli smo da sudar elektrona i pozitrona može dovesti do stvaranja jednog protona i jednog antiprotona. Uzgred rečeno, mi u Americi kažemo za ta dva:  $p$  i  $p\text{-bar}$  ( $p$  sa crticom). Pošto energija mirovanja jednog protona iznosi oko 1 GeV, čestice koje ulaze u sudar moraju sa sobom doneti bar 2 GeV energije da bi posao uspeo. Što više energije, veća je i verovatnoća da će uspeti, da ćemo dobiti par  $p/p\text{-}$ , a osim toga, lakše je i otkriti dobijene čestice zato što one steknu i nešto kinetičke energije, to jest kretanja.

Ova zasenjujuća osobina antimaterije dovela je do maštanja, u naučnoj fantastici, o tome da bi antimaterija mogla rešiti energetska krizu. Istina je to da bi čak jedan kilogram antimaterije bio potreban da bi Sjedinjene Američke Države dobile dovoljno energije za jedan dan života i rada. Taj kilogram bi se u celosti pretvorio u energiju zato što cela masa i protona i antiprotona biva, pri anihilaciji, pretvorena u energiju. Kod sagorevanja uglja ili nafte samo jedan milijarditi deo mase pretvara se u energiju. U fisionim reaktorima, 0,1 postotak, a kad bismo ostvarili fuzionu energiju, na šta već toliko decenija čekamo, ova brojka bi se povećala (ne očekujte previše...) na oko 0,5%.

## **PUNO NIŠTA ČESTICA**

Još jedan način da se o ovim stvarima razmišlja jeste sledeći. Zamislimo da je sav prostor, pa i onaj sasvim prazan, u stvari ipak prepun čestica. To je pravi okean čestica, koji zapljuskuje odasvud. U tom zapljuskivanju pojavljuju se sve vrste čestica, sve što priroda u svojoj mudrosti ume da napravi. Ja ovo ne pričam metaforički. Jedna od implikacija kvantne teorije jeste i to da čestice bukvalno iskaču ni iz čega i opet odleću u

to ništa - nestaju u vakuumu. One uskaču u postojanje i iskaču iz postojanja. Sve te čestice samo su privremene. Nastanu - i začas nestanu. To je kao jedan istočnjački bazar u kome sve vri od naroda, od gužve. Dokle god se ovo nastajanje i nestajanje dešava u praznom prostoru - dotle se ne dešava, zapravo, ništa. To vam je kvantna jeza, ali ona može pomoći da objasnimo šta se dešava prilikom samog sudara. Gle! Tamo je iskočio jedan par šarm kvarkova (to znači: šarm kvark i šarm antikvark) i odmah nestao. Oho! Onda se rodio kvark dno i njegov ortak kvark antidno. I već obojica nestadoše. Čekaj malo: a šta je ono onamo bilo? Dobro, tu je nastala neka čestica iks, o kojoj mi u vreme izlaska ove knjige iz štampe (1993) još nemamo pojma, i njena antičestica, antiiks.

U ovom haotičnom ludilu postoje pravila. Kvantni brojevi moraju biti takvi da njihov zbir daje nulu, nulu vakuuma. Još jedno pravilo: što je teži objekat (čestica), to će ređe da iskače ni iz čega i da se vraća u ništa. Jer sve ove čestice 'pozajmljuju' energiju iz praznine, samo da bi se šepurile u postojanju tokom jednog zaista malenog, najmaleckijeg delića sekunde; i odmah potom nestanu zato što sve pozajmljeno moraju i da vrate u onom vremenu koje je određeno Hajzenbergovim relacijama o neodređenosti. Evo sada ključa: ako se izvesna količina energije može obezbediti spolja, onda prolazna, virtuelna pojava tih čestica može postati stvarnost. Mogu, dakle, biti otkrivene u mehurastim komorama i brojačima. Pa, otkud se može obezbediti ta energija? Pa, otud što ako jedna energična čestica, sveže ispaljena iz akceleratora, željna da nađe sebi društvo, ispolji spremnost da plati potrebnu cenu - a to znači da se odrekne izvesne količine energije koja mora biti barem jednaka masi mirovanja željenog para, recimo, kvarkova ili iksova - tada vakuum odlazi zadovoljan jer mu je dug u celosti vraćen; a mi kažemo da je naša ubrzana čestica stvorila jedan par kvark/antikvark. Očigledno, što su teže čestice koje želimo da napravimo, veću energiju moramo dobiti iz naše mašine. U sedmom i osmom poglavlju susrećete mnoge nove čestice koje su se rodile baš na ovaj način. Samo da vam kažem, ova kvantna fantazija o sveprisutnom vakuumu koji kipi od 'virtuelnih čestica' ima i neke druge opitne implikacije - trebalo bi, na primer, da preinači masu i magnetizam elektrona i muona. Objašnjavaćemo to dalje kad stignemo do opita 'g minus 2'.

## **TRKA**

Još u Raderfordovim vremenima počela je trka ko će prvi napraviti aparate u kojima bi bile dostignute vrlo visoke energije. U ovom naporu, tokom dvadesetih godina našeg veka pomagale su kompanije za proizvodnju i raspodelu električne energije zato što se električna struja najekonomičnije prenosi pri visokim naponima. Još jedna pobuda bila je želja da se proizvode rendgenski zraci kojima bi se suzbijali zloćudni tumori. Radium je već tada korišćen za uništavanje tumora, ali je bio strašno skup; osim toga, mislilo se da bi zračenje sa višom energijom moglo biti od velike koristi pacijentima. Zato su elektrokompanije i medicinske istraživačke ustanove podržavale razvoj generatora za proizvodnju struje visokog napona. Na čelo trke izbio je na svoj osobeni način Raderford kad je uputio engleskoj elektrokompaniji 'Metropolitan-Vickers' izazov: "Dajte nam potencijal reda deset miliona volti, ali da se može smestiti u sobu razumne veličine... i dajte nam vakuumsku cev sposobnu da izdrži taj napon."

Nemački fizičari pokušali su da upregnu ogromnu voltažu alpskih oluja bogatih grmljavinom. Između dva planinska vrha okačili su izolovan kabl; kad god bi u blizini sevnula munja, oni su uspevali iz tog kabla da izvuku napon čak do 15 miliona volti i da postignu preskakanje ogromnih varnica između dve metalne kugle razmaknute čak 6 metara - spektakularno, ali od slabe koristi za posao. Ovaj pristup je napušten kad je jedan naučnik poginuo dok je podešavao aparat.

Krah ovog pokušaja nemačke ekipe pokazao je da treba obezbediti i nešto više, a ne samo silu. Polovi u Razmaku morali su biti smešteni u neku elektronsku cev ili vakuumsku komoru koja će poslužiti kao odličan izolator. (Visoki napon naprosto obožava da preskoči kroz izolacioni prazan prostor koji ostavimo. Ovo se može sprečiti samo veoma tačnom konstrukcijom.) Ta cev je morala biti dovoljno jaka da izdrži ispumpavanje vazduha. A od bitnog značaja bio je vakuum; morao je biti

visokokvalitetan. Ako bi u cevi zaostalo suviše molekula gasa, oni bi, u svome plovljenju tamo-amo, uletali u zrak i ometali ga. Visoka voltaža morala je biti dovoljno postojana da ubrzava mnogo čestica. Na ovim i drugim tehničkim problemima radilo se od 1926. do 1933, kad su konačno rešeni.

Ovo takmičenje bilo je žestoko širom Evrope, a američke institucije i naučnici brzo su se uključili u opštu 'frku'. U Berlinu je firma 'Algernajne Elektricitet Gezelšaft' napravila impulsni generator koji je davao napone i do 2,4 miliona volti, ali nijednu česticu. Nemačka zamisao preneti je u američki gradić Šenektedi, gde je firma 'Dženeral Elektrik' poboljšala rezultat na 6 miliona volti. U instituciji Karnegi u Vašingtonu fizičar Merl Tuve (Merle Tuve) naterao je jedan indukcionu namotaj - solenoid - da proizvede nekoliko miliona volti godine 1928, ali nije imao odgovarajuću vakuumsku cev. Čarls Loricen (Charles Lauritsen) uspeo je u Kalteku da napravi vakuumsku cev sposobnu da izdrži 750.000 volti. Tuve je adaptirao Loricenovu cev i proizveo zrak sa 1013 (deset hiljada milijardi) protona u sekundi, pri naponu od pola miliona volti, što je, teorijski, dovoljno izobilje projektila, a i dovoljan napon da se počne istraživati jezgro. Tuve je i postigao sudare jezgara, ali tek 1933, a do tada su dve druge ekipe već ostvarile to isto.

Još jedan od učesnika, ali ne pobednika, bio je Robert Van de Graf (Robert Van de Graaff) koji je radio na Jelu, a posle na MIT-u; on je sagradio mašinu koja je pomoću svilene pokretne 'beskonačne trake' nosila malo-pomalo naelektrisanje do jedne velike metalne kugle, na čijoj spoljašnjosti se napon povećavao. Najzad, po dostizanju nekoliko miliona volti, napon se praznio tako što je ogromna 'munja' poletala sa kugle i zabijala se u zid laboratorije. Bio je to Van de Grafov generator, proslavljen u to doba, o kome su na časovima fizike učili svi srednjoškolci. Što je veći bio poluprečnik kugle, to je kasnije dolazilo do onog završnog bleska munje. Kad je umesto vazduha u prostoriji bio samo suvi azot u gasnom stanju, dostizani su još viši naponi pre tog naglog pražnjenja. Posle nekog vremena, Van de Grafovi generatori odabrani su kao najbolje rešenje za mašine u kategoriji ispod 10 miliona volti, ali bile su potrebne još godine rada da bi se ta zamisao usavršila.

Trka se nastavila i u kasnim dvadesetim i ranim tridesetim godinama ovog veka. Pobediše (ali za dlaku ispred drugih) dvojica iz nekadašnje Raderfordove družine sa Kevendiša, Džon Kokroft i Ernest Volton. Njima je (ovde moram da zaječim od muke) presudno pomogao jedan teoretičar. Kokroft i Volton su, posle niza pretrpljenih neuspeha, pokušavali da dostignu milion volti, napon koji je smatran neophodnim za proboj u jezgro. Jedan ruski teoretičar po imenu Georg Gamov boravio je tada u Kopenhagenu, gde je došao u posetu Nilsu Boru. Skoknuo je preko vode, u Kembridž, da malo vidi šta se tamo radi pre nego što krene kući. Ali tamo se upleo u raspravu sa Kokroftom i Voltonom; pokušavao je toj dvojici eksperimentatora da objasni da im nije potrebna toliko visoka voltaža koliko su oni mislili. Dokazivao im je da nova teorija, kvantna, dopušta uspešne prodore u jezgro čak i ako se ne raspolaže energijom dovoljno visokom za savladavanje odbojne sile pozitivnog elektriciteta u njemu. Objašnjavao im je da kvantna teorija daje protonima talasne osobine, što im omogućava da prokrče sebi 'tunel' kroz barijeru sačinjenu od nadmoćnog naelektrisanja istog znaka, kao što smo videli u petom poglavlju. Kokroft i Volton su ga konačno poslušali i sredili svoj aparat da pokušaju sa 500.000 volti. Upotrebili su transformator i električno kolo za uvećanje napona, pa su ubrzavali protone dobijene iz cevi sa elektrodama unutra, nalik na onu pomoću koje je Dž. Dž. Tomson stvarao katodne zrake.

U mašini Kokrofta i Voltona, mlazevi protona, približno po bilion njih svake sekunde, jurili su kroz bezvazдушnu cev, ubrzavani i zarivali se u mete od olova, litijuma i berilijuma. Godina je bila 1930, uspeh je postignut, najzad je pomoću ubrzanih čestica izvedena jedna nuklearna reakcija. Litijum se raspadao pod naletom protona sa samo 400.000 eV energije, što je bilo daleko ispod onih miliona volti za koje se mislilo da su neizostavno potrebni. Bio je to istorijski događaj. Od tog trenutka nauka ima na raspolaganju 'nož' nove vrste; doduše, tada je bio tek u svom najprimitivnijem obliku.

## **GLAVNI DRMATOR U KALIFORNIJI**

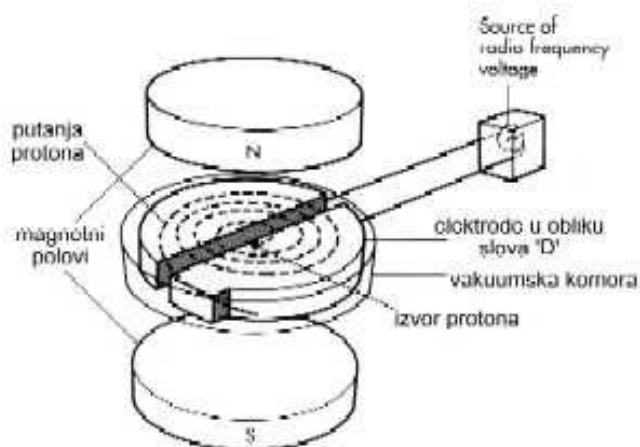
Radnja se sada premešta u Berkli, u Kaliforniji, gde godine 1928. dolazi Ernest Orlando Lorens, rodnom iz Južne Dakote, koji je malo pre toga ostvario blistav početak kao fizičar-istraživač na Jelu. Ovaj Lorens pronašao je korenito drugačiju tehniku ubrzavanja čestica. Za to je stvorio mašinu koja će se zvati ciklotron i dobio Nobelovu nagradu 1939. godine. Lorensu behu dobro poznate trapave elektrostatičke skalamerije, u kojima nabiješ ogromnu voltažu, a onda se nešto pokvari u električnom sistemu; smatrao je da mora postojati neki bolji način. Pretraživao je literaturu, gledajući kako se visoka energija može postići bez visokog napona; naišao je na stručni rad jednog norveškog inženjera po imenu Rolf Videroe (Rolf Wideröe). Tip je predlagao da energiju čestice udvostručimo tako što ćemo česticu prošetati prvo kroz jedan, pa zatim kroz još jedan Razmak, bez podizanja napona u njima. Videroeva zamisao je osnov za one akceleratora za koje danas kažemo da su linearni. Jedan iza drugog, u pravoj liniji, mnogo Razmaka, a čestica samo fura kroz sve njih i u svakom dobije još i još i još energije.

Međutim, Lorens je, čitajući Videroev članak, došao na još bolju zamisao. Zašto ne koristiti jedan isti Razmak i u njemu neku skromnu voltažu, ali ponovo i ponovo, mnogo puta? Lorens je razmišljao ovako: kad naelektrisana čestica dospe u magnetno polje, počne da se vrti ukруг. Putanja čestice biva savijena u krug čiji je poluprečnik određen snagom magneta (jači magnet - manji poluprečnik) i momentom sile te naelektrisane čestice (što se ona jače zaletela - to je veći poluprečnik). Taj momenat sile, to vam je naprosto masa puta brzina čestice - dakle, zamah. Ovo znači da će jak magnet naterati česticu da leti ukруг, a krug će biti mali, malecak; međutim ako čestica dobija sve veći zamah, pa time i energiju, uspevaće ipak da se izbori za sve prostraniji krug.

Zamislite ogromnu kutiju za prenošenje damskih šešira (ili za tortu). Iznad i ispod kutije su dva pola, južni i severni, jednog vrlo jakog magneta. Neka je ova kutija napravljena od bronce ili od nerđajućeg čelika - dakle od nečeg što je tvrdo, ali nemagnetno. Iz kutije ispumpajte vazduh. U kutiju stavite dve jednake šuplje bakarne strukture u obliku polukruga ili 'polovine torte' - nalik na veliko latinično slovo D. Ta dva polukruga okrenuta su ravnim ivicama jedan ka drugom, velika su toliko da maltene sasvim ispunjavaju kutiju, ali pošto su šuplji, čestice unutar njih mogu slobodno da lete. Između njih ostaje Razmak, ali vrlo mali. Pretpostavimo da smo jednom polukrugu dali negativno, a drugom pozitivno naelektrisanje i da je napon, recimo, 1.000 volti. Mlaz protona proizvedenih (već nekako) blizu središta ove kutije želi da pređe preko Razmaka, od pozitivnog polukruga ka negativnome. To i bude. Sad su protoni dobili dopunsku energiju od hiljadu volti, a pošto su ubrzali svoje kretanje, poluprečnik njihovog kruženja sad je povećan. Protoni obiđu pola kruga. Sad se sa suprotne strane opet približavaju Razmaku. Ali mi smo lukavo isključili struju i ponovo je uključili sa promenom polariteta - ono što je bilo plus sad je minus, i obratno. Protoni jure i vide ispred sebe Razmak, a s one strane Razmaka je - opet negativno (koje ih privlači). Pošto ih privlači, oni ubrzavaju preko Razmaka i stižu još veću energiju. Sad već imaju 2.000 eV. Ovaj proces se nastavlja. Pri svakom preletanju kroz Razmak protoni dobijaju još po 1.000 elektron-volti. Pošto su sve brži, oni se sve uspešnije bore protiv magneta koji pokušava da ih stisne na malenu putanju: kreću se u sve širim i širim krugovima. Dakle, poluprečnik njihove putanje se povećava. Protoni nastavljaju da kruže, ali sve su bliže rubu kutije. U jednom trenutku 'zakucaju' se u metu koju smo im podmetnuli, dogode se sudari, a naše naučno istraživanje time počinje.

Ključna stvar za postizanje uspeha pri ovakvom ubrzavanju jeste, naravno, da proton svaki put kad se približi Razmaku 'ugleda' ispred sebe opet negativno naelektrisanje. Znači, polaritet (šta je plus, a šta minus) mora vrlo hitro da se preokreće, u tačnoj sinhronizaciji sa kretanjem protona ukруг. Vi ćete se možda zapitati: pa, zar nije teško sinhronizovati to preokretanje plus-minus-plus-minus... sa kruženjem protona koji menjaju i brzinu i obim putanje? Nije. Lorens je otkrio da to nije teško zato što je Bog, u svojoj mudrosti, udesio da protoni, dok lete po toj svojoj sve široj spirali, duži put tačno kompenzuju većom brzinom. Oblete svaki krug za tačno isto vreme. Ovaj proces poznat je kao 'rezonantno ubrzanje'. Prema tome, da bismo svaki put namestili minus ispred

protona, dovoljno je da samo jednom uhvatimo tačan ritam promene plus-minus... i da ga se posle toga držimo bez izmene. To se, opet, odavno radilo u radio-tehnici i nije bilo nikakav problem. Otud naziv koje su dali mehanizmu za preokretanje napona u akceleratoru: generator radio-frekvencije. U ovom sistemu, proton dospeva na početak Razmaka upravo u onom trenutku kad, ispred njega, onaj drugi polukrug ima najveći negativan napon.



Lorens je svoju teoriju ciklotrona razradio tokom 1929. i 1930. godine. Kasnije je projektovao, na hartiji, mašinu u kojoj bi protoni obleteli 100 krugova, a svaki put na D-Razmaku (na Razmaku između dva polukruga, dva D) dobili još po 10.000 volti. To bi njemu dalo protonski zrak snage 1 MeV. Ovako:  $10.000 \text{ V} \times 100 \text{ krugova} = 1 \text{ MeV}$ . Takav zrak bio bi 'koristan za proučavanje atomskih jezgara'. Prvi čovek koji se latio posla i stvarno napravio ovo bio je Stenli Livingston (Stanley Livingston), jedan od Lorensovih studenata, ali je prilično podbacio u ostvarenju - postigao je samo 80.000 volti. Onda je Lorens krenuo 'na veliko'. Pribavio je ogromna budžetska sredstva - hiljadu dolara! Cilj: napraviti mašinu koja bi razbijala atomska jezgra. Polovi magneta, severni i južni pol magneta (gornji i donji magnet), imali su u prečniku po 25 centimetara. Godine 1932. ova mašina ubrzala je protone do energije od 1,2 MeV. Takvi protoni bacani su uspešno u sudar sa jezgrima litijuma i drugih hemijskih elemenata... samo nekoliko meseci pošto su Kokroft i Volton to isto postigli na Kembridžu. Drugoplasiran! Pa ipak je i Lorens pripalio cigaru.

### **VELIKA NAUKA I KALIFORNIJSKO 'ONO NEŠTO'**

Lorens je, zahvaljujući svojoj energiji i sposobnosti, postao veliki 'drmatore' u američkom društvu. Postao je otac Velike nauke. Taj izraz odnosi se na ogromne, centralizovane laboratorije, veoma složene i skupe, u kojima zajedno rade brojne grupe naučnika. Imala je Velika nauka i svoj razvoj; stvorila je nove načine istraživanja, zasnovane na saradnji celih timova naučnika. Stvorila je i divne nove sociološke probleme, o kojima ćemo pričati kasnije. Ljudi kao Lorens nisu viđeni još od vremena Tihoa Brahea, kneza od Uraniborga, i njegove laboratorije na ostrvu Hven. Lorens je postavio Sjedinjene Američke Države u arenu svetske eksperimentalne fizike, i to kao ozbiljnog učesnika. Doprineo je da se u Kaliforniji uspostavi 'ono nešto', jedna pomalo tajanstvena naklonost ka tehnološkoj ekstravagantnosti, ka skupim i složenim poduhvatima. Bili su to uistinu privlačni izazovi za mladu Kaliforniju, odnosno za mlade Sjedinjene Američke Države.

Već 1934. godine Lorens je proizvodio zrake sačinjene od deuterona, snage 5 MeV, u ciklotronu čiji je prečnik iznosio 94 centimetra. Deuteron je atomsko jezgro koje se sastoji od jednog protona i jednog neutrona (dakle, jezgro deuterijuma), a otkriveno je 1931, i pokazalo se da je kao projektil za izazivanje nuklearnih reakcija pogodnije nego



sam proton. Godine 1936. Lorens je imao zrak od 8 MeV, takođe sa deuteronima. Godine 1939. njegova mašina prečnika metar i po davala je 20 MeV. Pravo 'čudovište' počelo je da se gradi 1940. godine; završeno je posle Drugog svetskog rata - instalacija čiji je samo magnet težak 10.000 tona! Širom sveta gradili su se ciklotroni zato što su dokazali svoju sposobnost da otkrivaju tajne jezgara. Zrak čestica uperen na tumor ostavlja u tkivu toliko energije da ga uništava. Sada, u devedesetim godinama, u bolnicama širom SAD imate preko hiljadu ciklotrona. Međutim, temeljna istraživanja o česticama otišla su još dalje, napustila su ciklotron i prešla na jedan novi tip mašine.

## **SINHROTRON: VRTI DO MILE VOLJE**

Navala ka sve višim energijama širila se i jačala u celom svetu. Prilikom ulaska u svako sledeće energetsko 'područje', postizana su nova otkrića. Nastajale su i nove zagonetke, što je povećavalo želju za još višim energijama. Činilo se da su bogatstva prirode skrivena u nuklearnom i subnuklearnom mikrosvetu.

Ograničavajući činilac u ciklotronu jeste sam njegov sklop. Pošto čestice idu spiralno, sve bliže rubovima raspoloživog prostora unutra, očigledno je da kad dođu do kraja - nema dalje. Ne može se postići putanja sa poluprečnikom većim od celog raspoloživog unutrašnjeg prostora u D-polukrugovima. Ako želiš veći broj orbita, sve većih i većih, izvoli pa napravi veći ciklotron. Magnetno polje mora delovati na celu oblast u kojoj se događa to spiralno kretanje - znači, magnet mora biti veliki... i skup.

Ulazi novi glumac, sinhrotron. Ako ne dozvolimo česticama da se spiralno pomeraju ka sve širim i širim orbitama, nego ih prisilimo da ostaju večito na istoj putanji (dakle, na putanji sa stalnim poluprečnikom), onda je magnet potreban samo iznad jedne uske staze - baš iznad same te putanje. Neka čestice dobijaju sve više i više energije; mi ćemo istovremeno pojačavati magnetno polje! Upravo na taj način sprečavaćemo njihovo premeštanje ka nekim većim poluprečnicima kruženja. Baš smo pametni, a? Uštedecemo mnogo tona gvožđa, jer magnetni polovi, oni koji moraju biti iznad i ispod putanje, mogu sad biti samo desetak-petnaest centimetara široki, a ne metrima.

Moraju se tu pomenuti još dve važne pojedinosti pre nego što se zagnjurimo u devedesete godine. U ciklotronu, naelektrisane čestice (protoni ili deuteroni) putuju mnogo puta ukруг; bude tu i više hiljada obrtaja. Nalaze se u vakuumskoj komori koja kao da je 'spljeskana' između dva magnetna pola. Da se protoni ne bi razilazili i udarali u sve zidove oko sebe, bilo je krajnje bitno da postoji neki način za fokusiranje čestica. Baš kao što ono sočivo napred na baterijskoj svetiljki postiže da fotoni ne idu kud koji nego da glavčina ide pravo napred, u jednom zraku, dakle (otprilike) uporedno. E, pa, slično tome pomoću magnetne sile držimo čestice otprilike u jednom, uzanom zraku.

U ciklotronu ovaj posao fokusiranja obavljamo tako što se magnetno polje na određeni način menja baš onda kad se protoni kreću prema spoljašnjem rubu magnetna. Robert R. Vilson, jedan od Lorensovih mladih studenata i kasnije graditelj akceleratora u Fermilabu, prvi je dokučio veoma tanana, ali presudna magnetna dejstva koja sprečavaju protone da se raspu u širinu. U prvim sinhrotronima, magneti su bili na određeni način 'izvajani', uobličeni da bi se ovo postiglo. Kasnije su za fokusiranje čestica korišćeni posebni četvopolni magneti (kvadropoli) sa dva južna i dva severna pola, dok su drugi, dvopolni magneti (dipoli) zadržavali tako fokusirane čestice na željenoj, uvek istoj orbiti.

Fermilabov Tevatron, mašina od bilion volti, pušten u rad 1983. godine, dobar je primer. Moćni superprovodni magneti usmeravaju čestice na orbitu, samo jednu, kružnu. Oni to rade otprilike kao što šine usmeravaju voz koji je ušao u jaku krivinu. U našoj cevi, kroz koju zrak prolazi, vlada veoma kvalitetan vakuum. Ta je cev napravljena od nerđajućeg čelika (dakle, nemagnetna je), u poprečnom preseku je ovalna - otprilike 7,5 centimetara široka, a 5 centimetara visoka, i nalazi se tačno između južnog i severnog pola magnetna. Svaki od naših dipola, dakle usmerivača, dugačak je po 7 metara, a svaki kvadropol (mi kažemo skraćeno 'kvad') po 5 metara. Cev je toliko dugačka da je duž nje naređano više od hiljadu magnetna. Ova cev sa magnetima načičkanim oko nje čini krug poluprečnika 1 kilometar. Ovo je prilična promena u odnosu na Lorensovu prvu napravu koja je imala deset centimetara u prečniku. Eto, vidite koje su prednosti sinhrotrona.

Tačno je da treba veliki broj magneta, ali su oni prilično 'mršavi', prislonjeni su uz vakuumsku cev i pokrivaju samo nju. Kad bi naš Tevatron bio ciklotron, trebao bi mu magnet (oba pola) koji bi bio prečnika 2 kilometra!

Čestice optrče svoju stazu, oko šest i po kilometara, po 50.000 puta u svakoj sekundi. Za deset sekundi one pređu daleke pute - preko tri miliona kilometara. Kad god proleću kroz Razmak, koji nije samo jedan (postoji ceo niz posebno sazdanih Razmaka), napon koji ih priziva k sebi dodaje im još po jedan MeV. Nigde na celoj ovoj putanji čestice ne mogu da vrludaju više od tri milimetra tamo ili amo jer im to ne dopuštaju magneti koji ih fokusiraju. Nije savršeno, ali služi. Ova tačnost je kao da nanišaniš puškom na komarca koji sedi na Mesecu, opališ i pogodiš ga, ali u pogrešno oko. Da bi protoni ostajali na toj istoj orbiti iako su sve brži i brži, snaga magneta mora se pojačavati u tačnoj sinhronizaciji sa povećanjem energije tih protona.

Druga važna pojedinost odnosi se na teoriju relativnosti: kad energija protona počne da se diže iznad dvadesetak ili tridesetak MeV, oni postaju primetno teži. Ovo povećanje mase upropašćava nam 'ciklotronsku rezonancu' koju je Lorens otkrio, onu u kojoj su protoni putovali sve dužim stazama, ali su to tačno nadoknađivali svojom sve većom brzinom. Ovde ne može jedna postojana radio-frekvencija, uvek ista, da zapoveda preokretanjima plus-minus-plus-minus nego se to mora postepeno usporavati zato što je magnetima sve teže i teže da otežale protone izvuku do nekih novih brzina. Zato primenjujemo FM sistem (frekventnu modulaciju) da nam zapoveda preokretima plusa i minusa, tačno u skladu sa masom protona, koja se polagano povećeva. Upravo je prvi sinhro-ciklotron, dakle frekventno-modulacioni ciklotron, bio prvi primer uticaja teorije relativnosti na naš posao sa akceleratorima.

Protonski sinhrotron rešava problem još elegantnije. Malo je složeno, ali oslanja se na činjenicu da brzina čestice, koju mi želimo da postignemo, premaša 99 postotaka brzine svetlosti; a to znači da je, u suštini, uvek otprilike ista. Pretpostavimo da čestica naiđe na Razmak upravo u onom delu radio-frekventnog ciklusa kad je voltaža jednaka nuli. Nema ubrzanja. Ali ako mi malo pojačamo magnetno polje, putanja se malo stisne, postane malčice kraća, čestica stiže na Razmak malo ranije i sad vidi ispred sebe naelektrisanje ka kome bi htela da ubrza. Masa raste, poluprečnik orbite se povećeva i u istoj smo situaciji kao na početku... s tim što je energija čestice postala veća. Ovaj sistem ispravlja samoga sebe, stalno. Ako čestica stekne previše energije (mase), poluprečnik njene putanje će se povećati i ona će stići na Razmak prekasno, videće voltažu koja će je usporiti i time će greška biti ispravljena. Mi samo treba da pojačavamo magnetno polje. Time će čestica, koja je naš glavni junak u priči, dobijati veću energiju. Ovaj metod oslanja se na takozvanu 'faznu stabilnost' o kojoj će biti reči kasnije u ovom poglavlju.

## **AJK I PIONI**

Jedan od ranih akceleratora bio mi je i blizu i drag - sinhro-ciklotron od 400 MeV na Univerzitetu Kolumbija. Taj je bio sagrađen na jednom imanju u mestašcu Irvington na Hadsonu, u državi Njujork; moglo se sa Menhetna stići gradskim prevozom donde. Vlasnik tog imanja, u kolonijalno doba, bio je Aleksandar Hamilton (Alexander Hamilton). On je imanju dao naziv 'Ben Nevis', po jednoj planini u Škotskoj, odakle su bili njegovi preci. Kasniji vlasnici imanja bili su neki ljudi iz jednog ogranka porodice Dipon (Du Pont), a posle njih Univerzitet Kolumbija, ali je naziv 'Ben Nevis' ostao. Zato je i ciklotron dobio naziv Nevis. Sagrađen je između 1947. i 1949, radio je dvadesetak godina (od 1950. do 1972) i bio je jedan od najproduktivnijih akceleratora na svetu, u tom razdoblju. Proizveo je on i oko 150 doktora nauka, od kojih je približno polovina ostala na polju fizike čestica i postala profesori na Berkliju, Stenfordu, Kalteku, Prinstonu i u mnogim drugim takvim poluilegalnim čumezima. Druga polovina tih doktora fizike otide kud koji: u razne male nastavne institucije, u državne laboratorije, u naučnu administraciju, u industrijsko istraživanje, investiciono bankarstvo...

Bio sam postdiplomac kad je tadašnji predsednik (Univerziteta Kolumbija) Dvajt Ajzenhauer proglasio to novo postrojenje otvorenim, juna 1950. godine, na maloj svečanosti koja je održana na travnjaku divnog imanja Nevis. Tamo je drveće

veličanstveno, žbunje divno, imate nekoliko zgrada od crvene opeke, a nekoliko livada niže protiče, veličanstveno, reka Hadson. Ajk je održao prikladan govor, a onda okrenuo prekidač; iz zvučnika se začulo pojačano pucketanje Gajgerovog brojača, što je trebalo da znači da tu negde, u zgradi, ima radioaktivnog zračenja. Pucketanje je nastajalo zato što sam držao jedan izvor radioaktivnosti blizu tog Gajgerovog brojača. Jer, mašina je bila odabrala baš taj dan i sat da se pokvari. Ajk to nikad nije saznao.

Zašto 400 MeV? Godine 1950. nama je glavna po značaju čestica bio pion, za koji se još upotrebljava i naziv pi-mezon. Postojanje piona predvideo je 1936. godine jedan Japanac, teorijski fizičar Hideki Jukava (Hideki Yukawa). Mislilo se da bi pion mogao biti ključ za jaku silu, koja je u ono doba bila velika tajna. Mi danas o jakoj sili razmišljamo u terminima gluona. Ali u ono vreme, pioni, to jest pi-mezoni, koji letučaju napred-nazad između protona i neutrona i drže ih čvrsto na okupu u jezgru, bili su ključ i nama je bilo potrebno da ih pravimo i proučavamo. Da biste proizveli pione u nuklearnim sudarima, čestica koja doleće iz akceleratora mora imati energiju veću nego što je masa piona pomnožena brzinom svetlosti na kvadrat, dakle veću od  $m(\text{piona})c^2$ ; a to znači veću od energije koju ima pionova masa mirovanja. Kad pionovu masu mirovanja pomnožiš brzinom svetlosti podignutom na kvadrat, dobiješ 140 MeV. To mu je masa mirovanja iskazana sad kao energija. Pošto samo jedan deo energije sudara biva iskorišćen za proizvodnju novih čestica, nije nam bilo dovoljno ni 140, pa smo ocenili da bi 400 bilo, valjda, dovoljno. Mašina zvana Nevis postala je fabrika pi-mezona.

## **BEPOVE DAME**

E, čekajte. Prvo nekoliko reči o tome kako je svet uopšte saznao da pioni stvarno postoje. Kasno u četrdesetim godinama, naučnici na Bristolskom univerzitetu u Engleskoj primetili su da alfa-čestica, kad se zaleti kroz fotografsku emulziju na staklenoj ploči, 'aktivira' molekule duž svoje putanje. Razviješ taj negativ (filmsku ploču) i vidiš trag alfe, opisan česticama srebrnog bromida. Za ovo posmatranje potreban je mikroskop, ali ne jak. Bristolska grupa spremala je veće količine staklenih ploča namazanih vrlo debelim slojevima fotoemulzije i slala ih balonima gotovo na vrh atmosfere zato što je tamo jačina kosmičkih zraka mnogo veća nego na nivou mora. Ovaj prirodni izvor zračenja imao je čestice neuporedivo veće energije nego Raderfordove alfe sa svojih jadnih i bednih 5 MeV. U ovakvim emulzijama izlaganim kosmičkom zračenju pioni su 1947. godine primećeni prvi put. Postigli su to Ćezare Lates (Cezare Lattes), Brazilac; Đuzepe Očalini (Giuseppe Occhialini), Italijan; i F. Č. Pael (F. C. Powell), profesor trajno zaposlen u Bristolu.

Najživopisniji pojedinac među tom trojicom bio je Očalini, koga su prijatelji zvali samo Bepo. On je bio i amater-speleolog, kompulsivni šaljivdžija i, uz to, glavni 'motor' cele ove grupe naučnika. Doveo je gomilu mladih žena i obučio ih za mukotrni posao pregledanja emulzija malo-pomalo pod mikroskopom. Moj mentor, koji je nadgledao kako radim doktorsku disertaciju, bio je Đilberto Bernardini (Gilberto Bernardini), Bepov blizak prijatelj. Jednog dana dođe Bernardini u Bristol da poseti Bepoa. Dobije uputstva na tačnom, ispravnom engleskom jeziku; ali takav engleski njemu je bio vrlo težak i zato Bernardini zaluta u hodnicima. Posle dužeg vremena nabasa na jednu laboratoriju u kojoj sedi nekoliko sasvim pristojnih engleskih dama i psuje na italijanskom - rečima koje bi bile zabranjene i na dokovima Đenove. "Ekko!" poviče Bernardini. "Ovvo billa Bepova labba!"

Ti tragovi u emulzijama pokazivali su da pion uleti veoma brzo, onda postupno usporava (a to se vidi po tome što se povećava gustina trunčica srebro-bromida duž putanje) i konačno se zaustavi. Na samom kraju te putanje pojavi se nova čestica prepuna energije i odjuri u daljine. Pion je nestabilan, raspadne se u stotinki mikrosekunde na muon (to je ta energična čestica koja pobegne u daljine) i na još nešto drugo. Pokazalo se da to nešto jeste neutrino, koji u emulziji ne ostavlja ni najmanji trag. Ovu reakciju zapisujemo na sledeći način:  $p \rightarrow m + n$ . Čitamo: pion (na kraju) nestane, dajući jedan muon i jedan neutrino. Pošto na emulziji ne ostaje informacija o vremenskom redosledu događanja, bar pet-šest ovakvih slučajeva (koji se veoma retko

događaju) moralo je pomno da se analizira da bi bilo jasno koja je to čestica uletela i kako se raspala. Bilo je neophodno da se pion proučava, ali sa ovim balonima i kosmičkim zracima naučnici su uspevali da uhvate samo desetak pionskih raspada godišnje. Kao i kod drugih nuklearnih raspada, bili su i u ovom slučaju potrebni akceleratori sa dovoljno visokom energijom.

U Berkliju, Lorensov ciklotron prečnika 467 centimetara počeo je da proizvodi pione (pi-mezone), baš kao i mašina Nevis. Uskoro su sinhrotroni u Ročesteru, Liverpulu, Pittsburgu, Čikagu, Tokiju, Parizu i u Dubni (gradu u blizini Moskve) izučavali pionska jaka međudejstva sa neutronima i protonima, kao i slabu silu u pionskom radioaktivnom raspadu. Druge mašine na Kornelu, Kalteku, Berkliju i na Ilinoiskom univerzitetu proizvodile su pione pomoću elektrona; ali najdelotvorniji su u ovom poslu ostali protonski sinhrotroni.

### **PRVI SPOLJAŠNJI ZRAK: KO HOĆE DA SE KLADI, MOLIM!**

Našao sam se, eto, i ja tu, u leto godine 1950, sa mašinom koja se još nije rodila (još je bilo u toku 'porađanje'). Bili su mi potrebni podaci da bih dovršio doktorat i da bih, onda, mogao zarađivati za život. Modni trend bili su te godine pioni. Uzmi parče nečega - ugljenika, bakra, bilo čega što ima jezgra - i ošini po tome protonima od 400 MeV iz mašine Nevis; dobićeš pione. Berkli je zaposlio tog Latesa, koji je pokazao fizičarima kako da izlažu zračenju i kako da razvijaju veoma osetljive emulzije pomoću kojih su oni u Bristolu postigli uspeh. Evo kako. Uzmite gomilu tih pločica sa emulzijama i spustite ih u vakuum, u jedan rezervoar blizu zraka. Udese da protoni udaraju u jednu metu blizu emulzija. Posle (kroz bezvazдушnu komoru) izvade emulzije, razvijuju ih sve (to je nedelju dana rada), pa mikroskopom proučavaju jednu po jednu (nekoliko meseci!). Tako ogroman trud doneo je ekipi u Berkliju samo nekoliko desetina pionskih događaja. Morao je postojati neki lakši način. Problem se sastojao u tome što je detektor čestica morao biti instalisan u unutrašnjost akceleratora, gde akceleratori magneti silovito deluju. Ne možeš da zabeležiš ništa bez detektora. Jedino praktično sredstvo za rad pod takvim okolnostima bile su emulzije. Bernardini je planirao da izvede na mašini Nevis opit sličan onome u koji su se ovi moji na Berkliju zaglibili. Doduše, ja sam napravio veliku, elegantnu maglenu komoru (za doktorat) koja je mogla da posluži kao mnogo bolji detektor, ali tako veliki detektor nikad ne bismo mogli da uguramo između polova magnetu u unutrašnjosti akceleratora. Osim toga, u akceleratoru nastaju i razna druga zračenja koja bi upropastila svaki učinak na mom detektoru. Između ciklotrona i mesta gde se očekivalo da eksperimentatori stoje i rade bio je zid od betona, tri metra debeo, da bi zaštitio ljude od svakovrsnih lutajućih radioaktivnih zračenja iz akceleratora.

Jedan novi doktor fizike, Džon Tinlot (John Tinlot), stigao je na Kolumbiju iz slavne grupe Bruna Rosija koja je na MIT-u proučavala kosmičke zrake. Tinlot je bio pravi majstor fizike. U poznom pubertetu postao je violinista koncertne vrednosti, ali je ostavio violinu pošto je, tek posle bolnih nedoumica, odlučio da ipak proučava fiziku. Bio je to prvi mladi doktor nauka sa kojim sam ikada radio; od njega naučih mnogo stvari. Ne samo o fizici. Džon je bio genetski prisiljen da se kladi i kocka: na konjskim trkama, u blek-džeku, na ruletu, pokeru - naročito na pokeru. Igrali smo poker tokom opita, dok je prikupljanje podataka trajalo. Igrali smo za vreme godišnjih odmora, u vozovima, u avionima. Bio je to srazmerno skup način, za mene, da naučim fiziku, ali sam se snalazio tako što sam ono izgubljeno nadoknađivao igrajući sa svakojakim drugim protivnicima - sa studentima, tehničarima i stražarima, koje je Džon dovodio za tu svrhu. On nije imao milosti.

Sedimo Džon i ja na podu akceleratora koji nije još stvarno počeo da radi, pijuckamo pivo i raspravljamo o ovom svetu. "Šta se stvarno dešava sa pionima koji izleću iz mete?" pita Džon iznenada. Ja sam se do tog vremena već bio naučio opreznosti. Džon je umeo da se kladi i u fizici, a ne samo na hipodromu. "Pa... ako je meta unutar mašine (a morala je biti; nismo znali kako da izvedemo ubrzane protone napolje, iz akceleratora), onda će ih magnet, pošto je toliko jak, razbacati na sve strane", odgovorim obazrivo.

DŽON: Ali neki će izleteti iz mašine i udarati u ovaj zid koji nas zaklanja?

JA: Dabome, ali ne samo u jedno mesto nego svuda.

DŽON: Zašto ne proverimo?

JA: Kako?

DŽON: Hvatamo magnetni trag.

JA: Tu ima da se radi. (Bio je petak, osam sati uveče.)

DŽON: Imamo tablicu izmerenih magnetnih polja?

JA: Ja bih da idem kući.

DŽON: Upotrebićemo one ogromne namotaje mrkog pakpapira i crtaćemo na njima putanje piona u razmeri jedan prema jedan...

JA: U ponedeljak?

DŽON: Ti radi šiberom (godina je bila 1950), a ja crtam putanje.

Do četiri sata ujutro ostadosmo te noći i postigosmo jedno temeljno otkriće, koje je promenilo način upotrebe ciklotrona u celom svetu. Crtali smo šta bi bilo kad bi bilo; naime, nacrtali smo tragove nekih osamdeset fiktivnih čestica za koje smo zamišljali da bi mogle izletati iz mete u akceleratoru i kretati se nekim uverljivim energijama i pravcima - 40 MeV, zatim 60 MeV, pa 80 MeV i najzad 100 MeV. Na naše zaprepašćenje, čestice nisu naprosto lunjale 'posvuda'. Umešala su se snažna magnetna polja koja se šire iz ciklotrona u okolni prostor. Ta polja su hvatala pobegle čestice i usmeravala ih u jedan jedini, uzan zrak, koji je težio da se obavije oko mašine! Otkrili smo pojavu koja je kasnije dobila naziv 'fokusiranje u marginalnom polju'. Štaviše, obrtali smo te velike listove hartije - to znači, birali smo određene položaje mete - i postigli smo da pioni iz jednog širokog pojasa energije blizu 60 MeV idu pravo ka mojoj tek proizvedenoj maglenoj komori. Samo je jedna sitnica smetala pa da sve to postane stvarnost: između akceleratora i prostora u kome je dremala moja draga princeza (komora) ostajao je betonski zidić debeo tri metrića.

Niko nije predvideo ovako nešto. Sviće jutro u ponedeljak, a nas dvojica ulogoreni ispred kancelarije direktora, spremni da se bacimo na njega sa ovim. Imali smo tri jednostavna zahteva: (1) da se u mašini meta postavi na drugo mesto; (2) da zid između vakuumske komore ciklotrona i spoljašnjeg sveta bude mnogo tanji, jer čelični oklop debeo dva i po centimetra mnogo smeta pionima koji bi želeli da iziđu u svet i (3) da se u zaštitnom betonskom zidu izbuši rupa koja bi trebalo da bude, nagađali smo mi, deset centimetara visoka, a dvadeset pet široka. Molim lepo - zahtev ispostavljaју: jedan ponizni postdiplomac i jedan sveži doktor!

Naš direktor, profesor Judžin But (Eugene Booth), bio je džentlmen iz Džordžije i roudsovski naučenjak, pa mu se retko dešavalo da uzvikne "Tako mi svega!" Ovog puta je to učinio i ponovio. Mi smo objašnjavali, ubeđivali smo ga, pridobijali. Slikali smo vizije svetske slave. On će biti slavan! Zamislite pionski zrak izvan mašine, prvi put u istoriji!

But nas je izbacio napolje. Ali posle ručka nas je opet pozvao unutra. (Mi smo to vreme proveli raspravljajući šta je bolje, arsenik ili strihnin.) Bernardini je u međuvremenu svratio kod Buta i But je oprobao kako će na tu zamisao reagovati naš eminentni gostujući profa. Nagađam da pojedinosti, izgovorene sa Butovim džordžijskim izobličenjem reči, Đilberto nije ni mogao da razume. (Đilberto mi je jednom u poverenju rekao: "Ma kaaako se izgovaralo? Buuus, e? Buuuš? Ne moglo izgovooori ovo americko imena!") Međutim, Bernardini nas je podržao sa tipično latinskom preteranošću i mi smo dospeli 'unutra'.

Mesec dana kasnije sve je počelo da radi, i to uspešno - tačno kao što smo zamislili na našim skicama na pakpapiu. Za samo nekoliko dana moja maglena komora registrovala je više piona nego što su sve druge laboratorije na svetu dotad zajedno uspele. Na svakoj fotografiji (škljocali smo svakog minuta po jednu) vidiš po šest, sedam, neki put i deset predivnih pionskih tragova. Na svakoj trećoj ili četvrtoj fotografiji vidiš da se proces zavrnuo, pion nam se raspao na muon i ono nešto drugo. Ja - paf, odmah ubacim i raspad piona u moju tezu. U roku od šest meseci imali smo u upotrebi četiri različita zraka i mašina Nevis je tutnjala punom snagom, proizvedeći čitavo more podataka o odlikama pi-mezona. Prvom prilikom, Džon i ja smo otišli na hipodrom gde je Džon, u nastojanju da produži svoj zamah taličnosti, uložio pare koje su bile spremljene

za naš ručak, kao i pare kojima je trebalo da kupimo benzin za povratak u laboratoriju, sve na jednog konja u osmoj trci. Ulozi su bili 28 prema jedan protiv tog konja. Džon se kladio da će baš taj pobediti. I dobio je. Stvarno je to bio momak i po.

Džon Tinlot je svakako raspolagao sasvim izuzetnom snagom intuicije, jer kako je drugačije mogao pomisliti da ima neke koristi od tih marginalnih polja koja se probijaju iz ciklotrona u spoljašnji prostor, kad su svi drugi naučnici tu mogućnost previđali. Kasnije je Tinlot postigao izvrsnu karijeru kao profesor na Univerzitetu Ročester, ali je, u četrdeset trećoj godini, umro od raka.

## **IZLET U SOCIOLOGIJU: POREKLO VELIKE NAUKE**

Drugi svetski rat bio je prekretnica u naučnoistraživačkom radu. (Dobro zvuči kao početak nekog govora, a?) Takođe je označio početak nove faze u traganju za a-tomom. Da navedemo neke putanje kojima je to išlo. Rat je doveo do naglih uspona u tehnologiji, ponajviše u SAD, državi u kojoj nisu gruvale bombe bačene na susedne kuće, pojava koja je u evropskim zemljama malčice ometala naučni rad. Radar se razvio u toku tog rata, kao i elektronika i nuklearna bomba (tako treba da se zove, a ne 'atomska'); sve je to pokazalo koje ogromne uspehe mogu postići naučnici i inženjeri kad rade zajedno - i kad imaju na raspolaganju para koliko god požele.

Vanevar Buš (Vannevar Bush), naučnik koji je tokom rata upravljao američkim naučnim naporima, opisao je ove nove odnose između nauke i države u jednom rečitom pismu predsedniku Frenklinu D. Ruzveltu. Od tog dana, američka savezna vlada bila je čvrsto rešena da podržava temeljna istraživanja u svim prirodnim naukama. Budžetska podrška za to, a i za istraživanja u oblasti primenjene nauke, tako se naglo povećala, da nam je danas smešan onaj iznos od hiljadu dolara koji je E. O. Lorens obezbedio uz onoliki trud početkom tridesetih godina ovog veka. Čak i kad uzmemo u obzir inflaciju koja se u međuvremenu dogodila, njegova svota je trunčica u poređenju sa onim što je savezna država dala za temeljna naučna istraživanja u godini 1990 - približno 12 milijardi dolara. Osim toga, Drugi svetski rat isterao je iz Evrope mnoštvo naučnika; oni su, cela jedna poplava njih, došli u Ameriku i bitno doprineli procvatu nauke ovde.

Početak pedesetih godina dvadesetog veka mi smo na dvadesetak univerziteta imali akceleratore sposobne da učestvuju u vrhunskim naučnim prodorima onog doba. Shvatali smo atomsko jezgro sve bolje i bolje, a granična linija između znanja i nepoznatog premestila se u subnuklearni vilajet, gde su, međutim, bile potrebne još veće - još skuplje - mašine. Brzo je nastupila era preustrojavanja naučnih zajednica, spajanja u veće 'firme'. Devet univerziteta udružilo se u jednu grupaciju kako bi uspelo da izgradi laboratoriju u Brukhejvenu na Long Ajlendu, a zatim i da njome upravlja. Naručili su i platili mašinu od 3 GeV godine 1952, a zatim drugu, novu, od 30 GeV godine 1960. Princstonski i Pensilvanijski univerziteti udružili su se i sagradili protonsku mašinu nadomak Princstona. MIT i Harvard su izgradili CEA - akcelerator elektrona u Kembridžu, Masačusets, sa snagom 6 GeV.

Tokom godina ovi konzorcijumi postajali su sve veći. Ali broj mašina u prvom jurišnom redu nauke smanjivao se. Bila nam je potrebna sve viša i viša energija da bismo stremili ka odgovoru na pitanje "Šta ima unutra?" i da bismo tragali za pravim a-tomom - a to su nula i jedinica u onoj našoj alegoriji o binarnoj biblioteci. Predlagane su nove mašine, ali su stare isključivane iz upotrebe da bi se oslobodila budžetska sredstva za novo. Velika nauka (izraz koji neznalice u medijima ponekad upotrebljavaju u pogrdnom značenju) postajala je sve veća. U pedesetim godinama grupa od dva, tri ili četiri naučnika mogla je preduzeti po dva ili tri opita svake godine. Decenije su proticale, objedinjene družine postajale su sve mnogoljudnije, a opiti dugotrajniji, između ostalog i zbog toga što su detektori morali postajati sve složeniji. Sada, posle 1990. godine, samo na detektoru u Fermilabu angažovano je 360 naučnika i studenata sa dvanaest univerziteta, dve nacionalne laboratorije i nekoliko institucija iz Japana i Italije. Ispplanirana neprekidna prikupljanja podataka u jednom jedinom opitu potraju i po godinu dana, pa i duže; tu onda imamo pauzu samo za Božić, Četvrti juli i kad se nešto pokvari.

Američka vlada nadgledala je ovaj razvoj, od nauke na jednom radnom stolu do akceleratora čiji se obim meri kilometrima. Iz programa za pravljenje nuklearne bombe u Drugom svetskom ratu rodila se, posle rata, Komisija za atomsku energiju - AEC (Atomic Energy Commission), civilna agencija koja nadgleda istraživanja u oblasti nuklearnog oružja, kao i njegovu proizvodnju i čuvanje. Američka nacija poverila je ovoj ustanovi i da finansira i nadzire temeljno naučno istraživanje u atomskoj fizici, a naročito u onome što se danas naziva fizika čestica.

Želja da se stigne do Demokritovog a-toma postala je poznata i u dvoranama američkog Kongresa koji je obrazovao Zajednički odbor (oba doma) za atomsku energiju, kako bi imao uvid u tu oblast. Odbor poziva ljude na informativne razgovore, a posle štampa ceo tekst takvih saslušanja u zbijenim knjižicama državne zelene boje. To su izdanja koja posle posluže kao pravi Fort Noks informacija za istoričare nauke. Tu možete čitati kako je svedočio E. O. Lorens, šta su tačno rekli Robert Vilson, I. I. Rabi, Dž. Robert Openhajmer, Hans Bete, Enriko Fermi, Marej Gel-Man i mnogi drugi koji su strpljivo odgovarali na pitanja o tome kako potraga za konačnom česticom napreduje - i zašto je opet, opet, potrebna nova mašina? Dijalog na početku ovog poglavlja, između Fermilabovog osnivača i prvog direktora Roberta Vilsona, koji je bio jedna zaista živopisna osoba, i senatora Džona Pastorea, prepisan je iz jedne takve zelene knjižice.

Hajde da sipamo još slova u našu supu sa azbukom. Ustanova AEC pretopila se u nešto drugo, a to je ERDA (Agencija za energetska istraživanja i razvoj - Energy Research and Development Agency), koja je ubrzo pretvorena u Ministarstvo energije (US Department of Energy - DOE). U ovom trenutku, DOE nadzire sve nacionalne laboratorije u kojima neko razbija atome. Ali takvih laboratorija ima samo pet u ovoj zemlji. To su SLAC, Brukhejven, Kornel, Fermilab, a peta je tek u izgradnji, to je superprovodni superkolajder.

Akceleratorne laboratorije uglavnom su u državnom vlasništvu, ali njima upravlja neki 'kontraktor' - dakle, neko ko je sa državom potpisao ugovor da to radi. Kontraktor može biti neki univerzitet, kao što je Stenford za SLAC, ili konzorcijum univerziteta i drugih institucija, kao ovaj što vodi Fermilab. Kontraktor postavi direktora, a onda ide u crkvu i moli Boga. Jer direktor upravlja svim poslovima u celoj laboratoriji, donosi sve važne odluke i često ostane na svom radnom mestu duže nego što bi bilo dobro. Ja sam bio direktor u Fermilabu od 1979. do 1989, a moj glavni zadatak bio je da ostvarim viziju Roberta R. Vilsona: izgradnju Tevatrona, prvog na svetu superprovodnog akceleratora. Trebalo je da stvorimo i proton-antiproton kolajder, kao i svakojake detektorčine da bi se videlo šta biva pri čeonim sudarima jednako ubrzanih čestica na energijama od blizu 2 TeV.

Veoma mnogo sam se zabrinuo oko procesa istraživačkog rada kad sam postao direktor Fermilaba. Kako mogu postdiplomci i novi doktori osetiti onu radost, osvajati znanje i ispoljavati stvaralaštvo na nivou jednog Raderforda i njegovih studenata; na nivou osnivača kvantne teorije; na nivou koji dostigosmo ja i moja grupica kolega kad se trebalo preznajavati pored mašine Nevis i rešavati problem za problemom? Ali što sam više sticao uvid u rad tih novih ljudi u Fermilabu, sve bolje sam se osećao. U pojedinim noćima posećivao sam zgradu koju je ispunio onaj naš divovski detektor sudara i video sam (ali samo u onim slučajevima kad me tamo nije čekao Demokrit) da su studenti silno uzbuđeni zbog svojih opita. Na divovskom ekranu sevaju sve novi opaženi događaji, koje je kompjuter 'prevodi' da bi desetak fizičara koji su u toj smeni na dužnosti mogli da shvate šta se zbiva. Ponekad naiđe događaj koji u toj meri upućuje na 'novu fiziku', da svi posmatrači uglas uzviknu.

Svaka velika istraživačka brigada sastoji se od mnogo četa u kojima je po pet do deset ljudi. Jednu četvu sačinjavaju profesor (ili dva profesora), nekoliko novih doktora i nekoliko postdiplomaca. Profa pazi na svoje jato, da ga ne izgubi u gomili. Na početku su svi u poslu da projektuju opremu koja će im trebati, da je naprave i da je provere. Tek posle se dobijaju i analiziraju podaci. U samo jednom od tih opita na kolajderu dobije se tako ogromna količina podataka da često moramo čekati da ova ili ona grupa dovrši analizu, a tek posle toga možemo da se usmerimo na sledeći problem. Mladi naučnik ili naučnica, dakle samo pojedinac u svemu ovome, odabere, možda po savetu svog profesora, jedan problem, za koji dobije saglasnost (konsenzusom) svih drugih vođa

četa. (Jer, oni svi sačinjavaju jedan savet, koji o ovome odlučuje.) A problema ima u izobilju. Na primer, kad se u sudaru proton-antiproton stvori par  $W^+$  i  $W^-$ , koji je tačan oblik tog procesa? Koliko energije odnesu te dve čestice? Pod kojim uglovima bivaju emitovane? I tako dalje. Kad se na jedno ovakvo pitanje dobije odgovor, on može biti samo 'zanimljiva pojedinost', ali može se desiti da bude i ključ za neki važan mehanizam u radu slabe ili jake sile. U devedesetim godinama, najzbuđljiviji je zadatak pronaći kvark vrh i izmeriti njegove odlike. Sve do sredine 1992. godine na ovome su radile samo četiri čete među tih 360 ljudi u detektorskoj zgradi (CDF) u Fermilabu, i to svaka četa za sebe.

I tako dođe dan kad se mladi fizičari nađu prepušteni sami sebi, prisiljeni da se rvu sa zapetljanim računarskim programima i sa neizbežnim izobličenjima do kojih dolazi zato što uređaji nisu savršeni. Njihov je problem: kako izvući jedan istinit zaključak o načinu na koji priroda dejstvuje; kako umetnuti bar još jedan komadić slagalice koja nam daje sliku mikrosveta - veoma zbunjujuću sliku. Fizičarima pomaže mnogobrojno osoblje: uvek su pri ruci kompjuterski stručnjaci za softver, drugi koji se bave samo teorijskim analizama, treći koji su umetnici traganja za makar jednim dokazom koji bi išao iole u prilog nekom provizorno nabačenom mogućem zaključku. Pretpostavimo da je primećena neka zanimljiva nepravilnost u načinu na koji, kad se proton i antiproton 'spucaju', dve  $W$  čestice polete iz tog mesta sudara. Otkud nepravilnost? Da li je nešto malčice razdešeno u našim aparatima? (Metaforično govoreći: da nam nije 'napukao mikroskop'?) Da nije u softveru našeg računara neki 'bag' - neka 'bubica', virus, kvar? Ili ta nepravilnost stvarno postoji? Ako postoji, ako je stvarna, onda, zaboga, zar ne bi nešto slično tome morao primetiti i kolega Hari u svojim analizama  $Z$  čestica? - ili koleginja Mardžori, možda, u svojoj analizi mlazeva nastalih zbog uzmaka pri sudaru?

Velika nauka postoji i kod nekih drugih drugara, a ne samo kod fizičara čestica. Astronomi zajedno rade na džinovskim teleskopima, a opažanja jednih posle proveravaju i drugi, da bi se dobili valjani podaci o kosmosu. Okeanografi takođe zajednički rade na istraživačkim brodovima koji imaju složenu sonarnu opremu, posebna ronila, posebne kamere. Biolozi imaju program istraživanja genoma; to je njima Velika nauka. Čak i hemičaru su potrebni maseni spektrometri, skupoceni laseri tačno određene boje, ogromni kompjuteri. Sve je veći broj disciplina u kojima naučnici, neizbežno, moraju deliti između sebe raspoloživo vreme korišćenja opreme koja je skupa, a neophodna za dalji napredak.

Pošto sam sve ovo ispričao, moram naglasiti da je takođe izuzetno važno da mladi naučnici umeju da rade i na druge, kudikamo tradicionalnije načine - recimo, okupljeni oko opita koji je ceo na jednom radnom stolu, gde učestvuje samo desetak njihovih kolega i jedan profesor. Tu oni imaju divnu mogućnost da izvuku neki utikač, okrenu neki prekidač, i kad su sva svetla isključena i sve prekinuto, odu kući da razmišljaju. A možda čak i da spavaju. I Mala nauka je izvor otkrića, promena, a to su doprinosi značajni za ukupno napredovanje znanja. Moramo naći pravu ravnotežu, u našoj naučnoj politici, između velikog i malog, i moramo Bogu zahvaljivati što su nam obe te mogućnosti na raspolaganju. Ali kad je u pitanju praktičan rad na daljim visokoenergetskim istraživanjima, možemo samo da maštamo o davnim vremenima kad je usamljeni naučnik sedeo u svojoj laboratoriji napravljenom u 'narodnoj radinosti' i mučkao raznobojne eliksire. To je nostalgican prizor, ali on nas neće nikada dovesti do Božije čestice.

## **POVRATAK MAŠINAMA: TRI ZNAČAJNA TEHNIČKA UNAPREĐENJA**

Mnoga su tehnička unapređenja postignuta, tako da je sad, u suštini, moguće ubrzavanje do neograničeno velikih energija... ali kad bi budžeti bili neograničeni. Što nisu. Pogledaćemo tri takva unapređenja, izbliza.

Prvi prodor bio je koncept fazne stabilnosti. To su otkrila dva naučnika u isto vreme, ali sasvim nezavisno jedan od drugog. Jedan je bio V. I. Veksler, ruski genije; drugi je bio Edvin Makmilan (Edwin McMillan), fizičar na Berkliju. Ali istu tu zamisao nezavisno je patentirao i naš sveprisutni norveški inženjer, Rolf Videroe. Fazna stabilnost toliko je



važna da zasluži pristup kroz jedno poređenje. Zamislite dve istovetne poluloptaste činije za voće. Neki grnčar ih je napravio tako da svaka ima samo malo, malečko ravno dno, na kome stoji. Sad prevrnite jednu činiju; to njeno malo ravno dno postalo je mali ravni vrh jednog poluloptastog predmeta okrenutog nagore. Uzmite dve jednake lopte. Jednu stavite u onu činiju koja normalno stoji na stolu. Drugu loptu stavite na ravni vrh prevrnute činije. Obe lopte miruju. Jesu li obe u stabilnom položaju? Nisu. Test se sastoji u tome što gurnemo i jednu i drugu. Ona koja je na vrhu, skotrlja se i ode nekud; promeni svoje stanje iz osnove. Ona koja je u činiji zakotrlja se malo uz zakrivljenje činije, pa se zakotrlja unatrag do ravnotežne tačke, prođe kroz nju, i neko vreme tako oscilira pre nego što se ipak smiri u svom ravnotežnom položaju. E, to vam je stabilnost.

Matematika naših čestica u akceleratorima ima mnogo sličnosti sa ovim opitom. Imaš neku česticu. Ona leti kroz tvoj akcelerator. Ako je dovoljno samo neko malo uznemirenje - na primer, jedan blag sudar sa atomom gasa zaostalom u cevi ili sa nekom drugom ubrzanom česticom, pa da dođe do velikih promena u kretanju čestice, onda to njeno kretanje nema osnovnu stabilnost i ranije ili kasnije ona će biti izgubljena. Ako, međutim, razni takvi poremećaji dovode samo do malih, oscilatornih iskoračenja posle kojih se čestica ipak smiri na svojoj idealnoj orbiti, onda posao ide stabilno.

Napredak u smišljanju sve boljih konstrukcionih planova za nove akceleratora bio je divna mešavina analitičkih studija (sad se to uglavnom radi kompjuterski) i pronalazjenja svakojakih domišljatih sprava i spravica, često sa osloncem na radarsku tehnologiju koja je izronila iz Drugog svetskog rata. Koncept fazne stabilnosti primenjen je u mnogim, raznovrsnim mašinama, kod kojih su radio-frekvencije prenošene na razne električne sile. Fazna stabilnost u jednom akceleratoru nastaje kad organizujemo radio-frekvenciju ubrzanja na takav način da čestica stiže pred Razmak u trenu koji je samo malčice pogrešan, što dovodi do samo male izmene putanje; već pri sledećem uletanju te čestice u taj Razmak, ovo odstupanje se samo od sebe ispravi. Dali smo ranije jedan primer ovoga, kod sinhrotrona. U stvarnosti se dešava da se odstupanje ne samo ispravi koliko treba nego i malo više nego što treba, zbog čega nastaje novo maleno odstupanje - na suprotnu stranu; i tako faza čestice osciluje, u odnosu na zadata radio-frekvenciju, kao ona lopta u zdeli: prebacuje ili podbacuje u odnosu na idealnu fazu. Postiže se dobro ubrzanje.

Drugo veliko unapređenje zbilo se godine 1952, kad je laboratorija Brukhejven dovršavala svoj akcelerator od 3 GeV kome su nadenuili naziv 'Kosmotron'. Očekivali su da im u posetu dođu evropske kolege iz laboratorije CERN u Ženevi, gde je bilo u toku projektovanje mašine od 10 GeV. Pripremajući se za ovaj susret, trojica fizičara dođoše do jednog važnog otkrića. Ta trojica bili su Stenli Livingston (rekao sam, jedan od Lorensovih studenata), Ernarst Kurant (Ernest Courant) i Hartlend Snajder (Hartland Snyder). Sva trojica pripadali su jednoj novoj rasi mačaka: bili su teoretičari akceleratora. Dosetili su se jednog načela koje se naziva jako fokusiranje. Pre nego što to opišem, trebalo bi da istaknem da su akceleratori čestica postali sami za sebe usavršena i jaka naučna disciplina. E, sad, krećemo, i to prvo od osnovnih pojmova (to se isplati raditi). Imamo Razmak, koji se zove i radio-frekventna šupljina. Čestica mora da proleti kroz to, a prolećući, dobija dodatnu energiju. Da bismo svaki ovakav Razmak koristili mnogo puta, ponovo i ponovo, mi, u suštini, pomoću magneta naterujemo čestice da jure ukруг. Koliku će najveću energiju moći čestice da dobiju u jednom akceleratoru, zavisi od dva bitna činioca: (1) koliki se najveći poluprečnik putanje može ostvariti pomoću raspoloživih magneta, i (2) koliko iznosi najveća jačina magnetnog polja koju možemo oko te putanje da stvorimo. Znači, mašinu sa višom energijom možemo da napravimo na dva načina: prvo, da joj poluprečnik bude veći, i drugo, da njeno najjače magnetno polje bude jače nego kod dotadašnjih mašina. Naravno, treći način je da postignemo i jedno i drugo.

Kad su ta dva parametra konačno određena, onda, ako bismo česticama pridodali suviše energije, one bi izletele sa putanje, izgubili bismo ih. Ciklotroni u godini 1952. uspevali su da ubrzaju čestice do samo 1.000 MeV. A sinhrotroni uopšte i ne dopuštaju proširenje poluprečnika kruženja čestice nego samo pojačavaju svoje magnetno polje postupno, od vrlo slabog na početku do veoma jakog na kraju. Sinhrotron je mašina u

obliku uštipka; u onim vremenima poluprečnik uštipka bio je tri-četiri metra, a kod nekih, najvećih, petnaestak metara. Postizane su energije do 10 GeV.

Problem kojim su se pozabavili ovi prilično bistri teoretičari u Brukhejvenu bio je: kako postići da čestice jezde napred u nekoj zbijenoj, stabilnoj formaciji, blizu one putanje kojom bi se kretala neka zamišljena, idealna čestica koju ništa ne uznemirava, kad bi bila u idealnim, matematički savršenim magnetnim poljima. Pošto su kretanja tako dugotrajna, čak i najmanji poremećaj ili neka najmanja nesavršenost magnetnog polja dovoljni su da čestice počnu da 'vrljaju' sve dalje od idealne orbite... i još dalje... i mi uskoro nemamo zrak. Znači, moramo da stvorimo uslove da ubrzanje ide postojano. Matematika ovoga bila je, rekao je jedan od ove trojice, "dovoljno zamršena da popu veže obrve u čvor".

Jako fokusiranje sastoji se u tome da izvajamo magnetna polja - damo im takav oblik da ona mogu voditi i 'pridržavati' čestice sa svih strana, tako da one ostanu što bliže idealnoj putanji. Ključna zamisao jeste da izvajamo, naravno, same magnetne. Udubljenja u njima treba da budu tako oblikovana da magnetne sile navedu česticu da oscilira brzo, ali sa majušnom amplitudom (majušnim skretanjem na bilo koju stranu) u odnosu na idealnu orbitu. To vam je stabilnost kretanja. Pre jakog fokusiranja, vakuumska cev morala je da ima poprečni presek od pola metra ili metar, pa su i magnetni polovi morali biti neke slične veličine. Pronalazak u Brukhejvenu smanjio je to na desetak, možda dvanaest centimetara. Ishod? Pa, ogromna novčana ušteda. Cena jednog akceleratorskog MeV postignute energije bitno je smanjena.

Jako fokusiranje omogućilo je, kao način ekonomisanja u našem poslu, da počnemo ozbiljno razmišljati o mašini čiji bi poluprečnik bio nekih 65 metara. Kasnije ćemo popričati o onom drugom parametru, jačini magnetnog polja. Dokle god ti koristiš gvožđe da pomoću njega vodiš česticu, najjače magnetno polje ti je oko 2 tesle, jer je to snaga posle koje gvožđe 'pomodri od muke' i ne može više. Ova trojica majstora dala su tačan opis jakog fokusiranja, u tome se sastojao njihov uspeh. Prvi put je njihova domišljatost primenjena u mašini za ubrzavanje elektrona do 1 GeV koju je u Kornelu sagradio Robert 'Brzi' Vilson. Pomenuta trojka saopštila je svoj predlog za izgradnju veoma fokusirane protonske mašine Komisiji za atomsku energiju - najobičnijim pismom, poštom. Priča se da je sve što su imali da kažu stalo na samo dve stranice! (Eh, sad bismo mogli početi žalopojke kako je danas birokratija mnogo veća... ali bio bi nam to uzaludan trud.) Komisija je odobrila zamisao i ljudi su u Brukhejvenu napravili mašinu od 30 GeV, kojoj su dali naziv AGS. Proradila je 1960. A u ženevskom CERN-u odustali su od planova za mašinu koja bi im, sa slabim fokusiranjem, davala 10 GeV, pa su pomoću ove brukhejvenske zamisli napravili umesto toga drugu mašinu, sa jakim fokusiranjem, i dobili 25 GeV - za iste pare. To njihovo je proradilo već 1959.

Pred kraj šezdesetih godina napuštena je zamisao o daljem mučenju istih magnetna da rade dva posla - da vode zrak i da ga fokusiraju. Preovladala je zamisao o 'razdvajanju funkcija': namestiš odlične dipole da vode zrak i namestiš kvadropole simetrično oko zraka (to jest, oko cevi kroz koju zrak proleće) da ga fokusiraju; oko putanje čestice načičkaš mnogo i jednih i drugih, a svaka vrsta radi svoj posao.

Koristeći matematiku, fizičari su saznali na koji će način složena magnetna polja usmeravati i fokusirati čestice; počeli su da se upotrebljavaju i magneti sa većim brojem severnih i južnih polova - sa šest, osam ili deset (sekstapoli, oktapoli i dekapoli.) Počev od 1960, kompjuteri su dobijali sve važniju komandnu i nadzornu ulogu u vezi sa protokom i naponom struje, pritiscima i temperaturama u akceleratorima. Magneti sa jakim fokusiranjem i kompjuterska automatizacija omogućili su stvaranje izvanrednih novih mašina u šezdesetim i sedamdesetim godinama.

Prva GeV mašina (sa hiljadu milijardi elektron-volti) dobila je skroman naziv Kosmotron. Počela je da radi u Brukhejvenu 1952. godine. Sledeći je bio Kornel sa mašinom od 1,2 GeV. Nabrojaćemo i druge zvezde te ere...

AKCELERATOR ENERGIJA MESTO GODINA

Bevatron 6 GeV Berkli 1954.

AGS 30 GeV Brukhejven 1960.

ZGS 12,5 GeV Argon kod Čikaga 1964.

Dvestotka 200 GeV Fermilab 1972. (od 1974. 400 GeV)  
Tevatron 900 GeV Fermilab 1983

U inostranstvu su izgrađeni akceleratori 'Saturn' (Francuska, 3 GeV), 'Nimrod' (Engleska, 10 GeV), 'Dubna' (Rusija, 10 GeV), 'KEK PS' (Japan, 13 GeV); takođe CERN-ov 'PS' (Ženeva, 25 GeV), 'Serpuhov' (Rusija, 70 GeV), 'SPS' (CERN/Ženeva, 400 GeV).

Treće veliko otkriće bilo je kaskadno ubrzanje. Ovaj koncept se pripisuje fizičaru sa Kalteka po imenu Mat Sends (Matt Sands). On se dosetio da bismo mogli poređati nekoliko akceleratora u jedan niz, s tim da svaki akcelerator bude optimalno podešen za određeni energetska razmak, recimo od 0 do 1 MeV, od 1 do 100 MeV i tako dalje. To vam je kao menjač u sportskom automobilu, svaka brzina namenjena je da omogući najdelotvornije izvlačenje vozila do sledeće, još veće brzine. Kad povećavamo energiju, ubrzani zrak postaje sve zbijeniji. Znači, mogu se smanjivati i prečnici magnetna, pa time i njihova cena. Ovo kaskadno rešenje korišćeno je pri izgradnji svih akceleratora počev od 1960. godine. Vrhunski primeri jesu Tevatron (u njega je ugrađeno pet ovakvih stepenova) i superkolajder (koji će imati šest, kad bude dovršen) u Teksasu.

### **DA LI JE VEĆE UVEK I BOLJE?**

Protutnjali smo kroz toliku raspravu o tehničkim vidovima rada na ubravanju čestica, a nismo zastali da pomislimo zbog čega je potrebno da ciklotroni i sinhrotroni budu veliki. Još su Videroe i Lorens pokazali da nije neophodno proizvoditi ogromne napone, kao što su pioniri našeg posla zamišljali, da bi se čestice ubrzale do visokih energija. Dovoljno je poslati česticu kroz niz Razmaka, ili udesiti da čestica putuje kružnom orbitom tako da jedan isti Razmak može biti upotrebljavan mnogo puta uzastopce. U kružnim mašinama preostaju samo dva parametra: jačina magnetnog polja i poluprečnik kružne putanje čestica. Graditelji akceleratora podese ova dva parametra da bi dobili onu energiju koju žele. Koliko para, toliko poluprečnika: o poluprečniku jednog akceleratora odlučuje uglavnom raspoloživa svota novca. Jačina magnetnog polja ograničena je, međutim, mogućnostima naše tehnologije. Ako ne možemo još više pojačati magnetno polje, a baš smo rešili da postignemo veću energiju, šta drugo onda da se radi - moramo da izgradimo veći krug. Znamo da u superkolajderu želimo da svaki zrak dobije energiju od po 20 TeV. Takođe znamo (ili mislimo da znamo) koliko je jak najjači magnet koji ikako možemo napraviti. Na osnovu toga izračunali smo koliko mora da iznosi obim superkolajdera: 85 kilometara.

### **ČETVRTO VELIKO OTKRIĆE: SUPERPROVODLJIVOST**

Davne 1911. godine, jedan holandski fizičar otkrio je da izvesni metali, kad se ohlade do krajnje niskih temperatura - a to znači, samo stepen-dva iznad apsolutne nule na Kelvinovoj lestvici (-273 na Celzijusovoj) - ne daju više nikakav otpor proticanju električne struje. Na takvoj temperaturi, struja bi kroz jedan krug od žice mogla da protiče, da kruži, večno, bez ikakvog daljeg utroška energije.

U tvom stanu, električna snaga se isporučuje (da bi ti mogao/mogla da je trošiš) kroz bakarne žice. Ovaj poslić obezbeđuje tvoja draga elektrodistributivna kompanija. Žice se donekle i zagrevaju zato što pružaju otpor proticanju struje: to je otprilike kao jedno trenje, koje ne dopušta struji da protiče sasvim slobodno. Na to zagrevanje žica, koje je čista šteta i rasipanje, potroši se izvesna količina energije. Zato tvoj račun za struju bude veći. Kod konvencionalnih elektromagneta koji rade u motorima, generatorima i akceleratorima, struja takođe protiče kroz bakarne žice, tako namotane da se dobija jako elektromagnetno polje. U motoru to polje obrće neke druge namotaje žice (rotor) kroz koje takođe protiče struja. Pruži ruku i opipaj motor: topao je. U akceleratoru, magnetno polje usmerava čestice i fokusira ih. Bakarne žice se ugrevaju, a začas bi se i pregrejele, ali ih hladimo tako što puštamo da kroz njih teče ogromna količina vode, obično kroz rupe koje su namerno ostavljene u debelim namotajima žice. A ako se pitate kuda otiče lova,

evo jednog podatka: Fermilabov akcelerator nakarikao je u toku 1975. godina račun za struju u ukupnom iznosu od 15 miliona dolara. Nekih 90% toga potrošili su moćni magneti u glavnom prstenu od 400 GeV.

Početak šezdesetih godina dogodilo se veliko tehničko unapređenje. Dobili smo nove legure nastale mešanjem egzotičnih metala. Ove legure su sposobne da ostanu u tom osetljivom stanju zvanom 'superprovodljivost' i kad provode kroz sebe ogromne količine struje i proizvode magnetna polja ogromne jačine. Sve to na srazmerno 'civilizovanim' temperaturama od 5 do 10 stepeni iznad apsolutne nule, što je nama neuporedivo lakše da postignemo i održavamo nego 1 ili 2 stepena koliko je potrebno kod običnih metala. Helijum ostaje prava tečnost i na 50K (sve drugo se na tako niskoj temperaturi stvrdne) i zato nam se ukazala prilika za stvarnu, praktičnu upotrebu superprovodljivosti. U većini velikih laboratorija naučnici su tada otpočeli neka posla sa žicama koje nisu od bakra nego od legura kao što je niobijum-titanijum ili niobijum-3-kalaj. Puštali su da se preko tih žica sliva tečni helijum, koji ih zadržava na temperaturi gde je tim legurama superprovodljivost još moguća.

Veliki magneti ove vrste pravljani su za detektore čestica; namestiš takve magnetne, recimo, svuda oko tvoje maglene komore. Ali nisu korišćeni u akceleratorima, u kojima se jačina magnetnog polja mora stalno povećavati dok se i energija čestica povećava. To povećavanje - dakle, menjanje - kviri nam posao zato što nastaju dejstva koja su kao trenje (vrtložne struje), i žice se zagreju, pa superprovodljivost bude upropašćena. Ogromne količine istraživačkog rada ulagane su u ovaj problem tokom nekih dvadeset mukotrpnih godina. Fermilab je, pod upravom Roberta Vilsona, bio negde na čelu ovih nastojanja. Jedan Vilsonov tim bacio se na istraživanje i razvoj superprovodnih magnetna godine 1973, ubrzo posle aktiviranja prvobitne Dvestotke. Jedna od pobuda za ulaganje ovog rada bila je i ta što se cena struje naglo povećavala zbog naftne krize koja je nastala u svetu u to doba. Drugi motiv bio je taj što su naši evropski takmaci, oni u konzorcijumu CERN u Ženevi, grabili napred.

Sedamdesete su bile mršave godine za budžete američkih naučnoistraživačkih ustanova. Posle Drugog svetskog rata, ova zemlja je bila čvrsto ispred svih u naučnom istraživanju zato što su svi ostali morali da se trude da obnove, posle ratnih razaranja, svoju privredu i svoju naučnu infrastrukturu. Pred kraj sedamdesetih, neka ravnoteža opet se uspostavila. Evropljani su gradili mašinu od 400 GeV, superprotonski sinhrotron (SPS). Za to su imali veće pare nego mi ovde, i ne samo to nego su uspeali da nameste i veći broj skupocenih detektora od kojih zavisi kvalitet istraživačkog rada. (Ta mašina označila je početak novog ciklusa u međunarodnoj saradnji, ali i u utakmici. Sada, u devedesetim godinama, Evropa i Japan su ispred Amerike u nekim oblastima istraživanja, a u nekim drugim zaostaju, ali ne mnogo.)

Vilsonova zamisao bila je sledeća: ako se otarasimo te nevolje sa vrtložnim strujama, pa okružimo ceo akcelerator superprovodnim magnetima, uštedećemo ogromne količine struje, a dobićemo jača magnetna polja, što će značiti, bez ikakvog povećanja poluprečnika, da ćemo dobijati čestice sa većom energijom. Pomagao mu je Alvin Tollestrup (Alvin Tollestrup), profesor sa Kalteka, koji je došao da u Fermilabu provede svoju slobodnu godinu (ali je to produžio i nastavio da produžava, i ostao za stalno). Vilson i Tollestrup su veoma potanko proučavali kako promene u proticanju struje i u magnetnom polju izazivaju lokalno zagrevanje. Fermilabovoj grupi pomagali su i naučnici koji su radili u nekim drugim laboratorijama, naročito oni u Raderfordovoj laboratoriji u Engleskoj. Fermilabovci su napravili stotine modela, magnetna za probu. Sarađivali su i sa metalurzima i sa onima koji se bave isključivo naukom o materijalima. Između 1973. i 1977. rešenje je najzad nađeno. Uspeli smo da pojačamo struju u superprovodnim magnetima od nule do 5.000 ampera za samo 10 sekundi, a da ne izgubimo superprovodljivost. U zimu 1978-79. godine počela je da radi jedna proizvodna linija koja je pravila magnetne sedam metara dugačke, sa izvrsnim odlikama. Godine 1983, rad Tevatrona u Fermilabu pojačan je tako što je na izlazni deo cevi dodato jedno veliko superprovodno parče - kao ono kad na izlazni deo avionskog mlaznog motora nakače još i komoru za dodatno sagorevanje. Time je energija podignuta sa 400 na 900 GeV, a potrebna snaga električne struje smanjena sa 60 na 20 megavata, a i to se većim delom troši na proizvodnju tečnog helijuma.

Kad je Vilson pokrenuo svoj program istraživanja i razvoja, 1973. godine, ukupna godišnja proizvodnja superprovodnog materijala u Americi iznosila je stotinak ili dvesta kilograma. Fermilab je, međutim, počeo da kupuje po šezdesetak hiljada kilograma godišnje, što je toj industriji omogućilo da se izgradi na sasvim drugačiji način. Glavni kupci superprovodnog materijala danas jesu one firme koje prave MRI (magnetno-rezonantne) skenere, pomoću kojih lekari, kad treba da odrede dijagnozu, zavire u pacijenta. A to je industrija koja obrne 500 miliona dolara godišnje. Može se reći da za uspeh tog posla neku malu zaslugu ima i Fermilab.

## **KAUBOJ DIREKTOR**

Čovek koji je dobrim delom zaslužan što Fermilab uopšte postoji jeste naš prvi direktor, umetnik/kauboj/konstruktor, Robert Ratban Vilson. Znae šta, ima harizme i harizme, ali on je u tom pogledu bio superšampion! Odrastao je u Vajomingu, gde je jahao konje i vredno učio u školi, i izborio se da mu daju stipendiju, pomoću koje se ubacio na Berkli. Tamo je postao student E. O. Lorensa.

Već sam opisao neimarske podvige ovog renesansnog čoveka u izgradnji Fermilaba. Dodao bih da je on bio i tehnološki mudar. Vilson je postao direktor-osnivač Fermilaba 1967. godine i obezbedio budžet od 250 miliona dolara da bi sagradio (tako je pisalo u specifikaciji) mašinu od 200 GeV sa sedam zrakastih linija. Izgradnja je počela 1968. i trebalo je da traje pet godina, ali je Vilson dovršio mašinu pre roka, godine 1972. Već 1974. radila je postojano na 400 GeV sa 14 zračnih linija, a od para namenjenih za izgradnju preostalo je nepotrošenih još deset miliona dolara. Sve to, uz najveličanstveniju arhitekturu ikada ostvarenu u ma kojoj američkoj državnoj instalaciji. Nedavno sam izračunao sledeće: da je Vilsonu povereno da upravlja, sa tim istim veštinama i sposobnostima, našim budžetom za nacionalnu odbranu tokom proteklih petnaest godina, sada bi Sjedinjene Države imale prijatan plus u budžetu, a naši tenkovi bi bili glavna tema u svetu likovnih umetnika.

Priča se da je Vilsonu prvi put palo na pamet da sagradi nešto nalik na Fermilab još na početku šezdesetih godina. Jedne od tih godina našao se u Parizu kao profesor u sklopu međunarodne razmene. Jednog dana dadoše mu zadatak i da učestvuje u javnoj sesiji slikanja. Tako se Vilson našao u Gran Šomijeju, gde je zajedno sa grupom drugih umetnika morao da sedi i crta nagu ženu - a kao model im je pozirala neka baš obilato građana. U to vreme u SAD su vođene rasprave o Dvestotki i Vilsonu se nije sviđalo ono što je čitao u pismima koja su mu stizala. I dok su svi drugi crtali okrugle sise, Vilson je crtao drugačije krugove - kako bi se zraci mogli savijati - i ukrašavao ih jednačinama. To vam je posvećenost poslu.

Vilson nije bio savršen. Prilikom zidanja Fermilaba koristio je 'prečice' da bi dobio na vremenu, ali to mu se nije svaki put uspešno završilo. Ogorčeno se žalio da je zbog samo jednog jedinog promašaja izgubio deset miliona dolara i godinu dana (inače bi završio Fermilab još 1971. godine). Umeo je on i da 'poludi'; godine 1978, zgađen sporim pritanjem budžetskih sredstava za njegov rad na superprovodljivosti, podneo je ostavku. Mene su onda pitali da postanem njegov naslednik. Ja - pravo kod njega. On mi je zapretio da će me avetinjski pohoditi ako ne prihvatim to radno mesto. Ova pretnja me je slomila. Naprosto nisam mogao izdržati pomisao da u noćima za mnom jaše Vilsonov duh na konju. I zato sam prihvatio taj posao i pripremio tri koverte.

## **JEDAN DAN U ŽIVOTU PROTONA**

Sve što je u ovom poglavlju objašnjeno možemo ilustrovati tako što ćemo opisati Fermilabov kaskadni akcelerator, koji se sastoji od pet uzastopnih mašina (sedam, ako ubrojite i ona dva prstena u kojima pravimo antimateriju). Fermilab je jedna složena koreografija, sačinjena od pet različitih akceleratora, a svaki od njih znači po jedan korak naviše u energiji i usavršenosti, kao ontogenetska rekapitulacija filogeneze (ili šta već rekapitulira).

Prvo moramo da imamo nešto što bismo ubrzavali. Skoknemo prekoputa u prodavnicu, i to u gvožđaru, i kupimo jednu od onih visokih metalnih boca u kolima se nalazi gas vodonik pod velikim pritiskom. Vodonikov atom sastoji se od jednog elektrona i jezgra koje je sasvim jednostavno - njega čini samo jedan proton. U toj jednoj boci ima dovoljno protona da Fermilab radi godinu dana. Cena: dvadeset dolara, bez kaucije (znači, ako ćemo vratiti praznu bocu). Prva mašina u kaskadi je Kokroft-Voltonov elektrostatički akcelerator, sazdan isto kao onaj prvi iz tridesetih godina. To je daleko najstariji od svih akceleratora u Fermilabu, pa ipak, kod novinara najpopularniji za slikanje zato što izgleda futuristički, ukrašen je ogromnim blistavim kuglama i kružnim prstenovima nalik na uštipak. U Kokroft-Voltonu prasne varnica i oguli elektrone sa atoma, tako da ostaju samo protoni, pozitivno naelektrisani. U tom trenutku oni, otprilike, miruju, ne idu nikud. Ta mašina ih onda ubrzava, i napravi zrak od 750 KeV koji je nanišanjen pravo ka ulazu u sledeću mašinu, a to je linearni akcelerator, skraćeno linak. Ovaj linak baci protone kroz jedan 150 metara dugačak niz radio-frekventnih šupljina (Razmaka) i time ih izvuče do 200 MeV.

Sa ovom, sada već poštovanja dostojnom energijom, oni bivaju prebačeni, magnetnim usmeravanjem i fokusiranjem, u 'buster', to jest 'dodavač snage'. To je sinhrotron, koji ih dočepa i vrti, vrti, i podigne njihovu energiju na 8 GeV. Samo pomislite: već smo postigli veću energiju nego što je imao Bevatron u Berkliju, prvi giga-akcelerator, a tek nam ostaju dva najjača prstena. Ovu dobijenu količinu protona ubrizgavamo u glavni prsten, a to nam je taj od šest i po kilometara u obimu; to je naša Dvestotka, koja je od 1974. do 1982. postizala 400 GeV, dvostruko više nego što je projektovana da postiže. Ovaj glavni prsten bio je radni konj celog Fermilaba.

Kad smo uključili i Tevatron, godine 1983, Dvestotki je život postao nešto lakši. Sada ona povuče protone samo do 150 GeV, a onda ih dodaje superprovodničkom Tevatronu, čiji je prsten tačno istog poluprečnika kao glavni, ali je ukopan nešto dublje u zemlju - samo dva-tri metra dublje. Kad Tevatron primenjujemo na konvencionalan način, superprovodni magneti dohvate česticu i nose je ukrug, ukrug, 50.000 puta u sekundi, a pri svakom krugu ona dobije još po, približno, 700 KeV; posle nekih 25 sekundi izvučena je do energije od 900 GeV. Sada kroz magnetu protiče struja snage 5.000 ampera, a jačina njihovog magnetnog polja povećala se na 4,1 tesla, što je više nego dvostruko jače od onog što se može dobiti od starih, gvozdениh magnetu. Energija koju treba trošiti da bi se održala struja jačine tih 5.000 ampera jednaka je približno nuli! Tehnologija superprovodnih legura neprestano se poboljšava. Do godine 1990. toliko je poboljšana, da će u superkolajderu biti postizana magnetna polja jačine šest i po tesli, a oni drugari u CERN-u rade svim silama da tu tehnologiju poguraju do možda krajnjih granica mogućih za niobijumske legure - 10 tesli. Godine 1987. otkrivena je nova vrsta superprovodnika, sa keramičkim materijalima kojima je dovoljno i hlađenje samo tečnim azotom. Tu su se ljudi mnogo ponadali da će troškovi biti drastično smanjeni, ali potrebna jaka magnetna polja još nisu postigli; zasad niko ne može predvideti kad će, i da li će ikad, ti novi materijali zameniti leguru niobijuma i titanijuma.

Dobro. Mi smo u Tevatronu gde je ograničenje 4,1 tesle. Sad elektromagnetne sile 'ritnu' protone i izbace ih na jednu orbitu koja ih izvede sasvim iz te mašine. Oni uleću u jedan tunel. Tu ih raspodelimo na ukupno 14 zračnih linija - znači, od jednog mlaza napravimo 14 manjih, zasebnih mlazeva. Svakome od tih mlazeva po jedna ekipa naučnika podmetne metu, u koju mlaz udari, ali namesti i detektore da vidi šta će onda da bude. U ovom našem programu, gde se protonima nameštaju nepokretne mete, radi nekih hiljadu fizičara. Mašina radi u ciklusima. Treba joj oko 30 sekundi da postigne sva ta pomenuta ubrzanja. Onda prosipa svoj zrak, ne sve odjednom nego malo-pomalo, tokom dvadesetak sekundi, da eksperimentatori ne bi bili zasuti prevelikom količinom čestica što bi im pokvarilo opit. To je jedan ciklus. On se svakog minuta ponovi iz početka.

Spoljašnji zrak - to je onaj koji, već krajnje ubrzan, izleće iz Tevatrona - veoma je usko fokusiran. Moje kolege i ja izveli smo jedan opit sa vrlo oštrim brijačem. Zrak smo usmerili u 'proton-centar', vodili još dva i po kilometra, i njime gađali oštricu brijača. Protoni su pogađali samo oštricu i odbijali se o njenu debljinu, koja je manja od stotog dela milimetra. Opit je potrajao nedeljama i zrak je svakog minuta ponovo i ponovo

pogađao i nijednom nije promašio; njegova kolebanja bila su mnogo manja od debljine te mete.

Drugi način korišćenja Tevatrona jeste kolajderski, sudarni. To je nešto sasvim drugo. Zaslužuje da se objasni natanane. Na početku, protoni ušpricani u Tevatron kruže i kruže, ali ne dobijaju nikakvu novu energiju - ostaju na 150 GeV, sa koliko su i ušli. Oni čekaju antiprotone. U pravom trenutku, naš izvor 'pi-bara', to jest antiprotona, uradi svoj posao: proizvede antiprotone i baci ih u Tevatronov prsten, ali tako da se kreću u suprotnom smeru, protonima u susret. Kad imamo u Tevatronu oba ta zraka, počnemo da pojačavamo magnetna polja. Time ubrzavamo oba. (O tome uskoro detaljnije.)

U svakoj fazi ovog našeg radnog niza, kompjuteri kontrolišu magnetne i radio-frekventne sisteme, tako da protoni ostaju čvrsto zbijeni i vođeni. Senzori daju informacije o jačini i naponu raznih struja, o pritiscima, temperaturama, o mestu gde se protoni trenutno nalaze, kao i najnovije berzanske izveštaje. Samo jedna greška, i zrak bi mogao da izleti sa predviđene putanje i zarije se u okolne magnetne. U njima bi izbušio rupicu, vrlo finu i... vrlo skupu. Ovo se nikad nije dogodilo. Do sada.

### **ODLUKE, ODLUKE: PROTONE ILI ELEKTRONE?**

Napričismo se toliko o protonskim mašinama, a protoni, ipak, nisu naša jedina mogućnost. Kod njih je fino to što ih možemo jeftino ubrzavati, sve do hiljade milijardi elektron-volti. Superkolajder će ih ubrzavati do 20 biliona eV. Zapravo, možda ne postoji teorijska gornja granica energije koja bi se tako mogla dostići. Ono što kod protona ne valja, to je što su puni drugih čestica - kvarkova i gluona. Kad se samo jedan proton raspuca o metu, iz njega izleti... svašta. Zato neki fizičari više vole da ubrzavaju elektrone, koji su kao tačka, kao a-tom. Baciš tačku u sudar, sudar ostane čist. Ili, bar, čistiji nego sa protonom. Ali kod elektrona, opet, ne valja to što im je masa daleko manja, pa je teško i skupo ubrzavati ih. Veliku količinu elektromagnetnog zračenja moramo utrošiti da bismo tako malenu masu vodili željenom kružnom putanjom. To zračenje se rasipa, odlazi na sve strane. Da bismo nadoknadili gubitak, moramo trošiti dodatne količine struje. Odoše pare. Međutim, upravo ovo zračenje, koje sa našeg gledišta 'ide u štetu', nekim drugim naučnicima ide baš u korist zato što je veoma snažno i veoma visoke frekvencije. Postoje mnogi kružni akceleratori elektrona koji, u stvari, ne rade ništa drugo korisno - posvećeni su u celosti proizvodnji ovih sinhrotronskih elektromagnetnih zračenja. Dolazi mnogo mušterija: biolozi koji pomoću snažnih fotonih zraka proučavaju ogromne molekule; proizvođači elektronskih čipova, koji rade rendgensku litografiju; proučavaoci kondenzovane materije, koji proučavaju strukturu materijala, i mnogo drugog sveta koji se bavi tim, tako, praktičnim stvarima.

Jedan način da se izbegne ovaj gubitak energije bio bi da se upotrebi linearni akcelerator, kao što je onaj tri kilometra dugačak linak u Stenfordu, SLAC, sagrađen još početkom šezdesetih. Tu stenfordsku mašinu prvobitno su zvali 'M', što je bilo skraćeno od 'Monstrum'; bio je stvarno, za svoje vreme, čudovišno veliki. Počinje kod stenfordskog studentskog grada, nekih četiri stotine metara od raseline Sveti Andreja, i pruža se ka zalivu San Francisko. SLAC za svoje postojanje ima da zahvali zamahu i snalažljivosti svog prvog direktora, Volkanga Panofskog (Wolfgang Panofsky). Ali, vidite, Dž. Robert Openhajmer mi je ispričao da su taj sjajni Panofski i njegov jednako sjajni brat-blizanac Hans išli na Prinston zajedno, postigli obojica zvezdano visok akademski uspeh, ali jedan je ipak za dlaku bolji od drugog. Od tada ih zovu, rekao je Openhajmer, Pametni Panofski i Glupi Panofski. Ali koji je koji? "To je tajna!" izjavljuje Wolfgang. A zvali smo ga, uistinu, Pif.

Razlike između Fermilaba i Prinтона su očigledne. Ovaj radi protone, onaj elektrone. Ovaj je okrugao, onaj ravan. A kad kažemo da je linearni akcelerator prav, to znači stvarno u pravoj liniji. Na primer, pretpostavimo da neko izgradi tri kilometra druma. Građevinari jemče da je drum prav kao strela, ali nije. On je zakrivljen u skladu sa vrlo blagim zakrivljenjem površine planete Zemlje. Geometru koji stoji na njemu izgleda sasvim prav, ali viđen iz kosmosa, to je jedan blagi luk. Za razliku od toga, cev kroz koju se kreću elektroni SLAC-a jeste prava. Kad bi Zemlja bila savršena kugla, ovaj linak bio

bi trikilometarska tangenta na njenu površinu. Mašine sa elektronima su se namnožile po svetu, ali je SLAC ostao najspektakularnija od njih, ubrzavao je elektrone do 20 GeV u 1960. godini i do 50 GeV u 1989... a onda su Evropljani preuzeli stvari u svoje ruke.

### **KOLAJDERI PROTIV META**

Dobro, znači ovo su naše mogućnosti izbora do sad. Možeš ubrzavati protone, ili elektrone; i možeš ih ubrzavati u krugovima ili u pravoj liniji. Ipak, mora još jedna odluka da se donese.

Konvencionalni način sudaranja sastoji se u tome što 'spasemo' jedan zrak iz njegovog magnetnog zatvora i pustimo ga da poleti - naravno, uvek kroz cevi u kojima je vakuum - do mete. Kada se zrak zabije u metu, nastanu sudari. Objasnili smo kako analiza tih sudara daje informacije o subnuklearnom svetu. Ubrzana čestica donosi sa sobom izvesnu količinu energije, ali samo deo te energije stvarno posluži svrsi, istraživanju prirode na vrlo malim razdaljinama ili proizvodnji novih čestica pomoću  $E = mc^2$ . Zakon o očuvanju impulsa kaže da će jedan deo unete energije biti očuvan i naprosto predat konačnim proizvodima sudara - to će sad biti njihov impuls. Neka nam ovo posluži kao poređenje: autobus u punom zaletu tresne u kamion. Veliki deo tog impulsa biće prenet na razne komade metala, gume i stakla koji će poleteti napred, u smeru kojim se do sudara kretao autobus. To odnosi deo energije, što znači da nije sva utrošena na rasturanje kamiona; mogao je biti još potpunije razlupan.

Ako 1.000 GeV tresne u jedan proton koji miruje, priroda insistira na tome da čestice koje odatle proisteknu, ma koje bile, moraju imati ukupno kretanje napred jednako kretanju koje je proton-upadač doneo. Kad se ovo lepo izračuna, pokaže se da samo 42 GeV (od tih hiljadu) preostaju za pravljenje novih čestica.

Mi smo negde sredinom šezdesetih godina shvatili, konačno, da bismo postizali daleko silovitije sudare kad bismo udesili da dva zraka, svaki ubrzan najviše što je u tom akceleratoru moguće, pojure jedan drugome pravo u susret, pri čemu se čestice sudare čeonice (čeoni sudar). Ista energija akceleratora bila bi u isti sudar uložena dvaput i bila bi sva na raspolaganju, jer je uneti momenat sile jednak nuli zato što se jednaki, ali suprotni impulsi dvaju sudarenih čestica u tom slučaju međusobno oduzimaju, to jest potiru. Ergo, u akceleratoru od 1.000 GeV čeoni sudar dve čestice ostavlja nam na raspolaganju 2.000 GeV energije samo za pravljenje novih čestica, a ne 42, kao kad smo gađali nepomičnu metu. Ima, doduše, i jedna 'kazna' da se plati. Nije problem iz mitraljeza pogoditi ambar; ali jeste malo nezgodno udesiti da se dva mitraljeza uzajamno gađaju tako da se kuršumi sudaraju u vazduhu. To vam je ta nezgodacija kod rukovanja akceleratorom u kome se zraci sudaraju - kolajderom.

### **PRAVLJENJE ANTIMATERIJE**

Na Stenfordu je posle prvog kolajdera napravljen i drugi, veoma produktivan. Nazvaše ga SPEAR ('Stanford Positron-Electron Accelerator Ring' - 'Stenfordski pozitron-elektron akceleratorski prsten'). Dovršen je 1973. godine. Tu se, u linearnom akceleratoru dugačkom tri kilometra, zrak elektrona ubrzava do energije koja iznosi između 1 i 2 GeV, a onda se ostavlja da kruži i kruži u jednom malom magnetnom prstenu koji služi samo za to, za čuvanje već ubrzanih elektrona. Pozitroni, čestice Karla Andersona, proizvodimo pomoću jednog niza reakcija. Prvo jakim zrakom elektrona bombardujemo neku metu, što dovodi do proizvodnje, između ostalog, i jednog jakog zraka fotona. Magneti raskrče svakojaki krš naelektrisanih čestica - počiste ih sve u stranu; ali ne utiču na fotone, koji su neutralni. Tako dobijenom čistom zraku fotona dozvolimo da udara u metu koja je načinjena od vrlo tankog lista nekog materijala, recimo platine. Najčešći ishod je taj da se čista energija fotona pretvara u jedan elektron i jedan pozitron; u kretanju ta dva očuvana je upadna energija fotona minus ono što je masa mirovanja dvaju stvorenih čestica.



Jedan magnetni sistem uspeva da pokupi bar deo nastalih pozitrona. Njih ubrzavamo i bacamo u onaj prsten za čuvanje, u kome ubrzani elektroni za sve to vreme strpljivo jure ukруг, ukруг... Pošto elektroni i pozitroni imaju suprotno naelektrisanje, magnet ih zavrće na suprotnu stranu. Ako mlaz jednih juri u smeru kretanja kazaljki na satu, mlaz onih drugih juriće u suprotnom smeru. Jasno nam je šta će se onda desiti: sudariće se čeonu. Ovaj SPEAR je postigao nekoliko značajnih otkrića, kolajderi su postali popularni, i da vidite koja su poetična imena podarena svetu. Naravno, na engleskom spear znači koplje. Pre ovog našeg koplja, bio je ADONE (Italija, 2 GeV); posle SPEAR-a (3 GeV), došetala je DORIS (Nemačka, 6 GeV), pa PEP (opet Stenford, 30 GeV); PETRA (Nemačka, 30 GeV); CESR (Kornel, 8 GeV), pa ruski VEPP, onda TRISTAN (Japan, 60 do 70 GeV), LEP (CERN, 100 GeV) i SLC (Stenford, 100 GeV). Imajte na umu da se kolajderi rangiraju tako što se sabere energije oba zraka. Na primer, LEP daje 50 GeV jednom svom zraku, a drugom još 50 GeV, dakle to je mašina od 100 GeV.

Godine 1972 postali su nam dostupni i sudari proton-proton, takođe čeonu, u prvoj instalaciji te vrste na svetu, u CERN-u. To je instalacija ISR (Intersecting Storage Rings) u kojoj postoje dva nezavisna prstena. Iako su zasebni, ti prstenovi se ipak prepliću. Kroz oba prstena jure protoni, ali u suprotnim smerovima. Namešteno je osam tačaka preseka, gde se protonski zrak iz jednog ukršta sa protonskim zrakom iz onog drugog smera i gde dolazi do čeonog sudara. Vi možete naterati materiju i antimateriju, na primer elektrone i pozitrone, na kruženje kroz samo jedan prsten, a zatim sudaranje, jer isti magneti teraju materiju u jednom, a antimateriju u suprotnom smeru; ali kad hoćete tako nešto da izvedete sa protonima, morate izgraditi dva odvojena prstena.

U tom ISR, svaki prsten ispunjava se protonima koji su već ubrzani do 30 GeV, a proizvedeni u jednom konvencionalnijem CERN-ovom akceleratoru, koji se zove PS. Instalacija ISR bila je, na kraju, veoma uspešna, ali kad su je Švajcarci prvi put stavili u dejstvo, godine 1972, postizano je samo po nekoliko hiljada sudara u svakoj od tih osam tačaka 'visoke luminoznosti'. Termin 'luminoznost' koristimo u smislu: broj sudara u sekundi. Ti rani jadi ISR-a pokazali su koliko je teško udesiti da se zrna ispaljena iz dva mitraljeza (to jest, protoni iz dva pravca) sudaraju međusobno. Preduzete su razne popravke, pa se nekako doguralo do 5 miliona sudara u sekundi. Naučni učinci instalacije ISR bili su... šta reći. Skromni. Neka važna merenja su ostvarena. Ali glavna korist od ISR-a bila je, ipak, trenazna; tu smo učili neke tehnike rada sa kolajderima, a naročito tehnike otkrivanja. ISR beše elegantna mašina, kako po tehničkim osobinama, tako i po izgledu. Tipičan švajcarski rad. Tamo sam radio tokom moje slobodne godine, 1972, a i u sledećih deset godina sam navraćao često. Prilikom jednog od prvih takvih mojih povrataka, poveo sam u obilazak I. I. Rabija, koji je tada boravio u Ženevi da bi učestvovao na konferenciji 'Atomi za mir'. Čim smo ušli u elegantno uređeni akceleratori tunel, Rabi uzviknu: "Ah! Patek Filip!"

Građenje najtežeg od svih kolajdera, a to je onaj u kome se bacaju protoni na antiprotonu, bilo je moguće zahvaljujući pronalasku jednog slavnog Rusa, Geršona Budkera. Taj Geršon radio je u ruskom 'gradu nauke' - Novosibirsku. Budker je do tada gradio po Rusiji mašine sa elektronima. U tome se takmičio sa svojim američkim prijateljem, Wolfgangom Panofskim. Onda sovjetska vlast baci Budkera u Sibir, u taj novoizgrađeni naučnoistraživački kompleks. Kaže Budker: pošto oni tamo nisu na sličan način bacili Panofskog na Aljasku, takmičenje je postalo neravnopravno, pa sam morao ja da smislim nešto novo.

U Novosibirsku je u pedesetim i šezdesetim godinama Budker vrlo uspešno vodio jedan čisto kapitalistički sistem prodaje malih akceleratora sovjetskoj industriji u zamenu za materijal i pare potrebne da se istraživački rad nastavi. Budkera su oćaravali izgledi da upotrebi antiprotonu kao jednu stranu u sudaranju u akceleratorima, ali je shvatio da se antiprotonu teško daju nabaviti. Jedino ih možeš naći posle visokoenergetskih sudara, u kojima se proizvode - pomoću koje jednaćine, šta mislite? Da, da. Pomoću  $E = mc^2$ . Mašina sa mnogo desetina GeV davaće, u gomili raznog krša posle svojih sudara, i poneki antiproton. Da bi čovek prikupio dovoljno antiprotona za neko kasnije korisno sudaranje sa protonima, morao bi ih 'hvatati' satima. Što je najgore, antiprotonu, kada se u nekoj meti stvore prilikom sudara, izleću zaista na sve strane. Akceleratori naućnici vole da iskazuju ta kretanja u terminima glavnog pravca, energije i suvišnih kretanja (odstupanja

od glavnog pravca) koja odvede česticu u one delove vakuumske komore gde mi to ne bismo želeli. Budker je video jednu mogućnost da se ova suvišna kretanja antiprotona 'ohlade' i da se antiprotoni prikupe u jedan, mnogo gušći zrak i tako šalju na čuvanje. To je složen posao. Prvo su morali biti dostignuti novi nivoi savršenstva u kontroli zraka, stabilnosti magneta i čistoći ultračistog vakuuma. Antiprotone treba hladiti, čuvati i polako prikupljati možda deset ili više časova; tek tad ih bude dovoljno za ubacivanje u kolajder i ubrzavanje. To je bila jedna lirska zamisao, ali put do ostvarenja bio je mnogo složeniji nego što je Budkeru, sa ograničenim izvorima u Sibiru, bilo izvodljivo.

Ulazi nova ličnost, Simon Van der Mer (Simon Van der Meer), holandski inženjer zaposlen u CERN-u, koji je ovu tehniku hlađenja unapredio pred kraj sedamdesetih godina i pomogao da se izgradi prvi antiprotonski izvor koji je onda stvarno i upotrebljen u prvom kolajderu proton-antiproton. Der Mer je iskoristio CERN-ov prsten od 400 GeV i za čuvanje i za sudaranje; prvi sudari p/p- krenuli su 1981. godine. Van der Mer je 1985. dobio Nobelovu nagradu zajedno sa Karlom Rubijom (Carlo Rubbia) za svoj doprinos - nazvan 'stohastičko hlađenje' - Rubijinom programu; ishod je bio taj da su otkrivene čestice  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$ , o kojima ćemo kasnije reći više.

Karlo Rubija je tako živopisna ličnost da zaslužuje da se o njemu napiše cela jedna knjiga, a toliko je i dobio. (Nobelovi sni, autor Gari Taubs /Gary Taubes/.) Jedan od blistavijih studenata na zastrašujućoj Skuola Normale u Pizi (gde je studirao i Enriko Fermi), Karlo je generator koji se nikad ne može zaustaviti. Radio je na mašini Nevis, pa u CERN-u, pa na Harvardu, pa u Fermilabu, pa opet u CERN-u, pa opet u Fermilabu. Pošto je toliko putovao, razvio je složen matematički sistem za minimalizovanje troškova, zasnovan na tome da uvek razmenjuje kod avio-kompanija svoje neutrošene 'do' i 'od' polovine povratnih karata. Jednom sam uspeo da ga ubedim (ali ne zadugo) da će zbog tog sistema imati, u trenutku kad bude odlazio u penziju, neutrošenih osam celih karata, i to sve za letove sa zapada na istok. Godine 1989. Rubija je postao direktor CERN-a. U to doba ova zajednička evropska institucija već je držala, šest uzastopnih godina, svetsko vođstvo u sudarima proton-antiproton. Ali otprilike tad kad se on tamo popeo na vlast, Fermilab im je preteo prvo mesto zato što smo mi ovde sa našim Tevatronom poboljšali CERN-ov sistem rada i uveli u upotrebu naš, bolji izvor antiprotona.

Niti antiprotoni rastu na drveću, niti ih možete kupiti u gvoždari. Sad su devedesete godine, a najveći svetski magacin antiprotona jeste ovde u Fermilabu. Držimo ih u jednom magnetnom prstenu. Bila je jedna futuristička studija koju je izvelo američko ratno vazduhoplovstvo u saradnji sa korporacijom 'Rend'. Došli su do zaključka da bi idealno raketno gorivo bili antiprotoni zato što jedan miligram antiprotona sadrži istu količinu energije kao dve tone benzina. Pa, pošto je Fermilab svetski prvak u proizvodnji antiprotona (mi pravimo 10<sup>10</sup> toga na sat), koliko bi nam vremena trebalo da prikupimo jedan miligram? Trebalo bi nam, ako ovako nastavimo, nekoliko miliona godina, pod pretpostavkom da to radimo dvadeset četiri sata na dan. Neke neverovatno optimističke pretpostavke o budućim tehnološkim poboljšanjima smanjile bi ovaj rok na samo nekoliko hiljada godina. Zato vam savetujem da ne uložite svoju ušteđevinu u Zadrugu za antiprotonsko gorivo 'Solidnost'.

U Fermilabu sudari idu ovako. Uključimo stari dobri 400 GeV akcelerator (glavni prsten), ali da radi na samo 120 GeV, i on baca protone u jednu metu, i to svake dve sekunde ponovo. Pri svakom takvom sjurivanju 10<sup>12</sup> protona u metu proizvede se i nekih 10 miliona antiprotona - govorim samo o onima koji idu u poželjnom pravcu i imaju poželjan iznos energije. Na svaki takav antiproton dobijemo i hiljade neželjenih pi-mezona, kaona i drugog otpadnog materijala, ali sve je to nestabilno i zato, ranije ili kasnije, nestane. Antiprotone fokusiramo i uvodimo u jedan magnetni prsten za koji imamo naziv 'dibančer'. Tu ih obradimo, organizujemo i sabijemo, a zatim prebacimo u drugi prsten, 'akumulator', koji služi da se oni u njemu nakupljaju, nagomilavaju. Obim 'dibančera' je oko 150 metara, obim 'akumulatora' isto toliko. Antiprotoni koji kruže kroz njih imaju energiju od 8 GeV, istu kao što daje naš buster-akcelerator, onaj što nam je treći po redu. Pet do deset sati radimo da bismo napabirčili dovoljno antiprotona. Kad ih imamo dovoljno, možemo ih ubrizgati natrag u akceleratorski kompleks. Čuvati antiprotone, to je delikatan posao zato što je sva naša oprema napravljena od materije (molim lepo, od čega bi drugog?), a antiprotoni su antimaterija. Ako antiprotoni dođu u

dodir sa materijom - bum! Anihilacija. Zato moramo veoma dobro da pripazimo da antiprotoni budu uvek negde blizu sredine vakuumske cevi. A kvalitet vakuuma mora biti izuzetan; mora to biti najbolje ništa koje se našom tehnologijom može kupiti.

Posle, recimo, deset sati pabirčenja antiprotona i njihovog održavanja u zbijenom mlazu, spremni smo da ih štrcnemo nazad u akcelerator odakle su i došli. Počinjemo proceduru koja podseća na ono kad NASA lansira kosmičku raketu. Imamo odbrojavanje, veoma napeto, čija je svrha da obezbedi da svaki protok struje, svaki napon, svaki magnet, svaki prekidač budu tačno kako treba. Ispalimo ih u glavni prsten, gde oni kruže suprotno od smera kazaljke na satu zato što su negativni. Tu ih ubrzamo na 150 GeV i onda premestimo, opet pomoću naših elegantnih magnetnih trikova, u Tevatronov superprovodni prsten. A tu čekaju, još odavno, protoni, koji strpljivo i neumorno kruže, kruže, ali, naravno, u smeru kazaljke na satu. Sad imamo dva zraka u istoj cevi. Oni 'trče' jedan nasuprot drugome. Svaki podelimo na šest 'gomilica' čestica, a u svakoj gomilici bude 1012 protona i nešto manji broj antiprotona.

Nagazimo do daske: oba zraka podignemo sa 150 na 900 GeV, što je Tevatronov maksimum. Poslednji korak je 'sažimanje'. Pošto su oni jurili kroz istu cev u suprotnim pravcima, neminovno je dolazilo do sudara proton/antiproton, ali veoma retko. Debljina mlaza protona je nešto kao slamka kroz koju pijete razne sokove (tri-četiri milimetra), a debljina mlaza antiprotona takođe toliko. Postupak zvani stiskanje sastoji se u tome da uključimo dotok energije posebnim četvoropolnim magnetima koji 'slamku' sabiju na 'vlas ljudske kose' (izvestan broj mikrona). Ovim zbijanjem, gustina čestica se ogromno poveća. Sad se pri svakom proletanju jednog zraka kroz drugi desi bar jedan sudar proton/antiproton. Magnete malo 'vučemo za nos' tako da se ovi sudari dešavaju tačno u središtu detektora. Ono što preostaje, moraju mali trkači da urade sami.

Kad postignemo da operacija krene stabilno, uključujemo detektore i počinjemo da prikupljamo podatke. U tipičnom opitu, to prikupljanje podataka potraje sledećih deset ili dvadeset sati. Za to vreme stari, dobri glavni prsten nakuplja nove količine antiprotona. Vremenom i protonski i antiprotonski zrak postaju sve više difuzni, a i sve siromašniji. Zato dobijamo sve manji broj 'događaja', to jest sudara. Kad luminoznost (rekoh, to je broj sudara u sekundi) spadne na nekih 30 posto početne, oba zraka pustimo da odu, da izlete iz akceleratora. Dakle, njih više nema, cev je prazna. Naravno, to uradimo samo ako smo sigurni da je napabirčena dovoljna količina novih antiprotona da se sve počne iz početka. Sad opet ono odbrojavanje kao da NASA ispaljuje nešto u kosmos. Treba nekih pola sata rada da se Tevatronov kolajder napuni. Smatra se da je oko 200 milijardi antiprotona pristojan broj sa kojim se može ići u novi ciklus posla. Ukoliko je više od 200 milijardi, utoliko bolje. Ubrizgamo ih. Njima u susret leti nekih 500 milijardi protona, koje smo neuporedivo lakše pribavili. U detektoru bude stotinak hiljada sudara u sekundi. Spremili smo razna poboljšanja u ovom procesu i trebalo bi da ih ugradimo do kraja ovog veka. Tada će se ovi brojevi povećati otprilike desetostruko.

Godine 1990. CERN-ov p/p- kolajder se penzionisao, tako da je to polje rada sad prepušteno Fermilabu i njegovim moćnim detektorima.

## **OSMATRANJE CRNE KUTIJE: DETEKTORI**

Znanje o subnuklearnom području stičemo tako što osmatramo, merimo i proučavamo sudare izazvane visokoenergetskim česticama. Ernest Raderford je zatvarao svoju ekipu u mračnu komoru, pa su ljudi uspevali da vide i prebroje svetlucanja od udara alfa-čestica po cink-sulfidnim ekranima. Naše tehnike prebrojavanja čestica znatno su usavršene od tada, posebno u razdoblju posle Drugog svetskog rata.

Pre Drugog svetskog rata glavni alat bila je maglena komora. Anderson je pomoću nje otkrio pozitron. Mogli ste da vidite maglenu komoru u laboratorijama za istraživanje kosmičkih zraka, širom sveta. Moj zadatak na Kolumbiji, kad sam spremao doktorsku disertaciju, bio je da napravim maglenu komoru koja će raditi sa ciklotronom Nevis. Pošto sam bio postdiplomac, i to potpuno zelen, nisam znao ništa od onog istančanog, majstorskog znanja koje je potrebno za maglenu komoru; a takmičio sam se, eto, sa stručnjacima koji su radili isto to na Berkliju, Kalteku, Ročesteru i na drugim takvim

mestima. Maglene komore su osjetljiva i ćudljiva stvorenja, lako se 'otruju', ako u njih prodre neka nečistoća koja stvara neželjene kapljice što postaju 'konkurencija' onim željenim - tragovima proletanja čestica. Niko na Kolumbiji nije imao nikakvo iskustvo sa ovom ogavnom vrstom detektora. Pročitao sam svu literaturu koja je postojala, a takođe sam usvojio sva sujeverja: staklo čisti natrijum-hidroksidom, pa ispiraj vodom tripud destilovanom; gumenu dijafragmu prokuvaj u stopostotnom metil-alkoholu; mumlaj bajalice, i to ne bilo koje nego... Pa, i malo molitve možda neće škoditi.

U očajanju, pokušao sam da nađem rabina koji bi blagoslovio moju maglenu komoru. Na nesreću, namerio sam se na pogrešnog rabina. Taj je bio pravoveran, veoma religiozan, i kad sam ga pokušao navesti da očita bruhu za moju maglenu komoru, on je zatražio objašnjenje: šta je to maglena komora. Pokazao sam mu fotografiju, a on se silno naljutio: kako se usuđujem da dođem kod njega sa tako svetogrđnim... Sledeći tip kod koga sam pokušao bio je konzervativni rabin. Kad je video fotografiju, zapitao je kako maglena komora dejstvuje. Ja počnem da objašnjavam. On sluša, klima glavom, gladi bradu i najzad saopšti tužnim glasom da ne može. "Zakon..." Odem najzad kod rabina one treće vrste - kod reformiste. Stignem pred njegovu kuću upravo kad je tip izlazio iz svog automobila, jaguara XKE. "Rabine, možete li mi očitati bruhu za moju maglenu komoru?" počnem da moljakam. "Bruhu?" odgovori on. "Šta ti je to bruha?" Brige, brige.

Najzad sam bio spreman za veliku probu. U tom trenutku trebalo je da sve već dejstvuje, ali kad god smo komoru upotrebili, dobio sam samo gusti beli 'dim'. Tih dana došao je na Kolumbiju Đilberto Bernardini, pravi stručnjak, i počeo da gleda preko mog ramena.

"Pronto, a ono bronza sipka, u komora, sta to bilo?" pita on.

"To mi je radioaktivni izvor", kažem ja. "Da bih dobio tragove. Ali dobijam samo beli dim."

"Ti izvaaa-di."

"Molim? Da izvadim bronzanu šipku?"

"Ma si, si! Sipka izvaaaadi!"

I ja uhvatim bronzanu šipku, izvučem je iz komore. Nekoliko minuta kasnije... Tragovi! Divni krivudavi tragovi proletanja čestica, samo frcaju kroz moju komoru: pif, paf! Najlepši prizor koji sam ikada video. A desilo se ovo. Ta šipka je bila moj milikirijski izvor zračenja. Ali bio je to izvor daleko prejak. Zato se cela komora ispunjavala jonima, a svaki jon dobije po jednu kapljicu. Ishod: gusta belina, izgledom kao dim. Nije, zapravo, ni bio potreban nikakav izvor radioaktivnosti. Kosmički zraci pogađaju sve nas i sve oko nas, pa i maglene komore koje uspemo da skrpimo. To je bila, u mom slučaju, sasvim dovoljna radioaktivnost. Ecco!

Pokazalo se da je ta moja maglena komora jedan veoma produktivan uređaj. U maglenoj komori, kao što rekosmo, duž putanje čestice obrazuju se majušne kapi vode, koje daju beli trag, kao končić, koji se može fotografisati pre nego što nestane. Ako dodamo magnetno polje, tragovi će se povijati na jednu ili na drugu stranu. Merenjem poluprečnika ovog zakrivljenja putanje dobijemo impuls kojim je ta čestica raspolagala. Što je trag praviji (manje savijen), to je, dakle, čestica imala veći impuls. (Pamtimo protone u Lorensovom ciklotronu: oni su dobijali sve veći i veći impuls, pa su zato opisivali putanju sve većeg poluprečnika, koja se spiralno širila.) Ovu moju maglenu komoru slikali smo hiljadama puta i doznali mnoštvo raznih podataka o odlikama piona i muona. Maglena komora - gledana kao uređaj za naučno istraživanje, a ne kao sredstvo za dobijanje doktorske titule i doživotnog univerzitetskog zaposlenja, kako sam je ja upotrebio - omogućuje da se prave fotografije na kojima bude uhvaćeno i po deset, pa i više sudara. Pion prohuji kroz komoru za, približno, jedan milijarditi deo sekunde. Ako mu namestimo na put ploču od nekog gustog materijala, pion će se možda sudariti sa nečim na toj ploči; ishodi toga biće uhvaćeni na možda svakoj stotoj fotografiji. A pošto smo pravili po jednu sliku na minut, naš tempo prikupljanja podataka bio je prilično ograničen.

## **MNOGO POSLA, MALO MEHURIĆA**

Sledeći korak napred bila je komora, ali ne maglena nego sa mehurićima. Pronašao ju je sredinom pedesetih godina Donald Glejzer (Donald Glaser), koji je tada bio na Mičigenskom univerzitetu. Prva mehurasata komora bio je jedan naprstak pun tečnog vodonika. Poslednja koju je iko ikad upotrebio otišla je u penziju 1987. u Fermilabu; bilo je to bure od nerđajućeg čelika i stakla, 5 metra široko i 3 visoko.

U komori koja je ispunjena tečnošću - na primer, tečnim vodonikom - majušni mehuri nastaju duž putanje kojom proleti neka čestica. Oni su posledica ključanja, koje je nastalo zato što smo naglo, baš tada, snizili pritisak u tečnosti. Sniženje pritiska je takvo da se sad najednom sva ta masa tečnosti nalazi iznad tačke ključanja. (Znamo da tačka ključanja zavisi ne samo od temperature nego i od pritiska. Možda ste nekad boravili u kući na nekoj visokoj planini i pokušali da skuvate jaje. Pritisak vazduha je tamo nizak. Voda ključa na znatno manje od 100 stepeni Celzijusa.) Sasvim čista tečnost, ma koliko vruća, opiraće se ključanju. Na primer, uzmi ulje za jelo, sipaj ga u neki dubok lonac i zagrevaj do neke temperature koja je znatno iznad normalne tačke ključanja tog ulja. Ako je sve stvarno čisto, ulje neće proključati. Ali ako ubaciš unutra samo jednu krišku krompira - auh, ne da će nastati ključanje nego, maltene, prava eksplozija. Znači, dve stvari su potrebne da bi se proizvelo ključanje: temperatura iznad tačke ključanja i nekakva nečistoća koja će izazvati stvaranje mehurića. U mehurastoj komori, naglo smanjivanje pritiska ima za posledicu da je tečnost sad mnogo iznad tačke ključanja, kao da je postala pregrejana. Naelektrisana čestica uleće i sudara se blago, ali mnogo puta, sa atomima tečnosti koji se nađu na njenoj putanji; za sobom ostavlja trag sačinjen od pobuđenih atoma, koji, pošto pritisak baš tad opada, jesu idealni kandidati da posluže kao jezgro mehurića. Pretpostavimo da se dogodi sudar između čestice koja uleće i jednog protona (dakle, jednog jezgra vodonika) u posudi. U tom slučaju postaće vidljive putanje svih naelektrisanih čestica koje iz takvog sudara proiziđu. Pošto je medijum tečnost, nije potrebna debela ploča, a tačka sudara jasno je vidljiva. Istraživači širom sveta napravili su mnogo miliona fotografija tih sudara u mehurastim komorama; u analizi su pomagali automatski skeneri.

Evo kako se taj posao radi. Akcelerator ispali jedan zrak čestica ka mehurastoj komori. Ako su to naelektrisane čestice, tu se počne događati i po deset, pa i po dvadeset sudara odjednom, čitava gužva. Vrlo brzo posle proletanja čestice (otprilike jedan milisekund kasnije), jedan klip se hitro povuče unazad i pritisak u komori se naglo smanji; zato počne stvaranje mehurića. Dopuštamo da prođe još otprilike jedan milisekund da tragovi lepo porastu. Onda se svetne blic, napravi se fotografija, film se pokrene za jedan kvadrat napred i sve je spremno za novi ciklus.

Priča se da je Glejzer (koji je za mehurastu komoru dobio Nobelovu nagradu i odmah posle toga postao biolog) došao do nadahnuća za svoje veliko otkriće tako što je proučavao zbog čega uspeva onaj trik da konobari pivo malo posole, a ono onda daje mnogo više pene u krigli. Tako su nam kafane u oblasti En Arbor u Mičigenu podarile još jedan uspešan instrument pomoću koga smo tragali za Božijom česticom.

Postoje dva ključa za analizu sudara: prostor i vreme. Želeli bismo da snimimo tačnu putanju čestice kroz prostor, ali i tačno vreme kad je ona tom putanjom prošla. Na primer, jedna čestica uleti u detektor, zaustavi se, izazove nastanak sledeće čestice, za koju kažemo da je sekundarna. Dobar primer za onu prvu, osnovnu, jeste muon, koji uleti, zaustavi se i pretvori se (milioniti deo sekunde posle događaja koji je izazvao zaustavljanje) u jedan elektron. Što tačniji detektor, to više informacija prikupimo. Mehuraste komore su izvrsne za prostornu analizu događaja. Čestice se kreću, ostavljaju tragove, a mi možemo ustanoviti sa mogućnošću greške od najviše jedan milimetar gde je čestica zaista prošla. Ali tu nema nikakve informacije o vremenu.

Scintilacioni brojači uspevaju da lociraju česticu i u prostoru i u vremenu. Napravljeni su od posebne plastike. Daju po jedan maleni blesak svetlosti kad god u njih tresne naelektrisana čestica. Brojač je obavijen slojem crne plastike, takvim da ni najmanja količina svetlosti ne može da uđe. Unutra se nalaze elektronski fotomultiplikatori - pojačivači svetla koji uhvate svaki majušni sev i pretvaraju ga u signal, u jedan jasno određen električni 'otkucaj', puls. Za ovakav brojač kažemo da je scintilaciona traka.

Elektronski signal ide do elektronskog časovnika koji ima svoj niz elektronskih pulseva; superponiranjem jednog na drugo, može se odrediti vreme kad je čestica uletela sa tačnošću od nekoliko milijarditih delova sekunde. Ako prislonimo nekoliko ovih scintilacionih traka jednu do druge, čestica će se probiti kroz jednu, drugu, treću... i svaka traka će reagovati, dobićemo naizmenične pulseve - dakle, niz koji će nam opisati putanju u prostoru i vremenu. Ali scintilacioni brojači su tako veliki da mesto (u prostoru) gde je čestica prošla određuju sa mogućnošću greške od nekoliko centimetara.

Ogroman korak napred bila je proporcionalna žičana komora - skraćeno PWC (proportional wire chamber). To je smislio plodni um onog Francuza po imenu Žorž Šarpak (Georges Charpac) koji radi u CERN-u. Tip je bio heroj pokreta otpora u Drugom svetskom ratu, ali je uhvaćen, pa je proveo neko vreme u koncentracionom logoru; posle rata postao je prava eminencija među pronalazačima sve novih naprava za otkrivanje čestica. Njegov PWC je domišljat, 'jednostavan' pronalazak, ram preko koga je zategnut veći broj finih žica, na razmacima od po neki milimetar. Tipična veličina ovakvog rama je šezdeset sa sto dvadeset centimetara, žice su dugačke po 60 centimetara i zategnute su, nekoliko stotina njih, između jedne i druge duže stranice rama. Naponi su organizovani tako da kad čestica proleti blizu neke žice, stvori u žici jedan električni impuls, koji bude zabeležen. Pošto tačno znamo gde se koja žica nalazi, već imamo jedan podatak o putanji čestice. Vreme prolaska utvrdimo poređenjem tog električnog signala sa jednim elektronskim časovnikom. Raznim usavršavanjima postignuto je da se prostorna tačnost popravi na 0,1 milimetar, a vremenska na 10<sup>-8</sup> sekundi. Mnogo ovakvih žičanih ramova, odnosno mreža, moguće je naređati u jedan sanduk iz koga je izvučen vazduh, ali upumpam neki odgovarajući gas. Tada možemo tačno odrediti putanju čestica. Pošto je komora aktivna samo vrlo kratko vreme, razni pozadinski, nasumični događaji ne stižu da se dogode, a mi, opet, možemo upotrebiti vrlo snažan zrak. Šarpakov PWC učestvuje u svim važnijim opitima, evo, još od, približno, 1970. Godine 1992. dadoše Šarpaku Nobelovu nagradu (dobio ju je on sam!) za ovaj pronalazak.

Svi ti različiti senzori za uočavanje čestica, a i neki drugi, ugrađeni su u složene detektore tokom osamdesetih godina. Naš div od 5.000 tona, CDF detektor u Fermilabu, predstavlja primer kako izgledaju najsloženiji sistemi za taj posao. Njegova izgradnja koštala je 60 miliona dolara. Namena je njegova da posmatra sudare protona i antiprotona u Tevatronu. U CDF je ugrađeno, sve u svemu, nekih 100.000 senzora, među kojima su i scintilacioni brojači i žičane mreže genijalno raspoređene u razne međusobne položaje i odnose. Iz sto hiljada senzora nama pritiču reke informacija, sve u obliku elektronskih pulseva. Sve to uliva se u jedan sistem koji informacije organizuje, filtrira i konačno beleži da bi poslužile za neke buduće analize.

Kao i u svim takvim detektorima, i u našem divu nastaje neuporedivo više informacija nego što iko može da pregleda 'u stvarnom vremenu' (što znači, naprosto: odmah). Iz tog razloga, podaci se kodiraju u digitalni oblik i nasnimavaju na magnetne trake. Kompjuter mora da odluči koji sudari su ispalili 'zanimljivi', a koji nisu. Ko će drugi? U Tevatronu se događa 100.000 sudara u sekundi, a pre kraja ovog veka taj broj će biti povećan na milion. Ogromna većina tih sudara nama je nezanimljiva. Dragulji su oni sudari u kojima kvark jednoga protona tresne tačno u antikvark ili čak gluon antiprotona. Takvi 'tvrđi' sudari su retki.

Naš sistem za rukovanje informacijama ima na raspolaganju manje od jednog milionitog delića sekunde da donese sudbinsku odluku u vezi sa svakim sudarom ponaosob: da li je to zanimljiv događaj? Ljudskom biću 'pamet stane' pri pomisli na tako brzo donošenje odluka, ali kompjuteru ne. Sve vam je to relativno. U jednom velikom gradu, jednu kornjaču napadne i opljačka banda puževa. Posle, u policiji, kornjača kaže: "Ne znam. Sve se odigralo tako brzo!"

Da bi se ublažio ovaj teret elektronskog donošenja odluka, razvili smo sistem stepenastog odabiranja. Kad programiraju kompjuter, eksperimentatori moraju da odaberu i odrede izvesne 'okidače', indikatore koji kažu sistemu: "Hej, ti, snimi ovo!" Na primer, uobičajeni okidač jeste visoka energija. Ako je događaj predao detektorima vrlo visoku energiju, to je zanimljivo zato što je veća verovatnoća da se nešto važno dogodi pri visokim nego pri niskim energijama. Ali kad donosiš odluke o ovim okidačima, dobro ti se oznoje dlanovi. Ako postaviš okidače suviše nisko, kompjuter će prihvatiti previše

veliki broj događaja kao važne i počće da se 'davi' - neće moći da obradi, shvati niti snimi toliko. Ali ako suviše visoko postaviš okidače, možda ćeš prevideti i ispustiti neku novu fiziku, ili će se čitav tvoj opit završiti bez ikakvog ishoda. Neki okidači se uključe kad senzori opaze da je iz nekog događaja izleteo elektron sa visokom energijom. Ali neki drugi okidač biće ubeđen da je nešto našao ukoliko senzor opazi da je nekoliko čestica naišlo zajedno, u neobično gustom mlazu. I - tako dalje. Kod tipičnog opita, odaberemo desetak ili dvadesetak sudarnih konfiguracija kojima će biti dopušteno da povuku okidače. Svi ti okidači zajedno trebalo bi da propuste 'gore', na sledeći nivo našeg rada, jedno 5.000 do 10.000 sudara u sekundi. To je već znatno manji broj. Sada imamo mnogo više vremena (po jedan desetihiljaditi sekunde) da o svakom od tih događaja dobro razmislimo... dobro, ne baš mi, nego kompjuteri. Više vremena da pažljivo pogledamo svakog kandidata. Želimo li, stvarno, da snimimo ovaj događaj? A ovaj? A... Oni koji prođu i to drugo ispitivanje, idu na sledeći stepen; ukupno postoji pet takvih nivoa sve strožeg posmatranja sudara. Na kraju nam ostane desetak stvarno najboljih događaja svake sekunde.

Tih desetak se snimaju na magnetnu traku, i to do poslednje pojedinosti. Međutim, na svakom nivou ponekad snimimo i po koju stotinu događaja bez ikakvog odabiranja, nasumično, da bismo u kasnijim analizama proverili da se nije dešavalo nešto važno što nam je možda promicalo.

Čitav ovaj sistem za pribavljanje podataka (DAK) postoji zahvaljujući malo nakrivljenoj saradnji fizičara koji misle da znaju šta hoće, bistrih elektroinženjera koji se iz sve snage trude da zadovolje zahteve fizičara, i, dabome, onih koji su omogućili revoluciju u komercijalnoj mikroelektronici zasnovanoj na poluprovodniku.

Geniji koji su stvarali svu ovu tehnologiju odveć su mnogobrojni da bi mogli biti svi ovde nabrojani; ali, po mojoj subjektivnoj oceni, jedan od glavnih inovatora bio je stidljivi inženjer elektronike koji je radio na Univerzitetu Kolumbija, i to u jednoj sobici-kulici u laboratoriji Nevis, gde sam ja odrastao. Vilijem Sipah (William Sippach) otišao je daleko ispred nas fizičara koji je trebalo da nadgledaju njegov rad. Mi smo dali specifikacije; on je uradio nacрте i izgradio DAK. Koliko sam puta, koliko puta, telefonirao Sipahu u tri ujutro i kukao plačnim glasom da smo naišli na ozbiljno ograničenje u njegovoj (uvek je bila njegova kad smo imali probleme) elektronici. On me saslušao, ćutke, a onda postavi pitanje: "Vidiš li jedan mikropekidač ispod poklopčića na šesnaestoj polici? Uključi ga i tvoj problem će biti rešen. Laku noć." Sipahova slava širila se po svetu. Tipično je bilo da za nedelju dana dođu, samo da bi popričali sa našim Bilom, posetioci iz Nju Hejvena, Palo Altoa, Ženeve i Novosibirska.

Naš Vilijem-Bil Sipah i mnogi drugi koji su pomogli u razvijanju ovih složenih sistema nastavljaju slavnu tradiciju započetu još tridesetih i četrdesetih godina kada su pronalazeni prvi detektori čestica. Ti prvi dali su sastojke pomoću kojih je postala moguća izrada prvog pokolenja digitalnih kompjutera. A oni su, sa svoje strane, omogućili pravljenje većih i boljih akceleratora i detektora, koji su, opet, omogućili...

Detektori su konačni ishod celog tog posla.

## **ŠTA SMO TO OTKRILI: AKCELERATORI I NAPREDAK FIZIKE**

Sad o akceleratorima znate sve što treba da znate - možda i više. Moguće je da sad znate, zapravo, više nego većina teoretičara. Ne upućujem ja njima nikakvu kritiku, samo konstatujem činjenicu. Ali važnije od akceleratora jeste ono što su nam akceleratori kazali o svetu.

Kao što pomenuh, sinhro-ciklotroni iz pedesetih godina omogućili su nam da saznamo mnogo o pionima (pi-mezonima). Teorija Hidekija Jukave sugerisala je da razmenom određene čestice sa određenom masom može biti stvorena jaka privlačna protivsila koja bi vezivala protone sa protonima, protone sa neutronima i neutrone sa neutronima. Jukava je predskazao i masu, kao i životni vek te čestice koja se razmenjuje. Ona je: pion.

Pion ima energiju mirovanja od 140 MeV. Ljudi su počeli da ga proizvode u izobilju u mašinama od 400 do 800 MeV, na univerzitetima širom sveta, tokom pedesetih godina.

Pioni se raspadaju na muone i neutrine. Muon nam je bio velika zagonetka pedesetih godina. Činilo se da je to nekakva teža verzija elektrona. Ričard Fajnmn bio je jedan od onih istaknutih fizičara koji su se grdno čudili i mučili videći pred sobom dva predmeta koji se ponašaju u svemu istovetno osim što je jedan od njih dvesta puta teži. Razrešavanje ove tajne jedan je od ključeva za celinu naše priče, pa i za samu Božiju česticu.

Sledeća generacija mašina proizvela je iznenađenje pokolenja: kad drmnemo po jezgru česticom od milijardu volti, dogodi se 'nešto različito'. Da pogledamo sada šta sve može da se učini pomoću akceleratora. Treba to da znate, jer završni ispit vam se bliži. U suštini, ogromno ulaganje u ljudsku genijalnost, opisano u ovom poglavlju - naime, razvoj modernih akceleratora i detektora čestica - dopušta nam da radimo dve vrste posla: da rasejavamo predmete, i ono 'nešto različito' - naime, da proizvodimo nove predmete.

1. Rasejanje. U opitima rasejanja (rasipanja) gledamo kako čestice koje ulaze u sudar posle toga odleću na razne strane. Stručni izraz za konačni ishod ovakvog opita glasi: ugaona raspodela. Kada se analiziraju po pravilima kvantne fizike, ovi opiti nam kažu mnogo štošta o jezgru, jer ono je taj predmet koji rasipa ulazne čestice na razne strane. Kako energija ulaznih čestica, koje stižu iz akceleratora, postaje sve veća i veća, strukturu pogođenog jezgra sagledavamo sve oštrije i oštrije. Tako smo doznali o sastavu raznih jezgara. Poprilično znamo o protonima i neutronima jezgra, u kakvom međusobnom odnosu se nalaze i kako se vrzmaju tamo-amo da bi takvu vezu ostvarili. Povećavajući energiju ulaznih čestica, uspevamo da 'zavirimo' i u unutrašnjost protona, a i neutrona. U kutijicama, još manje kutijice.

Da bismo pojednostavili stvari, hajde da zamislimo metu koja se sastoji od samo jednog jedinog protona (dakle, vodonikovog jezgra). Opiti sa rasipanjem javljaju nam koliko je taj proton veliki i kako je raspoređeno pozitivno naelektrisanje. Domišljat čitalac postaviće pitanje da li instrument kojim se služimo - a to je ulazna čestica, koja grune u metu - doprinese zapetljanosti ishoda. Odgovor je: da. Zato se služimo različitim instrumentima. Prvo smo gađali taj proton alfa-česticama koje su nastale spontano, kao radioaktivno zračenje. Posle smo gađali protonima, ali i elektronima, ispaljenim iz akceleratora. Još kasnije počeli smo da se služimo i sekundarnim česticama: gađali smo metu fotonima poreklom od elektrona (to jest, bili su 'derivat elektrona'); takođe smo koristili pione (pi-mezone) koji su nastali kao proizvod ranijih sudara drugih protona sa drugim jezgrima. Tokom šezdesetih i sedamdesetih godina radili smo ovo sve veštije i sve bolje, pa smo se osposobili da gađamo metu čak tercijarnim česticama, onima koje su treći stepen u ovome: muonima, na primer, koji nastaju raspadanjem piona; ili neutrinima koji takođe nastaju raspadanjem piona; ima i mnogo drugih mogućnosti.

Akceleratorna laboratorija postala je servisni centar za mnoštvo raznih proizvoda. Pred kraj osamdesetih godina Fermilabovi komercijalisti - dakle, naši stručnjaci za ekonomsku propagandu - oglašavali su potencijalnim mušterijama da kod nas teku po želji mlazevi toplih i hladnih protona, neutrona, piona, kaona, muona, neutrina, antiprotona, hiperona, polarizovanih protona (to znači da svi imaju spin istog smera), tagovanih fotona (fotona sa zakačenom cenom - to znači da znamo koliko imaju energije), a što nema u izlogu pitajte u radnji!

2. Proizvodnja novih čestica. Ovde je cilj da vidimo može li učinak novog energetskog područja biti stvaranje nekih novih, nikada ranije viđenih čestica. Ako se nađe neka nova čestica, želimo da znamo sve o njoj, kolika joj je masa, spin, naelektrisanje, kojoj porodici pripada i tako dalje. Takođe nam je potrebno da znamo koliko ona živi i u koje druge čestice, raspadanjem, prelazi. Naravno, treba i da znamo njeno ime i ulogu koju ima u velikoj arhitekturi sveta čestica. Pion je otkriven u kosmičkim zracima, ali smo brzo saznali da ne iskače ceo i odrastao iz čela naših maglenih komora. Događa se ovo: protoni koji postoje u kosmičkim zracima sjuraju se u Zemljinu atmosferu i tu se sudaraju sa jezgrima atoma azota i kiseonika (i kojekakvih drugih, štetnih gasova, danas, koje smo sami stvorili), pa se iz tih sudara rađaju pioni. Prilikom proučavanja kosmičkih zraka, primećen je još pogdekoji 'malo nenormalan' predmet - na primer, čestice kojima su data imena  $K^+$  i  $K^-$  i jedan predmet koji je dobio naziv  $\lambda$ , I. Kad su moćniji akceleratori preuzeli stvari u svoje ruke, polako u pedesetim, pa onda



nezadrživo u šezdesetim, u njima su počele da se stvaraju raznovrsne egzotične čestice. Jedna, pa druga, pa još nekoliko, a onda čitava poplava njih. Ogromne energije koje smo uspeli da unesemo u sudare otkrile su nam postojanje ne pet, niti pedeset, nego na stotine novih čestica, o kojima u većini naših filozofija zaista ni sanjali nismo, Horacio. Ova otkrića bila su učinci grupnog rada, plodovi Velike nauke i naglog bujanja tehnike i tehnologije u fizici čestica.

Svakom novootkrivenom objektu nadenuli smo naziv, najčešće neko grčko slovo. Otkrivači, obično grupa od šezdeset tri i po naučnika koji sve rade zajedno, saopšte svetu da su otkrili novi objekt i navedu sve njegove odlike poznate u tom trenutku - masu, električni naboj, spin, životni vek i još jedan dugačak spisak kvantnih odlika. Time prođu pored oznakice 'Kreni', pakuje dvesta dolarčića, napišu gdekoju doktorsku disertaciju i lepo čekaju da budu pozvani da drže predavanja na seminarima, da pišu stručne radove za konferencije, da dobiju unapređenja u službi, i sve to tako, što sleduje. Ponajviše im je stalo da neko drugi, negde, zasuče rukave i prione na posao da te njihove rezultate potvrdi, i to, ako je ikako moguće, nekom sasvim drugačijom tehnikom, da bi se izbegla 'pristrasnost instrumenta'. Poznato je da svaki akcelerator, zajedno sa celom svitom svojih detektora, ima sklonost da vidi događaje na neki 'svoj', malo osoben način. Zato je bitno da neke sasvim druge oči, na drugom mestu, potvrde da zaista postoji to što je nađeno, sa tim odlikama. Ovo se zove potvrđivanje.

Mehurasta komora poslužila je kao moćna tehnika za otkrivanje čestica zato što se u njoj mogu snimiti i izmeriti mnoge pojedinosti 'bliskog susreta'. Drugi eksperimentatori, oni opremljeni elektronskim sredstvima za detekciju, lovili su neke druge, određenije stvari. Kad jedna čestica uspe da izbori sebi mesto na spisku onih koje su priznate i stvarno postoje, onda čovek može polako da namešta tačno određene vrste sudara i sprava pomoću kojih će prikupiti podatke o životnom veku - sve nove čestice bile su nestabilne - i o raznolikim mogućnostima raspadanja. U šta se rečena čestica raspada? Lambda u jedan proton i jedan pion; ali sigma u jednu lambda i jedan pion; i tako dalje. Piši tablice, nastoj da ne potoneš u moru podataka. To su bila dva osnovna pravila ako smo hteli da sačuvamo zdrav razum u subnuklearnom svetu koji je postajao sve zapetljaniji. Sve one nove čestice, grčkim slovima obeležene, koje su nastajale u sudarima gde je preovladavala jaka sila označili smo grupnim nazivom hadroni, od grčke reči za 'teško'. Ej, šta ih je! Hadrona ima, bukvalno, na stotine raznih. To nije ono što smo želeli. Umesto da nađemo jednu, samo jednu jedinu, majušnu česticu, koju ništa više ne može raseći, umesto, dakle, da u našem traganju za demokritovskim a-tomom stignemo na cilj, otkrismo na stotine čestica koje su teške i koje se, očigledno, i te kako mogu dalje seći. Katastrofa! Od naših kolega biologa naučili smo šta naučnik treba da radi kad ne zna šta da radi. Treba da klasifikuje! Tome smo se predali, bez ustručavanja. Rezultati - i posledice - tog silnog klasifikovanja biće razmatrani u sledećem poglavlju.

### **TRI FINALA: VREMEPLOV, KATEDRALE I AKCELERATOR NA ORBITI**

Završićemo ovo poglavlje novim načinom gledanja na ono što se u sudarima u akceleratoru zaista dešava. Taj novi način dobili smo na poklon od naših ljubaznih kolega astrofizičara. (Ima u Fermilabu jedna mala, ali vrlo zabavna skupina astrofizičara koji su se tu zavukli i učaurili.) Ti ljudi nas ubeđuju - a ja nemam razloga da im ne verujem - da je svet stvoren pre jedno 15 milijardi godina u kataklizmičkoj eksploziji koju su nazvali Veliki prasak. U prvom trenu posle ovog Postanja, Vaseljena, tek rođena, bila je vrela i zgusnuta supa praiskonskih čestica koje su se međusobno sudarale, raspolažući pri tome energijama (koje su ekvivalent temperature) tako ludo ogromnim da mi ni u poslednjem bunilu akutne megalomanije ne možemo ni da sanjamo da nešto tako reprodukujemo. Ali Vaseljena se širi i hladi. U nekom trenu, otprilike 10-12 sekunde posle Postanja, prosečna temperatura čestica u ovoj vrućoj vasseljenskoj supi opala je na samo 1 bilion elektron-volti, dakle 1 TeV, a to je otprilike ona energija koju Fermilabov Tevatron proizvede u svakom svom zraku. Iz tog razloga, možemo da smatramo akceleratore za svojevrzne vremeplove. Tevatron oživljava, u onom trenu kad se protoni čeonu sudare, ponašanje cele Vaseljene u vreme kad je bila stara 'milioni deo milionitog dela sekunde'. Možemo

da izračunamo razvoj Vaseljene ako znamo fiziku svake epohe i uslove koje joj je predala u nasledstvo prethodna epoha.

Ova vremeplovska primena je, zapravo, posao za astrofizičare. Pod normalnim okolnostima, za nas 'čestičare' bilo bi zabavno i laskavo, ali savršeno nevažno, to što akceleratori navodno oponašaju ranu Vaseljenu. Međutim, u poslednjih nekoliko godina počeli smo da uviđamo jednu povezanost. Kad se još dalje vratimo kroz vreme, do onih delića sekunde kad su energije bile mnogo veće od 1 TeV (a to je gornja granica našeg sadašnjeg akceleratorskog inventara), dospe se do tajne koja nam je potrebna. Ta ranija, vrelija Vaseljena sadrži bitan ključ koji nas može povesti ka skrovištu Božije čestice.

Ta naša astrofizička veza (akcelerator viđen kao vremenska mašina) jeste jedan način gledanja. Drugi dolazi od Roberta Vilsona, kauboja, graditelja akceleratora, koji je pisao:

Ničeg neobičnog nema u tome što su estetske i tehničke vrednosti neodvojivo povezane /u konstrukciji Fermilaba/. Čak sam našao, i pouzdano vidim, čudnu sličnost između katedrale i akceleratora. Jedna građevina podizana je sa namerom da se vine kroz prostor, što je moguće više u visinu; druga, sa namerom da postigne sličan podvig u energiji. Svakako estetika obe građevine potiče prvenstveno iz tehničkih ostvarenja. U katedrali, to vidimo u funkcionalnosti takozvanog šiljatog, nagore prelomljenog luka; to je konstrukcija u kojoj postoje potisak i protivpotisak, a izraženi su tako divno, upotrebljeni tako dramatično. Postoji tehnološka estetika i kod akceleratora. Na orbitama, spiralnost. Postoji električni potisak i magnetni protivpotisak. I jedan i drugi doprinose stalno uzlazećem talasu fokusiranja i dejstvovanja, na putu ka jednom vrhunskom izrazu koji će biti energetski, ostvaren pomoću blistavog zraka čestica.

Ponet ovakvim mislima, zagledao sam malo pomnije u način na koji su katedrale zidane. Našao sam velike sličnosti između zajednice graditelja katedrala i zajednice graditelja akceleratora: i jedni i drugi su bili odvažni donosioci novog, podeljeni po nacionalnoj pripadnosti i ispunjeni silnim takmičarskim duhom zbog toga, pa ipak u osnovi internacionalisti. Volim da poredim velikog majstora stvaralaštva Sugera (Suger) od Sen Denija sa Kokrofrom od Kembriđža; ili Sulija (Sully) od Notr-Dama sa Lorensom od Berklija; a Vilar Donkora (Villard de Honnecourt) sa Budkerom od Novosibirsk.

Ovome mogu samo da dodam da postoji i jedna dublja veza: i katedrale i akceleratori grade se uz ogromne troškove, a razlog gradnje je vera. I katedrale i akceleratori nude duhovno uzdignuće, transcendenciju, i, ako se molitve ostvare, Otkrovenje. Naravno, nisu sve katedrale uspešno dejstvovale.

Jedan od slavni trenutaka u našem poslu jeste ona scena kad u kontrolnoj dvorani prepunoj fizičara za konzolom sede lično glavne gazde cele institucije i zure u ekrane zato što je danas onaj posebni dan. Sve je na svom mestu. Trud koji su mnogo godina ulagali mnogi naučnici i inženjeri sada treba, konačno, da se isplati. Pratimo napredovanje zraka iz boce sa vodonikom, kroz složenu utrobu našeg akc... Uspelo! Uspelo! Imamo zrak. I dok si stigao/stigla da kažeš samo 'U' od 'Ura!', šampanjac već klokoće u čaše od bele plastike, a na svim licima su ispisani slavlje i ekstaza. U našoj svetoj metafori, vidim kako zidari postavljaju i poslednje delove oluka na mesto, a popovi, episkopi, kardinali i neizbežni grbavi zvonar napeto stoje oko oltara da vide da li će stvar proraditi.

Da, čovek mora imati u vidu i estetske vrednosti jednog akceleratora, a ne samo njegove GeV i druga tehnička svojstva. Kroz mnogo hiljada godina možda će arheolozi i antropolozi ocenjivati našu kulturu po njenim akceleratorima. Zašto ne bi, pa to su najveće mašine koje je naša civilizacija ikada podigla. Danas posećujemo Stounhendž ili velike piramide u Egiptu i divimo se prvo njihovoj lepoti, a zatim i tehničkoj veštini koja je omogućila ljudima da podignu tako nešto. Ali te zgrade su imale i naučnu svrhu; bile su primitivne 'opservatorije' za praćenje kretanja nebeskih tela. Zato moramo biti zadivljeni i činjenicom da su drevne kulture podizale tako veličanstvena zdanja u želji da izmere kretanje nebesa i da žive u saglasnosti sa Vaseljenom. U piramidama i u Stounhendžu, oblik i svrha su se spojili da bi naučne istine mogle biti nađene. Akceleratori su naše piramide, naš Stounhendž.

Treće finale odnosi se na čoveka po kome je Fermilab dobio ime, a to je, dabome, Enriko Fermi, jedan od najslavnijih fizičara tridesetih, četrdesetih i pedesetih godina. Bio je Italijan po rođenju. Njegov rad u Rimu bio je obeležen blistavim unapređenjima opita, ali i teorije, kao i prisustvom velike grupe izuzetnih studenata oko njega. Godine 1938. dodeljena mu je Nobelova nagrada, a on je to putovanje u Stokholm iskoristio da pobjegne iz fašističke Italije i da se nastani u Americi.

Njegova slava u najširoj javnosti potiče od toga što je bio na čelu ekipe koja je ostvarila prvu kontrolisanu nuklearnu lančanu reakciju u Čikagu, u vreme Drugog svetskog rata. Posle rata, on je na Čikaškom univerzitetu opet okupio sjajnu grupu studenata - teoretičara i eksperimentatora. Fermijevi studenti, kako oni iz njegovog rimskog, tako i iz čikaškog razdoblja, razišli su se po svetu i svuda su zaposedali vrhunska mesta i osvajali vrhunske nagrade. "Dobrog nastavnika prepoznaješ po tome koliko je njegovih studenata dobilo Nobelovu nagradu", uči nas jedna stara acteačka poslovice.

Godine 1954. Fermi je održao svoj oproštajni govor kao predsednik Američkog društva za fiziku (APS). Sa mešavinom poštovanja i satire, predvideo je da ćemo u bliskoj budućnosti sagraditi akcelerator na orbiti da bismo iskoristili vakuum koga u kosmosu ima koliko god hoćeš, i to besplatno. Takođe je vedro napomenuo da bi se to sasvim lepo moglo finansirati pomoću celog vojnog budžeta SAD i SSSR. Upotrebom supermagneta i mog džepnog kalkulatora za uštede, moglo bi se, kažem ja, dobiti tamo gore nekih 50.000 TeV za samo 10 hiljada milijardi dolara, čak i ako ne uračunamo popuste pri kupovini na veliko. Ima li boljeg načina da svet vratimo zdravom razumu nego da prekujemo mačeve u akceleratore?

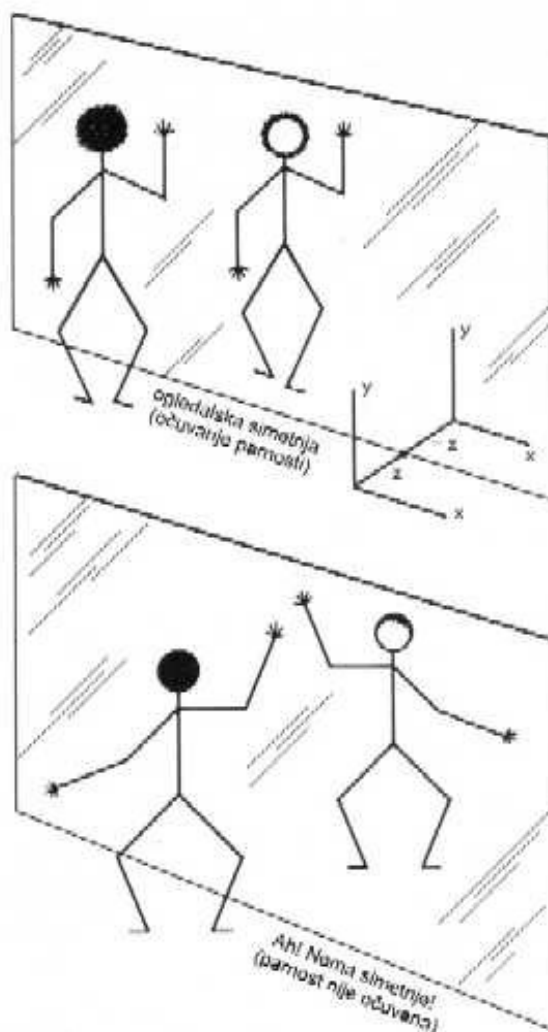
### **Međuigra C: KAKO SMO ZA JEDAN VIKEND NARUŠILI PARNOST... I OTKRILI BOGA**

Ne mogu verovati da je Bog levak, i to slab.

Volfgang Pauli

Pogledaj se u ogledalu. Ne izgledaš loše, a? Pretpostavimo da podigneš desnu ruku. Tvoja slika u ogledalu takođe će podići desnu... Auh. Nije desnu? Levu ruku. Kakav bi to šok bio kad bi slika u ogledalu podigla pogrešnu ruku. To se, koliko znamo, još nikada nije desilo ljudima. Ali jeste muonu, koji nam je priredio i odgovarajuće iznenađenje.

Ogledalska simetrija je u laboratorijama proveravana bezbroj puta. Naučno naziv za nju glasi: očuvanje parnosti. Ovo je priča o jednom važnom otkriću, ali i o načinu na koji, u toku napredovanja nauke, često samo jedna ružna činjenica usmrti neku predivnu teoriju. Sve je počelo u petak za vreme ručka, a završilo se tri i po dana kasnije, u utorak oko četiri sata ujutro. Za jednu od naših 'najdubljih istina' o načinu na koji se priroda ponaša pokazalo se da je plitka neistina. Samo nekoliko sati pomnog prikupljanja podataka učinilo je da se zauvek promeni naše shvatanje o načinu na koji je Vaseljena sazdana. Kad se za neku elegantnu teoriju pokaže da je netačna, kod naučnika nastupa opšte razočarenje. Saznamo da je priroda trapavija i glomaznija nego što smo mislili. Ali bol bude ublažen verom da će jednog dana, kad sve bude poznato, pred našim pogledom zablistati jedna dublja lepota. Tako je i bilo kad je otkrivena narušena parnost, u samo nekoliko januarskih dana godine 1957. u gradiću Irvington na Hadsonu, tridesetak kilometara severno od grada Njujorka.



Fizičari simetriju vole zato što ona ima matematičku i intuitivnu lepotu. Primeri za simetriju u umetnosti su, recimo, palata Tadž Mahal, ili neki grčki hram. U prirodi, školjke, jednostavne životinje i razni kristali ispoljavaju ponekad simetrične obrasce, veoma lepe; a nije loše ni ljudsko telo, koje ima gotovo savršenu dvostranu simetriju. U zakonima prirode ima bogate, izobilne simetrije; smatralo se, do januara 1957, da su apsolutni i savršeni. Ogromno su nam pomogli u shvatanju kristala, velikih molekula, atoma i čestica.

### **OPIT U OGLEDALU**

Za jednu od ovih simetrija govorilo se da je ogledalska simetrija (očuvanje parnosti). Taj zakon je nalagao da priroda - znači, zakoni fizike - ne može primetiti razliku između stvarnog sveta i sveta u ogledalu.

Ovo može da se kaže i na matematički način, stručno. Evo reći ću to, tek da ostane na papiru: jednačine koje opisuju zakone prirode ne menjaju se kad z koordinate svih predmeta zamenimo -z koordinatama.

To je to. Ova z koordinata jeste ona koja 'ubada' pravo u ogledalo, i to pod pravim uglom. Kad kažemo ogledalo, time odredimo jednu ravan, površinu ogledala. Zamena prilikom koje umesto svakog z napišemo -z jeste tačno ono što se dešava u svakom sistemu koji je odražen u ogledalu. Na primer, ti si ispred ogledala. Udaljen (udaljena) si od ogledala 16 nekih jedinica. Slika u ogledalu pokazuje osobu koja je tačno 16 tih istih

jedinica udaljena od površine ogledala, ali s one strane. Ovo isto važi i za, recimo, jedan atom, ili bilo šta drugo ispred ogledala. To 's one strane', to vam je taj minus u -z. Može biti da su neke jednačine nepromenljive u odnosu na ovu zamenu; na primer, u tim jednačinama uvek piše samo  $z^2$ , nikad samo z. Ako je tako, onda je savršeno svejedno da li je z bilo plus ili minus. Ogledalska simetrija je očuvana, parnost je očuvana.

Ako je ceo jedan zid naše laboratorije ogledalo i ako naučnici u laboratoriji izvode razne opite, onda će i njihove ogledalske slike izvoditi ogledalske slike tih istih opita. Ima li ikakvog načina da zaključimo šta je prava laboratorija, a šta samo njena slika u ogledalu? Koji bi to objektivan test mogla Alisa da izvede, pa da bude sigurna da li je u ovom našem svetu ili u onom iza ogledala? Da li bi odbor istaknutih naučnika mogao da pregleda video-traku sa snimkom nekog opita i zaključiti da li je kamera bila uperena ka stvarnom opitu ili ka ogledalu u kome se stvarni opit video? Decembra 1956. odgovori na sva ovakva pitanja bili su, bez ikakve nedoumice: Ne bi! Nije bilo nikakvog načina da komisija sačinjena od stručnjaka dokaže da je gledala snimak opita napravljen kamerom koja je bila okrenuta ne ka stvarnoj laboratoriji nego ka njenom odrazu u ogledalu. U ovom trenutku neki oštromni naivčina mogao bi reći: "Ali svi naučnici zakopčavaju svoje bele laboratorijske mantile na desno; dugmad su im na levoj strani mantila, a oni prebace preko toga desnu stranu mantila, na kojoj su rupe, i tako zakopčaju mantil. Na ovom filmu vidimo obratno; prema tome, to je snimak ogledala." Naučnici u komisiji, međutim, odgovaraju: "Ne, to je samo jedan običaj. Ništa u zakonima prirode ne kaže da dugmad moraju da budu na levoj, niti na desnoj strani mantila. Sve te kerefeke koje izmišljaju i određuju ljudi sami mi moramo da odbacimo. Da vidimo - ima li na ovom filmu išta što je protiv zakona fizike."

Pre januara 1957. ni jedno jedino takvo narušavanje simetrije nije primećeno u ogledalskom svetu. I svet normalno viđen i njegova slika u ogledalu behu podjednako vredni i važeći opisi prirode. Šta god da se dogodilo u ogledalskom svetu moglo je, i u načelu i u praksi, da bude tačno isto tako ponovljeno i u stvarnom prostoru laboratorije. Parnost je bila korisna. Pomagala je da se klasifikuju molekularna, atomska i nuklearna stanja. Osim toga, parnost nam ušteduje trud. Ako jedno savršeno ljudsko biće stane, bez ikakve odeće, pred ogledalo i ako je nekim uspravnim zastorom sakrivena cela jedna polovina tog ljudskog bića, mi možemo, proučavajući onu polovinu koja se vidi, da steknemo prilično pouzdano znanje i o drugoj polovini. Takva je poezija simetrije.

Događaji iz januaru 1957. opisani su kasnije kao 'pad parnosti'. Oni su odličan primer koji će nam pokazati kako fizičari misle, kako se prilagođavaju novim, šokantnim stvarima, kako se i teorija i matematika počnu da povijaju kad dunu neki novi vetrovi opažanja i merenja. Ono što je u ovoj priči daleko od tipičnog jeste brzina i srazmerna jednostavnost otkrića.

## **KAFE 'ŠANGAJ'**

Petak, četvrti januar, podne. Petak je bio, u ona vremena, naš tradicionalni dan za kineski ručak; zato je osoblje zaposleno na Fakultetu za fiziku Univerziteta Kolumbija, a to znači petnaestak ljudi, došlo pred vrata kancelarije profesora Cung Dao Lija. Neko vreme smo se tu vrzmali, a onda smo svi zajedno pošli iz te naše zgrade, koja se zove Pupinova zgrada za fiziku, nizbrdo, Sto dvadesetom ulicom, sve do restorana 'Šangaj' koji se nalazi na uglu Sto dvadeset pete ulice i Brodveja. Ovako smo počeli da ručavamo 1953. godine, kad je taj Li došao na Kolumbiju sa Čikaškog univerziteta, odakle je doneo prilično svež doktorat i već izgrađen ugled teorijske superzvezde.

Osobina tih naših ručkova u podne bila je da se pričalo na sav glas, nesuzdržano, o čemu god je ko hteo; često su govorila i po trojica ili četvorica uglas. To je bilo prekidano srkanjem 'zimske supe od lubenice' i žvakanjem 'zmajskih odrezaka', loptica od škampi, morskih krastavaca i drugih veoma začinjanih egzotičnih 'njama' iz severne Kine. Godine 1957, to još nije bila opšteprihvaćena moda. Još dok smo išli nizbrdo, jasno je bilo da će se brbljati o parnosti, tog petka, i o vrućim vestima od naše koleginice Č. Š. Vu (C. S. Wu) koja se, iako sa istog tog fakulteta, nalazila privremeno u Vašingtonu gde je u nacionalnom Birou za standarde obavljala neki opit.

Pre nego što bi se bacio u ozbiljan posao takve neozbiljne rasprave, naš T. D. Li je obavezno izvršavao svoju nedeljnu dužnost, a to je bilo - da naruči. Dolazio je konobar-menadžer i donosio jedno blokče, a onda sa puno poštovanja čekao. T. D. je morao na blokčetu da napiše šta hoćemo da jedemo. On to radi na veličanstven način. To je jedna vrsta umetnosti. Prvo zaviruje u jelovnik, pa baca pogled na blokčić, pa pita kelnera nešto, na mandarinskom kineskom jeziku, vrlo brzo; namršti se, nadnese pisaljku nad blokče, pomno iskaligrafiše nekoliko simbola. Novo pitanje; promena u jednom simbolu, zatim pogled uperen u limene reljefe na plafonu, valjda u potrazi za božanskim rukovođenjem odozgo; onda naglo pisanje mnoštva tih kineskih 'karaktera' na blokčetu. Zatim stavi blok na sto i obavi završni pregled: obe šake nadnosi nad napisanu narudžbinu, prsti jedne šake su rašireni i uzdignuti da bace papin blagoslov na celu gomilu, u drugoj ruci je patrljak olovke. Da li je sve napisao? Tu su i jin i jang, boja, tekstura i ukus, sve uravnoteženo kako treba? Dodaje blokčić i olovku kelneru i baca se u razgovor sa nama:

"Telefonirala je Vu i kazala da njeni preliminarni podaci nagoveštavaju neki ogroman efekat!" kaže on uzbuđeno.

Da se vratimo mi u laboratoriju (u stvarni svet, kako ga je Boginja dala) u kojoj je ceo jedan zid prekriven ogromnim ogledalom. Naše normalno iskustvo je sledeće: što god uradimo pred tim ogledalom, kakav god opit izvršili - rasipanje čestica, proizvodnju čestica, gravitacione opite nalik na one Galilejeve - svi odrazi u njemu biće sasvim u skladu sa svim zakonima prirode koji važe i u stvarnoj laboratoriji. Da vidimo po čemu bismo prepoznali narušavanje parnosti kad bi se ono pojavilo. Najjednostavniji objektivni test levoruke ili desnoruke orijentacije, test koji bismo mogli komunikacijom da prenesemo stanovnicima planete Tvajlozozo, jeste onaj sa zavrtnjem. Uхватиš jedan zavrtnj i uperiš ga u drvo; glava njegova, ona na kojoj je poprečni preoz, okrenuta je prema tebi. Sad uzmeš odvrtič i počneš da uvrćeš 'u smeru kretanja kazaljki na časovniku'. Ako zavrtnj počne da ulazi u drvo, i ulazi sve dublje i dublje, kazaćemo da je to "desnoruki" zavrtnj. Naravno, u ogledalu se vidi tip koji okreće suprotno od kazaljki na časovniku, ali taj tip ima "levoruki" zavrtnj; iz tog razloga, i njegov zavrtnj ulazi sve dublje u drvo. E, sad, pretpostavite da živimo u svetu tako neobičnom (u nekakvoj vazeljeni iz Zvezdanih staza) da je sasvim nemoguće - suprotno je zakonima fizike - napraviti levoruki zavrtnj. Time bi ogledalska simetrija bila narušena; ako vidiš sliku levorukog zavrtnja, znaš da je lažna, da tako nešto ne može postojati; u tom slučaju, parnost je narušena.

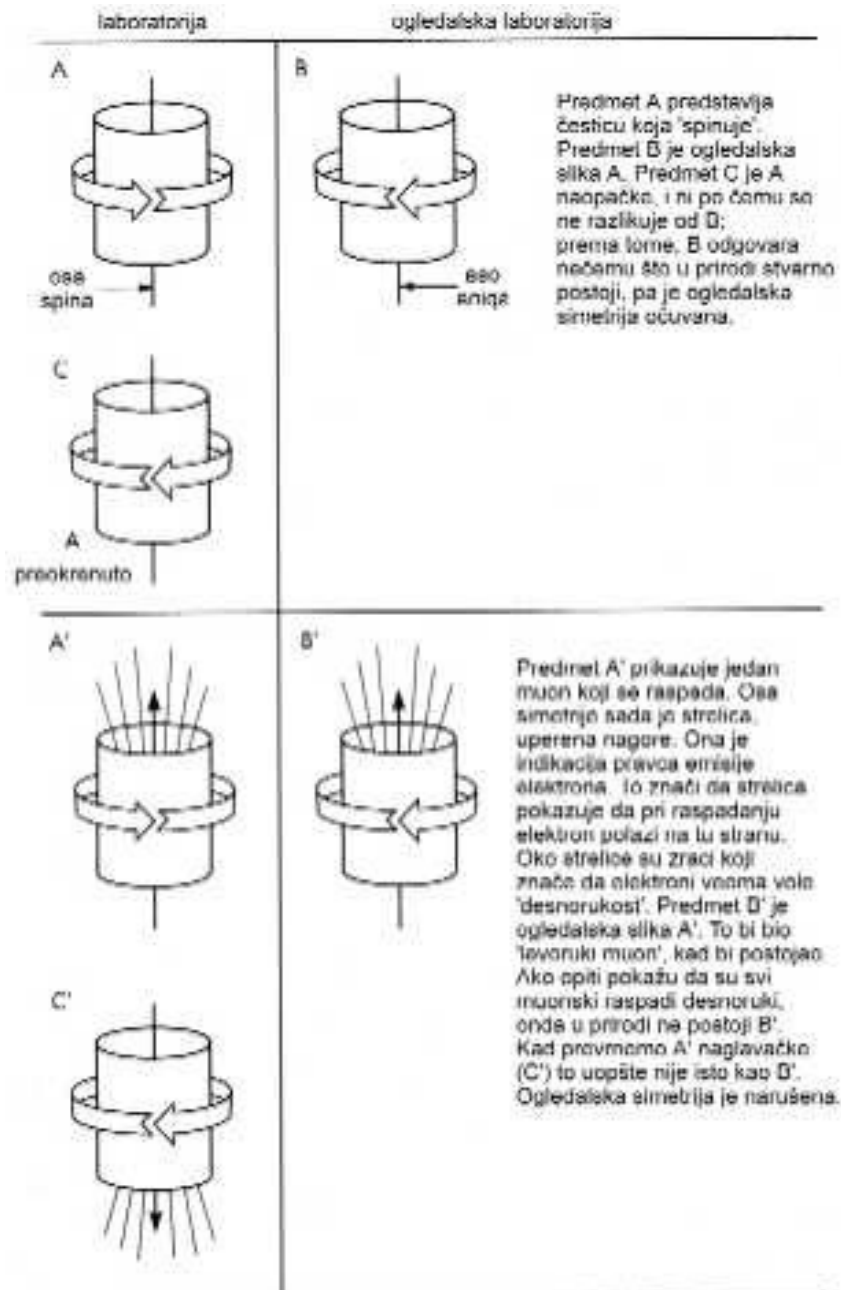
Sve ovo je samo blagi uvod za objašnjenje kako su Li i njegov kolega sa Prinstona Čen Ning Jang (Chen Ning Yang) predložili da ispitamo da li zakoni simetrije važe kod procesa sa slabom silom. Tu je potrebna neka čestica koja je desnoruka. (Ili levoruka.) Ona treba da se kreće u nekom pravcu, ali pri tom i da rotira, kao zavrtnj. Pogledajte neku česticu koja stvarno rotira, a to znači, ima spin - na primer, muon. Dočarajte sebi da je to mali valjak koji rotira oko svoje uzdužne ose. Imamo, dakle, rotaciju. Pošto su svakom takvom valjčiću oba kraja ista, ne možemo ni za jedan od njih znati da li je desnoruki ili levoruki. Hoćemo da proverimo to. Postavimo jedan takav valjčić između tebe i tvoje glavne protivnice. Ti se kuneš da valjčić rotira u smeru kazaljke na satu. Ona se kune da je obratno. Nema načina da se dokaže ko je u pravu. To je situacija u kojoj se parnost održava.

Genijalnost Lija i Janga sastojala se u tome da u igru uvuku i slabu silu (jer su baš nju i želeli da ispituju) na taj način što će posmatrati raspadanje ove čestice sa određenim spinom. Jedna od stvari koje nastanu kad se muon raspadne jeste elektron. Hajde da pretpostavimo da je priroda odredila da elektron može izleteti samo iz jednog kraja valjka. Eto, sad imamo pravac. Najzad možemo da odredimo koji je koji kraj valjka, da se opredelimo da jedan bude ka nama, i onda pouzdano da ustanovimo da li je rotacija valjka desnoruka (u smeru kretanja kazaljke na satu) ili levoruka. Određenje koji je koji kraj moguće je zato što elektron uvek izleće iz samo jednog kraja. Možemo reći da elektron izleće napred iz muona kao što zavrtnj prodire svojim šiljkom napred u drvo. Ako tako gledamo muon, dok iz njega elektron izleće napred, i vidimo da se muon vrti kao desnoruki zavrtnj (onaj koji treba zavrtnuti u smeru kazaljke na satu) onda je muon

desnoruka čestica. To bi, dakle, bio jedan proces kod čestica koji bi narušio ogledalsku simetriju. Kad gledamo takvu česticu u ogledalu, šta vidimo? Levoruki muon; ali takav ne postoji u prirodi.

Glasine o tome što je Vu počela da radi stizale su tokom božićnjeg raspusta, ali ovaj ručak u petak posle Nove godine bio je prvo okupljanje svih profesora posle tog raspusta. Godine 1957. profesorica Čien Šiung Vu (Chien Shiung Wu) bila je, kao i ja, predavač fizike na Kolumbiji, a bila je i dobro znana eksperimentatorka. Njena posebnost bilo je radioaktivno raspadanje jezgara. Postavljala je vrlo stroge zahteve svojim studentima i novim doktorima, bila je izuzetno energična, pomno je odmeravala valjanost svojih rezultata i bila veoma cenjena zbog visokog kvaliteta podataka koje je objavljivala. Studenti su je (iza njenih leđa) nazivali generalica Čangkajšekovica.

Kad su Li i Jang bacili rukavicu izazova, dovodeći pod znak pitanja važnost zakona o očuvanju parnosti, u leto 1956. godine, Vu je takoreći istog trenutka stupila u akciju. Za predmet svog proučavanja odabrala je radioaktivno jezgro kobalta 60, koje je nestabilno. Ovo jezgro se pretvori u jedno jezgro nikla, jedan neutrino i jedan pozitivan elektron (pozitron). Ne vidiš sve to; samo 'vidiš' kako iz kobaltovog jezgra odjednom izleće pozitron. Ovaj oblik radioaktivnosti poznat je kao beta-raspad zato što se nekada govorilo za elektrone i pozitrone emitovane u takvim procesima da su 'beta-čestice'. Zbog čega nastaje beta-raspad? Fizičari kažu: zbog slabog nuklearnog međudejstva. To im znači: zbog jedne sile koja deluje u prirodi i stvara takve reakcije. Ne bave se sve sile samo time da nešto guraju ili vuku, privlače ili odbijaju; neke izazivaju promenu vrste stvari, pretvore, vidite, kobalt u nikl, i pri tom emituju jedan lepton. Od tridesetih godina pa do danas, veliki broj reakcija pripisan je slaboj sili. Veliki Italoamerikanac Enriko Fermi prvi je dao slaboj sili matematički oblik, što mu je omogućilo da podrobno predskaže mnoge reakcije, pa i ovu sa kobaltom 60.



U radu objavljenom 1956. godine, pod naslovom 'Pitanje očuvanja parnosti kod slabe sile', Li i Jang su uzeli u obzir izvestan broj reakcija, pa su razmatrali kakve bi bile opitne implikacije ukoliko slaba sila ne poštuje parnost (ogledalsku simetriju). Njih je zanimalo u kom pravcu će elektron biti izbacivan iz raznih jezgara. Ako bi elektron voleo da izleće iz kobaltovog jezgra više na jednu stranu nego na drugu, bilo bi to kao da ga je priroda obukla u košulju sa dugmadima. Znali bismo šta je pravi opit, a šta je slika u ogledalu.

U čemu je razlika između izvanredne zamisli i rutinskog naučnog rada? Analogno pitanje moglo bi se postaviti o pesništvu, slikarstvu, o nekoj muzičkoj kompoziciji, pa čak, verovali ili ne, i o sudskoj tužbi. U umetnosti, konačni veliki sudija je vreme. U nauci, opit presuđuje da li je zamisao bila 'ona prava'. Ako je izvanredna, ona će otvoriti nove prostore za istraživanje, pri čemu će se pojaviti mnogo novih pitanja - ali će veliki broj pitanja otići zauvek na spavanje.

Um T. D. Lija kretao se nekim finim stazicama. I kad je naručivao ručak i kad je komentarisao neku staru kinesku vaznu ili sposobnosti nekog studenta, on je izgovarao rečenice pune oštih ivica, tako da su podsećale na brušene dijamante. U ovom zajedničkom naučnom radu Lija i Janga (Janga nisam osobito dobro poznavao), ova



kristalna zamisao o parnosti dobila je mnoge oštre ivice. Da bi čovek doveo u pitanje jedan čvrsto ustoličen zakon prirode, potrebno je mnogo kineske drskosti. Mi smo u to doba već imali ogromno more podataka prikupljenih o tom čvrsto ustoličenom 'zakonu', ali su Li i Jang uvideli da to more podataka nema nikakve veze sa ovim delom prirode koji izaziva beta-raspade - sa slabom silom. Eto još jedne blistave oštre ivice: tu je, koliko ja znam, prvi put u istoriji nauke dopuštena mogućnost da za različite sile u prirodi važe različiti zakoni očuvanja.

Li i Jang su zasukali rukave, dodali veliku količinu 'pregnuća pored nadahnuća' i pregledali, jednu po jednu, mnoge reakcije radioaktivnog raspada koje su predstavljale dobre kandidate za proveru ogledalske simetrije. U njihovom radu bile su mukotrpno, do tančina, date analize mogućih reakcija, da bi glupi eksperimentatori znali tačno šta treba da rade. Koleginica Vu smislila je konkretnu verziju jednog od tih predloženih opita, onog sa kobaltovim jezgrom. Ključ njenog pristupa sastojao se u tome da prvo obezbedimo da sva, ili bar mnoga, kobaltna jezgra imaju spin istog smera. Tvrdila je da se to može postići tako što bi naš izvor kobalta 60 radio pri vrlo niskim temperaturama. Njen opit je bio dozlaboroga zapetljan, zahtevao je upotrebu kriogene opreme koju nije bilo lako pronaći. Zato je i otišla u Biro za standarde, gde su tehnike za postrojavanje spina čestica bile, već odavno, dobro razvijene.

Pretposlednje jelo tog petka bio je jedan veliki, dinstani šaran sa sosom od crnog pasulja, prazilukom i ljutim crnim lukom. Dok je to servirao, Li nam je ponovio ključnu informaciju: taj efekat koji Vu posmatra veoma je veliki, više od deset puta veći nego što je očekivala. Podaci su bili tek glasine, prepričavanja, još ništa sigurno; razumete, čisto preliminarni, ali (T. D. je meni servirao riblju glavudžu jer je znao da volim obraze) ako je efekat toliko veliki, onda je to tačno ono što bismo mogli da očekujemo ako je neutrino dvokomponentan... Njegovo dalje uzbuđeno čavrljanje prestao sam da slušam, jer je jedna ideja počela niče u mojoj glavi.

Posle ovog ručka otidosmo uzbrdo, na jedan seminar. Posle su bila neka sastančenja, pa jedno pijenje čaja iz društvenih razloga i jedan kolokvijum. Kroz sve te aktivnosti prolazio sam rasejan, stalno vrteći u glavi to da Vu nalazi efekat koji je 'veliki'. Pamtio sam, iz Lijeovog predavanja održanog u Brukhejvenu, u avgustu, da bi očekivani efekti, izazvani narušavanjem parnosti pri raspadanju muona i piona ( $\pi$ -mezona), morali biti majušni.

Veliki? U avgustu sam bacio pogled na takozvani 'pi-mu' (pion-muon) lanac raspadnih reakcija i shvatio da tu ne možeš organizovati dobar opit bez dve uzastopne reakcije. Posle smo malo i računali, tog avgusta 1956, i zaključili da bi opit imao marginalne ili nikakve izgleda da uspe. Ali ako je efekat veliki...

Oko 6 sati po podne bio sam u kolima i vozio se kući na večeru, u Dobs Feri. Trebalo je da posle toga provedem tihu večernju smenu sa mojim postdiplomcem u obližnjoj laboratoriji Nevis u, znate već, Irvingtonu na Hadsonu. Naš akcelerator Nevis, sa svojih 400 MeV, bio je radni konj koji je vukao i vukao proizvodnju i proučavanje mezona - pedesetih godina još srazmerno nove čestice. U tim srećnim danima nije bilo mnogo mezona, pa je mašina Nevis stizala da se brine i o pionima i o muonima.

U Nevisu smo bombardovali metu protonima i dobijali snažne zrake piona. Pioni su nestabilni i zato, dok su izletali iz mete i iz akceleratora, jurili kroz zaštitni zid i uletali u dvoranu za opite, dvadesetak postotaka njih se raspadalo, slabim raspadom, na muon i neutrino.

$p \rightarrow \mu + \pi$  (u letu)

Muoni su, najčešće, nastavljali da lete u istom pravcu kao i njihov roditelj pion. Ako bi se tu kršio zakon parnosti, nastajao bi višak muona čije su ose spina u smeru kretanja čestica, a manjak muona čije bi ose spina bile okrenute, recimo, na suprotnu stranu. Ako bi efekat bio veliki, priroda bi mogla da nam obezbedi uzorak čestica istosmernog spina. Tu situaciju je Vu htela da stvori hladeći kobalt 60 do krajnje niskih temperatura u magnetnom polju. Presudno je bilo da posmatra one muone čiji pravac ose spina zna i da vidi kako će se oni raspadati na elektrone i neutrine.

## **OPIT**

Saobraćajna gužva na putu ka severu, ka Sou Mil River Parkveju, petkom uveče, ometa čoveka koji bi želeo da razgleda divne šumovite bregove duž tog puta što krivuda pored reke Hadson, pored Riverdejla i Jonkersa, i odlazi na sever. Negde na tom putu meni je konačno svanulo kakva mogućnost proističe iz tog 'velikog' dejstva. Ako je kod jednog objekta određenog spina prilikom raspada 'povlašćen' jedan određeni smer ose spina, to je taj efekat. Mali efekat bio bi ako bi iz 2.000 muona, koji svi imaju isti spin, bilo ispaljeno 1.030 elektrona na jednu stranu, a 970 na suprotnu stranu; to bi bilo vrlo teško ustanoviti merenjem. Ali veliki efekat, recimo 1.500 prema 500, bilo bi mnogo lakše ustanoviti, a ta ista srećna pretežnost pomogla bi i u organizovanju spinova muona. Muoni bi išli iz ciklotrona u naše aparate, to je jedan određeni pravac i smer kretanja; taj smer nam je referenca u odnosu na koju možemo da odredimo spin muona. Hoćemo da većina muona budu desnoruki (ili levoruki, svejedno); pri tome, pravac njihovog leta jeste onaj ispruženi palac, a povijeni prsti pokazuju smer 'spinovanja', to jest 'rotiranja' muona. Muoni će stizati, prolaziti kroz poneki brojač i zaustavljati se u jednom bloku ugljenika. Iz njega će izletati elektroni. Brojimo koliko elektrona izlazi u onom istom smeru u kome su muoni leteli, a koliko izlazi na suprotnu stranu. Ako bi se pokazala neka značajna razlika, to bi bio dokaz o narušavanju parnosti. Slava i bogatstvo!

Najednom je moja uobičajena smirenost petkom uveče bila uništena tako što mi je palo na um da bismo mogli da izvedemo taj opit trivijalno lako. Taj moj postdiplomac, Marsel Vajnrih (Marcel Weinrich), već neko vreme spremao je jedan opit sa muonima. Mi bismo mogli to njegovo da rasturimo, izvršimo nekoliko jednostavnih prepravki i pojurimo za velikim efektom. Počeh da razmatram kako se muoni prave u akceleratoru na Kolumbiji. Ja sam bio nekakav stručnjak za to, jer sam sa Džonom Tinlotom radio na projektu za korišćenje spoljnih pionskih i muonskih zrakova pre izvesnog broja godina kad sam bio neobuzdani postdiplomac, a mašina sasvim nova.

Dočarao sam sebi, u mislima, ceo proces: imamo akcelerator. To je magnet težak 4.000 tona. Imamo kutiju od nerđajućeg čelika, u kojoj je vakuum. Nad kutiju se nadnosi jedan pol magneta: to je ravna površina, kružnog oblika, oko sedam metara u prečniku. Ispod kutije je druga takva gvozdена ravnica od sedam metara: to je drugi pol istog tog magneta. Znači, kutija leži kao u sendviču. U samo središte kutije uštrca se, kroz jednu cev zaista uzanu, mlaz protona. Protoni polete. Kreću se spiralnom putanjom koja postaje sve šira i šira zato što oni prilikom svakog obilaska budu električnim privlačenjem povučeni još brže; to njima radi napon kontrolisan radio-frekvencijom. Kad je spiralno putovanje već sasvim pri kraju, jer su protoni došli maltene do same unutrašnje ivice raspoloživog prostora u kutiji (to jest, komori), gle šta im se nađe na putu - jedna šipkica koju sam nabudžio baš tu. Na kraju šipkice je parčence grafita koje sad čeka da ga bombarduju ovi protoni, puni energije. Svaki takav proton donosi po 400 miliona volti. To je dovoljno za stvaranje novih čestica - piona - a to će i biti ishod čim protoni počnu da se sudaraju sa jezgri ma ugljenika u toj grafitnoj meti.

U mislima sam video kako pioni izleću, i to uglavnom pravo napred, zato što ih tako nosi impuls preostao od zabijanja protona u jezgra. Rođeni tu između polova moćnog ciklotronskog magneta, pioni blagim lukom izleću iz akceleratora, kroz izlaz koji im je ostavljen; dok to rade, ujedno i plešu svoj ples nestanka. Namesto njih pojavljuju se muoni, koji ih nasleđuju, ali i sami nastavljaju da lete isto kao do maločas pioni. Magnet je već daleko iza njih, ali ono malo magnetnog polja što još ima u tom prostoru pomaže, ipak, da muoni projure brzo kroz rupu koju smo ostavili u našem betonskom zaštitnom zidu debelom tri metra i da ulete u salu za opite, gde ih čekamo mi.

U Marselovom opitu, muone bismo usporili pomoću filtera debelog oko sedam i po centimetara, a onda i sasvim zaustavili u bloku nekog hemijskog elementa. Imali bismo razne takve blokove, debljine oko dva i po centimetra svaki. Muoni bi gubili energiju u nizu blagih sudara sa atomima tih materijala i, najzad, pošto su negativno naelektrisani, desilo bi im se to da bi ih pozitivna jezgra zarobila. Pošto mi u mom opitu ne bismo želeli ništa što bi uticalo na orijentaciju ose spina muona, takvo zarobljavanje bilo bi kobno.

Zato bismo proizvodili pozitivne, a ne negativne muone. Šta bi onda radili muoni sa pozitivnim električnim nabojem? Verovatno bi samo sedeli, tako, tu u bloku materijala, i čekali da im dođe vreme za raspad. Materijal za taj blok morao bi se odabrati pažljivo... Zaključih da bi ugljenik bio prava stvar.

Sad tek dolazi ključna misao tog vozača koji je vozio ka severu, jednog petka u januaru. Ako bi se na neki način postiglo to da svi (ili maltene svi) muoni rođeni u raspadanju mojih piona imaju postrojene svoje ose spina - dakle, ako bi sve ose bile u istom pravcu, to bi značilo da je parnost narušena, veoma narušena, u reakciji 'pi-mu'. Veliki efekat! Hajde da zamislimo da bi pomenute ose spina ostale uporedne sa pravcem letenja mojih muončića dok oni izleću iz mašine i lete elegantnim lukom kroz rupu, to jest kanal ostavljen u betonskom zaštitnom zidu upravo za tu svrhu. (Ako je g blizu 2, tačno to se i desi.) Pretpostavimo dalje da nebrojena blaga sudaranja sa ugljenikovim atomima, zbog kojih će muoni postupno usporavati svoje kretanje, neće narušiti ovaj odnos između pravca kretanja i ose spina. Ako bi se ovo sve ovako odigralo, mirabile dictu! Imao bih uzorak muona koji su se smirili u jednom komadu materije, a svi imaju isti spin!

Muonov životni vek, dve mikrosekunde, baš je pogodan za sve ovo. Već smo imali sve namešteno za jedan opit u kome je trebalo otkriti elektrone koji izleću iz raspadajućih muona. Bilo bi dovoljno da naprosto pazimo koliko elektrona izleće na jednu stranu, a koliko na suprotnu. I jedni i drugi bi se kretali uporedno sa osama spina. To je provera ogledalske simetrije. Ako bude na jednu stranu izletalo više, parnost će biti mrtva, a ja njen ubica! Aaaaarrghhhh!

Činilo se, međutim, da bi trebalo da se desi nekoliko uzastopnih čuda, pa da meni sve ovo pođe za rukom. Upravo ovaj niz događaja obeshrabrio nas je u avgustu, kada su Li i Jang pročitali svoj naučni rad, onaj koji je predviđao mali efekat. Uz mnogo strpljenja, moguće je ovladati jednim malenim efektom; ali dva mala dejstva uzastopno - recimo da se nešto sa nečim ne podudara za jedan posto, a taj rezultat da se posle sa nečim trećim opet razilazi za samo jedan posto - to nije opit, to je beznađe. Zašto dva mala dejstva? Pa, setite se, priroda prvo treba da obezbedi da se pioni raspadnu na muone, ali da se nastali muoni vrte oko svoje ose većinom na istu stranu (to je čudo br. 1). Posle muoni treba da se raspadnu na elektrone sa opazivom asimetrijom u odnosu na osu spina, recimo da pojuri više elektrona gore, a manje dole (to je čudo br. 2).

Dok sam stigao do javne telefonske govornice u Jonkersu (bila je 1957. godina, za poziv je bio dovoljan novčić od 5 centi), bio sam već poprilično uzbuđen. Jer bio sam veoma sklon da poverujem da, ako stvarno postoji veliko narušavanje parnosti, muoni moraju biti polarizovani (svi spinovi pokazuju u istom smeru). Takođe sam znao da su magnetne osobine muonovog spina takve da će pod uticajem magnetnog polja doći do 'stiskanja' spina u pravcu kretanja čestice. Manje sam bio siguran u to šta će se desiti kad muoni uđu u grafit, koji će apsorbovati njihovu energiju. Ako nisam u pravu, njihove ose spina ima da se 'rasklimaju' kud koja. U tom slučaju, nema izgleda da opazimo da li elektroni izleću na jednu ili na drugu stranu.

Hajde da to pogledamo sve iz početka, još jedanput. Raspadanje piona stvara muone koji spinuju u onom istom pravcu u kome se i kreću. To je deo čuda. Sad valja muone zaustaviti da bismo gledali na koju stranu će izletati elektroni kad muonima dođe vreme da se raspadnu. Pošto znamo kako su postrojani prilikom uletanja u parče ugljenika, vrteće se i dalje tako (ako ih ništa ne omete) dok gube energiju, vrteće se tako sve dok se ne raspadnu. Samo treba da namestimo naše detektore elektrona na jednu dasku koja bi mogla da se okreće tako da sa svake strane može da 'pogleda' šta izleće iz umirenih muona - da li oni pokazuju ogledalsku simetriju.

Počeli su da mi se znoje dlanovi dok sam razmatrao kako nam se posao zgodno namestio. Svi brojači - već pri ruci. Elektronika koja će signalisati da je visokoenergetski muon došao i da ulazi u parče grafita i smiruje se u njemu - već raspoređena na svoja mesta i temeljito proverena. Imamo 'teleskop' koji se sastoji od četiri uzastopna brojača elektrona, onih elektrona koji bi trebalo da izleću posle raspadanja muona. Još samo da ga nakačimo na dasku, ali treba napraviti tu dasku tako da ona može da se vrti unaokolo, da sa svake strane osmatra to parče grafita u kome će se muoni zaustavljati. Napraviti

dasku... dva sata posla. Možda samo jedan sat. Dakle, zaključih ja, čeka nas jedna duga noć.

Samo sam svratio kući da na brzinu progutam večeru i popričam sa decom. Zazvonio je telefon. Javio se Ričard Garvin (Richard Garwin), fizičar koji je radio u firmi IBM. U njihovim istraživačkim laboratorijama, koje se nalaze u neposrednoj blizini kampusa Univerziteta Kolumbija, zavirivao je u izvesne nuklearne procese. Dik Garvin se često muvao po našem fakultetu, ali nije bio na kineskom ručku tog dana; želeo je da čuje šta se najnovije priča o opitu naše kolegice Vu.

"Hej, Dik, imam super zamisao kako da proverimo kršenje parnosti", kažem ja, "na najjednostavniji način koji možeš zamisliti." Objasnim mu na brzinu i pitam: "Je li mo'š' da se dovezeš do laboratorije da nam pomogneš?" Dik Garvin je stanovao u obližnjem Skarsdejlju. U osam sati te večeri, već smo rasturali aparate jednog vrlo zbunjenog i uznemirenog postdiplomca. Marsel je morao da gleda kako neko navaljuje da baš razmontira ceo njegov opit, onaj koji je trebalo da mu posluži za doktorat! Dik je dobio zadatak da razmisli kako da se elektronski teleskop namesti da se pokreće oko mete, sa svake strane, kako bismo merili raspodelu elektrona u odnosu na pretpostavljenu osu spina. Ovo nije bio trivijalan problem, jer ako bi se tokom našeg 'rvanja' sa tom daskom menjala udaljenost od uzorka, dakle od mojih muona, onda bi i opaženi broj elektrona mogao znatno da se menja.

Tad je pronađena druga ključna stvar; smislio ju je Dik Garvin. Slušajte, rekao je on, umesto da muvamo ovu tešku platformu sa brojačima tamo i amo, hajde da mi nešto drugo uradimo. Neka daska miruje, a mi da uzmemo jedan magnet i da okrećemo muone. Ostadoh zaprepašćen jednostavnošću i elegancijom ove zamisli. Naravno! Naelektrisana čestica koja se vrti oko svoje ose - to vam je, već, jedan mali magnet. U magnetnom polju ona će se okretati kao kompasna igla, osim što će mehaničke sile koje deluju na muon-magnet izazivati neprekidnu rotaciju. Zamisao je bila toliko jednostavna da je bila duboka.

Bila je dečija igra izračunati vrednost magnetnog polja potrebnu da se muoni u razumnom roku okrenu za 360 stepeni. Šta je razumno vreme za jedan muon? Pa, vidite, muoni se raspadaju na elektrone i neutrine, a poluživot im iznosi 1,5 mikrosekundi. Znači, već posle jedne i po mikrosekunde, polovina muona je rekla 'zdravo i zbogom'. Ako ih zaokrećemo suviše sporo, recimo za 1 ugaoni stepen u mikrosekundi, većina će iščeznuti već posle nekoliko mikrosekundi, tako da nećemo stići da uporedimo koliko su elektrona bacili pod uglom od nula stepeni, a koliko pod uglom od 180 stepeni - broj elektrona, dakle, emitovan 'iz vrha' i 'iz dna' muona - a to nam je poenta celog opita. A ako ćušnemo neki jak magnet tamo i postignemo 1.000 stepeni u svakoj mikrosekundi, muoni će se tumbati toliko brzo da će mlazevi elektrona samo juriti preko detektora, dajući razmrljane, slivene efekte. Zaključili smo da bi idealan tempo okretanja muona bio oko 45 stepeni u svakoj mikrosekundi.

To željeno magnetno polje napravili smo tako što smo uzeli jednu žicu, namotali je nekoliko stotina puta oko jednog valjka i pustili kroz nju električnu struju od nekoliko ampera. Našli smo jednu cev od lucita, i to nam je bio valjak: u suštini jedna providna valjkasta cev. Poslali smo Marsela u magacin po žicu, isekli smo grafitni blok za zaustavljanje, tako da je sada bio dovoljno malen da stane u lucitnu cev, uključili smo dva kraja žice u jedan izvor struje koji je mogao da se daljinski kontroliše (jedan takav je bio baš na polici). Bila je to velika jurnjava u pozno doba. U ponoć je sve bilo spremno. Morali smo da žurimo jer se akcelerator uvek isključuje u subotu u osam sati ujutro zbog opravki i održavanja.

U jedan sat ujutro naši brojači su već beležili podatke; registratori akumulacije javljali su koliko je elektrona izletelo na koju stranu. Ali imajte na umu, radili smo po Garvinovom fazonu, a to je značilo da nismo merili uglove neposredno. Naš elektronski teleskop ostajao je nepokretan, a u magnetnom polju obrtani su muoni, tačnije vektori njihovih osa spina. Prema tome, vreme pristizanja elektrona u teleskop sada je odgovaralo njihovom pravcu izletanja. Beležeći to vreme, beležili smo i pravac. Problema je, dabome, bilo poprilično. Zvali smo uporno operatore akceleratora i dosađivali im zahtevima da šalju što je moguće više protona u našu metu. Svi brojači koji su registrovali pristizanje i zaustavljanje muona morali su biti podešeni. Morali smo da

proveravamo koliko dobro kontroliramo to malo magnetno polje koje smo primenili na muone.

Posle nekoliko sati uzimanja podataka, videli smo upadljivu razliku u broju elektrona emitovanih pod uglom od nula i pod uglom od 180 stepeni u odnosu na muonsku osu spina. Podaci su bili vrlo grubi; zato smo mešali uzbuđeni optimizam sa skepticizmom. A kad smo pogledali podatke u osam sati ujutro, skepticizam je potvrđen kao ispravan. Sada su podaci bili daleko manje ubedljivi i mogli su se sasvim lepo uklopiti u pretpostavku da je izbacivanje elektrona u svim pravcima jednako - a to je predskazivač ogledalske simetrije. Moljaskali smo ove što rade sa akceleratorom da nam daju još koji sat, ali uzalud. Rasporedi rada su rasporedi rada. Obeshrabreni, sišli smo dole, u salu, gde je naš aparat mirovao. Tamo nas je pozdravila omanja katastrofa. Toplota namotanih žica pregrijala je našu lucitnu cilindričnu cev koja se usled toga izobličila, pa je komadić grafita ispao! Muoni se, dakle, nisu imali u čemu da zaustavljaju, niti su mogli da borave u magnetnom polju koje smo za njih napravili. Jedno vreme bacali smo krivicu jedni na druge (pa svi na postdiplomca, naravno), a onda smo se razvedrili. Jer naša početna pretpostavka ipak bi mogla biti tačna!

Smislili smo šta ćemo preko vikenda. Prvo, spremiti pristojno i valjano magnetno polje. Drugo, razmisliti da li bi se količina podataka mogla povećati tako što bi se povećao broj muona koje zaustavljamo, pa bismo brojali veći deo (srazmerno više) muona koji izlaze. Treće, razmisliti šta se tačno dešava sa muonima, koji su pozitivno naelektrisani, dok se sudaraju mnogo puta sa atomima ugljenika i polako zaustavljaju, a onda sede u rešetki ugljenikovih atoma. Ipak, moglo bi biti da pozitivni muon zarobi neki od elektrona koji se slobodno šetkaju kroz grafit (a takvih ima mnogo), pri čemu bi elektron lako mogao da depolarizuje spin muona (ispretumbati ga da zaokrene bilo kuda), tako da muoni više ne bi išli svi u korak kao vojska na paradnom maršu.

Otišli smo sva trojica svojim kućama, odspavali nekoliko sati i ponovo se našli na poslu u dva po podne. Proveli smo sav ostatak vikenda radeći, svako svoj deo posla. Ja sam uspeo da iz početka izračunam kretanje muona počev od trena kad se on rodi, a njegov roditelj pion uspe, iako se već raspada, da ga ritne još jednom - tako da 'dete' nasledi i impuls i produži da juri pravo napred; zatim, tokom onog vremena koje muon provodi leteći lučno kroz tunel koji smo u betonskom zaštitnom zidu ostavili za njega, i ulazeći u naš aparat. Pratio sam, bez prekida, spin i pravac. Pretpostavio sam krajnje narušavanje ogledalske simetrije, a to bi značilo da baš svi muoni imaju spin tačno upoređan sa putanjom muonskog zraka. I sve je ukazivalo na isti zaključak: ako je narušavanje simetrije veliko, ako je bar polovina maksimuma, trebalo bi da vidimo krivu liniju koja osciluje gore-dole. To bi ne samo dokazalo da je parnost narušena, nego bi nam dalo i brojčani rezultat, koliko je narušena; nešto između sto posto i (Ne! Nee!) nula posto. Ko god vam kaže da su naučnici hladno objektivna bića bez strasti, taj je blesav. Očajnički smo žudeli da vidimo pad parnosti. Parnost nije bila mlada ženska, a mi nismo bili pubertetlije, ali smo goreli od te strasti. Provera naučne objektivnosti sastoji se u tome da ne dopustiš da čežnja utiče na metodologiju rada niti na tvoju samokritičnost.

Garvin je bacio lucitni šuplji valjak i namotao bakarnu žicu pravo na (nov) komad grafita; taj sistem je proverio tako što je kroz njega puštao struju dvaput jaču nego što je nama u opitu bilo potrebno. Marsel je ponovo namestio sve brojače, poboljšao njihovu postrojenost tačno jedan iza drugog, u istu liniju, približio elektronski teleskop grafitnom bloku za zaustavljanje muona, zatim opet proverio sve brojače i poboljšao njihovu delotvornost, a za sve to vreme se molio Bogu da iz tolikog petljanja proistekne bar nešto što bi moglo da se objavi.

Rad je odmicao lagano. Ponedeljak ujutro... Neka prepričavanja o našem pomnom radu procurila su među operativnu posadu akceleratora, a odatle ponešto i do naših kolega. Pomenuta posada našla je neke ozbiljne probleme u svojoj mašini i isključila celu skalameriju; znači, ponedeljak nam propada, nema i neće biti nikakvog zraka do utorka u 8 ujutro, u najboljem slučaju. Dobro, ništa; bar imamo više vremena da se grizemo, da zapetljivamo i rassetljivamo, da sve proveravamo. U Nevis počese da dolaze kolege sa Kolumbije, znatiželjni da vide šta nas je to spopalo. Jedan oštromni mladi čovek koji je bio na onom kineskom ručku postavio je nekoliko pitanja i, na osnovu mojih nepoštenih i neiskrenih neodgovora, 'provalio' šta mi to pokušavamo.

"Nema izgleda", uveravao me je on. "Dok gube energiju u grafitnom filteru, muoni ima da ti se depolarizuju." Mene je bilo lako baciti u potištenost, ali ne i navesti da odustanem. Pamtio sam šta je govorio moj mentor, veliki mudrac sa Kolumbije, I. I. Rabi: "Spin isklizne tako lako."

U ponedeljak oko šest sati po podne, pre predviđenog roka, mašina je počela da pokazuje znake života. Pohitali smo sa poslednjim pripremama, proverili sve uređaje i rasporede. Pogledam ja metu od grafita, elegantno omotanu bakarnom žicom i položenu na jednu ploču deset sa deset centimetara. Da ne leži nekako malo nisko? Zavirim kroz kontrolni uređaj; stvarno, nisko je. Treba podići, i to za dva i po centimetra! U jednom uglu vidim konzervu od kafe 'Maksvel Haus' i u njoj neke zavrtnje za drvo. Podmetnem tu konzervu umesto jednog dela dotadašnje podloge. Savršeno! (Kasnije su oni iz Smitsonijanske ustanove hteli da ponove ceo naš opit tačno, pa su tražili i tu konzervu, ali nismo uspeli da je pronađemo.)

Preko zvučnika počese da javljaju da će mašina sad biti uključena i da svi eksperimentatori moraju napustiti akceleratori prostor (da ne bi bili isprženi). Pojurimo Marsel i ja uz strme gvozdene stepenice, pa preko parkinga, u zgradu laboratorije, gde su kablovi iz svih naših detektora već bili uključeni u razne utikače na policama punim elektronike, žica, skalera, osciloskopa. Garvin je još nekoliko sati pre toga bio otišao kući, a ja sam poslao Marsela da donese nešto za jelo. Počeo sam da proveravam elektronske signale koji su stizali iz naših detektora. Imali smo veliku, debelu laboratorijsku beležnicu u koju smo zapisivali sve značajne informacije. Bila je veselo popunjena grafitima: 'Ko je zaboravio da ugasi rešo?', 'E, sranje!', 'Zvala te žena'. Ali i prepuna zabelažaka o stvarima koje treba uraditi ili su već urađene, i o stanju električnih struja. ('Pazi brojač br. 3, 'oće da baca varnice i preskače u brojanju.')

Oko 7.15 te večeri, uspostavljena je otprilike standardna proizvodnja protona, pa smo, daljinskom kontrolom, nabudžili onu šipkicu sa metom koja će biti na udaru i proizvoditi pione. Istog trena brojači su počeli da registruju pristizanje čestica. Ja sam pogledao na onaj presudni red brojača, koji treba da registruju koliko elektrona izleće u raznim razmacima posle zaustavljanja muona u grafitu. Brojevi su još bili mali: 6, 13, 8...

Oko pola deset stigao je Garvin. Ja odlučim da malo odspavam, pa da se vratim u šest ujutro da odmenim Garvina. Odvezem se kući, vozeći vrlo polako. Proveo sam ukupno dvadeset sati budan i sad sam bio suviše umoran da jedem. Spustim glavu na jastuk i već sledećeg trena - tako mi se učinilo - zvoni telefon. (A na časovniku piše da je tri ujutro.) Zove... Garvin. "Bilo bi dobro da dođeš. Uspeli smo!"

U 3.25 sati te noći parkirao sam se ispred laboratorije i jurnuo unutra. Garvin je u beležnicu nalepio komade papirne trake koja je izlazila iz brojača. Brojke su bile ubitačno jasne. Dvostruko više elektrona izletalo je pod uglom od 0 stepeni nego pod uglom od 180 stepeni. Prirodi je bila jasna razlika između spina nadesno i nalevo. Mašina se u međuvremenu zahuktala do svog najboljeg režima rada, pa su brojevi na skalerima samo leteli: gore, dole, gore, dole... Na brojaču koji odgovara nagibu od nula stepeni, piše 2.560; a na onom za 180 stepeni piše 1.222. Statistički gledano, to su ogromne razlike. A oni brojači između davali su neke vrednosti koje su bile u zadovoljavajućoj meri između. Implikacije tako velikog razbijanja parnosti bile su nepojamno ogromne... Bacio sam pogled na Dika. Počinjao sam teško da dišem, dlanovi oznojeni, srčani rad ubrzan, u glavi osećajne praznine i lakoće - dakle, mnogi (ali ne baš svi!) simptomi seksualnog uzbuđenja. Ovo je bilo nešto veliko. Počeh da spremam listu za proveru: koji elementi bi mogli da rade neispravno, ali na takav način neispravno da simuliraju upravo ovaj ishod koji vidimo? Mogućnosti je bilo mnogo, tako mnogo. Provedosmo, na primer, pun sat samo proveravajući električne vodove do brojača elektrona. Nigde nijednog problema. Kako još da proverimo svoje zaključke?

Utorak, 4.30, rano jutro. Zatražimo od osoblja akceleratora da isključe zrak. Otrčimo preko puta i dohvatimo u šake dasku sa elektronskim teleskopom i okrenemo je u novi položaj, pod uglom od 90 stepeni u odnosu na dotadašnji. Ji-piii! Obrazac opažanja elektrona pomeri se tačno za toliko!

Dođe 6 sati ujutro. Uzimam telefon i zovem T. D. Lija. "Ti-Di, mi smo gledali pi-mu lanac i sada imamo dvadesetostandardni devijacijski signal. Zakon parnosti je mrtav."

Kroz telefon počne da štrca Ti-Dijeva reakcija, sačinjena od brzometnih pitanja: "Elektroni su koje energije? Kako asimetrija varira sa njihovom energijom? Da li je spin muona bio uporedan sa svojim pravcem dolaženja?" Na neka od tih pitanja imali smo odgovore. Neki odgovori su došli kasnije. Garvin je počeo da crta grafikone i da unosi očitavanja brojača u njih. Ja sam sastavio još jedan spisak poslova koje treba obaviti. U sedam sati počeli su telefonski pozivi od kolega sa Kolumbije do kojih je doprla vest. Oko osam sati Garvin je tiho klisnuo i više ga nije bilo tu. Ali stigao je postdiplomac Marsel (na njega smo bili sasvim zaboravili!). U devet sati, u sobi je već bio opšti krkljanac: kolege, tehničari, sekretarice koje pokušavaju da saznaju šta se dešava.

A opit traje, samo je sad teško održavati ga. Meni su se vratili simptomi sa teškim disanjem i znojenjem dlanova. Sada smo bili izvorište jedne nove, duboke informacije o svetu. Fizika je bila izmenjena. Osim toga, ovo narušavanje parnosti dalo nam je moćnu novu alatku: polarizovane muone koji reaguju na magnetno polje, a čiji se spinovi mogu pratiti po elektronima koji izleću pri raspadanju tih muona.

Telefoni su zvonili, donoseći pozive iz Čikaga, iz Kalifornije i iz Evrope, tokom sledećih tri-četiri sata. Svi koji su imali akcelerator čestica - u Berkliju, Čikagu, Liverpulu, Ženevi, Moskvi - pojurili su u akciju kao piloti u ratno doba kad dobiju uzbunu. Nastavili smo opit i proces proveravanja tačnosti toga što smo radili, još celih sedam dana neprekidno, ali bili smo očajnički željni da objavimo stvar. Nastavili smo da uzimamo podatke, na ovaj ili onaj način, dvadeset četiri sata na dan, šest dana nedeljno, sledećih šest meseci neprestano. Podaci su priticali kao reka. Iz drugih laboratorija uskoro su stigle vesti: naši rezultati su potvrđeni.

Koleginica Č.Š. Vu, dabome, nije bila baš presrećna videći naše čiste, nesumnjive ishode. Imali smo volju da ih objavimo zajedno sa njom, ali, neka joj večno bude hvala za to, ona je odbila, govoreći da joj treba još nedelju dana da proveri svoje rezultate.

Teško je rečima dočarati do koje mere su ovi rezultati zapanjili zajednicu fizičara. Mi smo osporili - zapravo, uništili - obožavan privid, onaj po kome priroda ima ogledalsku simetriju. U kasnijim godinama, kao što ćemo videti, dokazana je netačnost i nekih drugih simetrija. Pa ipak, čak i posle tih daljih otkrića, neki teoretičari su se protivili - toliko su uzdrmani bili. Među njima se našao i Wolfgang Pauli, koji je dao onu čuvenu izjavu: "Ne mogu verovati da je Bog levak, i to slab." Time Pauli nije hteo reći da bi Bog (ili Boginja) trebalo da bude dešnjak (ili dešnjakinja) nego da bi trebalo obema rukama da se služi sasvim jednako.

Na godišnji sastanak Američkog društva za fiziku došlo je 2.000 fizičara. Skrkali su se u balsku dvoranu hotela 'Paramaunt' u Njujorku, 6. februara 1957. Neki su visili sa krovnih greda. U svim važnijim dnevničkim novinama naš rad je pozdravljan u člancima koji su bili na naslovnim stranama. 'Njujork Tajms' je objavio naše saopštenje za štampu celo, od reči do reči, i to sa slikama čestica i ogledala. Ali ništa od svega ovoga nije bilo ravno onom osećanju u tri sata ujutro, onoj mističnoj euforiji u trenutku kad su dvojica fizičara otkrila jednu novu, duboku istinu.

## 7. A-TOM!

Juče su trojica naučnika dobila Nobelovu nagradu za pronalaženje najmanjeg predmeta na svetu. Pokazalo se da je taj najmanji predmet šnicla u kafani 'Kod Denija'.

Džej Lino (Jay Leno)

Pedesete i šezdesete bile su velike godine za nauku u Americi. U poređenu sa devedesetim, koje su mnogo tvrđe, čini se da je u pedesetim svako mogao dobiti pare za svoj opit, pod uslovom da ima dobru zamisao i dosta odlučnosti. Možda je to jedno od najboljih merila za ocenjivanje kad je jedna nauka zdrava. Ova nacija i danas izvlači koristi od naučnih otkrića postignutih u te dve decenije.

Poplava novih subnuklearnih struktura, do kojih je pristup otvoren upotrebom akceleratora čestica, iznenadila je nauku jednako kao Galilejevo otkriće novih nebeskih tela ostvareno pomoću teleskopa. Kao u galilejskoj revoluciji, tako je i sad ljudski rod stekao nova, neslućena znanja o svetu. To što su se znanja odnosila na unutrašnji, a ne na onaj spoljašnji, kosmički prostor, nije ih činilo manje dubokim. Događaj analogan ovom jeste Pasterovo otkriće mikroba i nevidljive biološke vasseljene mikroorganizama. Bizarno nagađanje našeg junaka Demokrita ("Nagađanje, je l'?" čujem ga kako besno škripi. "Nagađanje, a?") nije bilo više ni komentarisano. Svako je prihvatio da postoje čestice tako malene da ih ljudsko oko ne može videti. Jasno je bilo da će u traganju za najmanjom česticom biti potrebni produžeci ljudskog čula vida: lupe, mikroskopi i akceleratori - sve da bi se pojurilo što dublje, dole, u potragu za pravim a-tomom. A šta smo tamo dole videli? Hadrone, mnoštvo hadrona, tih čestica označenih grčkim slovima koje nastaju u jakim sudarima pod dejstvom akceleratorских zraka.

Ne znači to da je otkrivanje tolikog mnoštva hadrona bilo nepomućena radost. Jeste da smo svi dobili zaposlenje; bogatstvo je rašireno na veći broj korisnika, otkrivači novih čestica više nisu bili ekskluzivan klub. Želite da pronađete neku sasvim novu vrstu hadrona? Izvol'te, samo sačekajte sledeći krug. Na jednoj konferenciji o istoriji fizike, održanoj u Fermilabu, 1968. godine, Pol Dirak je pričao kako mu je teško bilo da prihvati posledicu svoje sopstvene jednačine - zato što je ta posledica bila da mora postojati nova čestica, pozitron, koju je Karl Anderson stvarno i otkrio nekoliko godina kasnije. Godine 1927. tako radikalna razmišljanja bila su protivna dobrim običajima i prihvaćenom ponašanju u fizici. Javi se iz publike Viktor Vajskopf i podseti Diraka na okolnost da je Ajnštajn još 1922. spekulisao o postojanju pozitivnog elektrona, a Dirak samo odmahne rukom: "Ajnštajn je imao sreće." Godine 1930. Wolfgang Pauli se grdno dvoumio pre nego što je predskazao postojanje neutrina. Konačno se 'prelomio' da tu česticu prihvati, ali samo kao manje zlo, pošto je jedina druga mogućnost bila da se odustane od zakona o očuvanju energije. Ili neutrino postoji, ili očuvanje energije ne važi. Ovaj konzervativan stav prema otkrivanju novih čestica posle nekog vremena je napušten. Kao što peva Bob Dilan, "Vremena se menjaju". Pionir u menjanju te filozofije bio je teoretičar Hideki Jukava, koji je počeo bez zazora da izmišlja sve nove i nove čestice za objašnjavanje novih pojava; drugi su prihvatili ovaj Jukavin pristup.

U pedesetim godinama i početkom šezdesetih, teoretičari su silan rad ulagali u klasifikovanje stotina vrsta hadrona, tragajući za obrascima - za nekim pravilnim ili osmišljenim rasporedima, u tom novom sloju materije; istovremeno su navaljivali na kolege eksperimentatore tražeći još podataka. A te stotine hadrona behu uzbudljiva stvar, ali i glavobolja. Gde je ona jednostavnost za kojom tragamo još od vremena Talesa, Empedokla i Demokrita? Ne možeš izići nakraj sa tako velikim zoološkim vrtom čestica! Počinjali smo već da se pribojavamo da bi broj novih čestica, koje se mogu otkrivati, mogao biti beskonačan: legije bez kraja.

U ovom poglavlju videćemo kako su snovi Demokrita, Boškovića i drugih konačno ostvareni. Ispričaćemo hroniku o uobličavanju standardnog modela, koji sadrži sve elementarne čestice potrebne za izgradnju sve materije u Vaseljeni, prošloj i sadašnjoj, kao i sve sile koje na te čestice deluju. U ponećemu, ovaj model je složeniji od Demokritovog, u kome svaka vrsta materije ima svoj nedeljivi a-tom, pa se a-tomi



uklapaju jedan s drugim zbog svojih komplementarnih oblika. U standardnom modelu, čestice materije spajaju se jedna s drugom pomoću tri različite sile, a prenosioci tih sila su opet neke čestice. I sve te čestice deluju jedna na drugu, u jednoj zamršenoj vrsti plesa koji može biti matematički iskazan, ali ne može biti vizuelno zamišljen. Pa ipak, u ponečemu drugom, standardni model daleko je jednostavniji nego što je Demokrit ikada i zamišljao. Ne treba nam zasebna vrsta a-toma za feta sir, a zasebna za sir-mešanac, treća za čašice u našim kolenima, četvrta za zelenu salatu. Postoji samo jedan mali broj a-toma. Praveći od njih razne kombinacije, možeš dobiti sve. Već smo se upoznali sa tri takve elementarne čestice, a to su elektron, muon i neutrino. Uskoro ćemo upoznati i ostale i videti kako se uklapaju.

Ovo je poglavlje trijumfa, jer u njemu stižemo do kraja druma pređenog u traganju za najosnovnijom opekom od koje je izgrađeno sve. U pedesetim i šezdesetim godinama nismo se osećali tako ležerno po pitanju konačnog odgovaranja na Demokritovu zagonetku. Zbog glavobolje sa 'sto hadrona', činilo se da su slabi izgledi da prepoznamo samo neki mali broj čestica koje bi bile elementarne. Fizičari su mnogo bolje napredovali u opisivanju sila prirode. Četiri sile smo jasno prepoznavali: gravitaciju, elektromagnetnu, jaku i slabu. Gravitacija je bila područje za astrofizičare zato što je tako nejak da u akceleratorskoj laboratoriji ne možeš nikako da je upotrebiš. Ovo izostavljanje nam se kasnije vratilo 'na naplatu' vrlo nezgodno. Ali preostale tri sile smo uspevali da stavimo pod kontrolu.

## **ELEKTRIČNA SILA**

U četrdesetim godinama ovog veka kvantna teorija elektromagnetne sile odnela je pobedu. Rad Pola Diraka iz 1927. godine uspešno je spojio kvantnu teoriju i posebnu relativnost, dajući teoriju elektrona. Međutim, brak kvantne teorije i elektromagnetizma (to jest, elektromagnetne sile) bio je buran i pun upornih problema.

Borba za objedinjenje ove dve teorije bila je neformalno poznata kao 'rat protiv beskonačnosti'; ratovali su, sredinom četrdesetih godina, beskonačnost s jedne strane, a sa suprotne strane neki od najblistavijih fizičara: Pauli, Vajskopf, Hajzenberg, Hans Bete i Dirak, kao i neki novi fizičari, zvezde u usponu - Ričard Fajnmen na Kornelu, Džulijan Švinger (Julian Schwinger) na Harvardu, Frimen Dajson (Freeman Dyson) na Prinstonu i Sin-itiro Tomonaga (Sin-itiro Tomonaga) u Japanu. Evo odakle su izlazile te beskonačnosti: najjednostavnije rečeno, uzmeš da izračunaš vrednost za neke odlike elektrona, a odgovor, po novim relativističkim kvantnim teorijama, bude beskonačno velika vrednost. Ne neki veliki iznos, nego beskonačan.

Jedan način da se vizuelno dočara ta matematička količina nazvana beskonačnost jeste ovaj: zamisliš ukupan broj svih celih prirodnih brojeva i dodaš... još jedan. I još jedan, i još, uvek može još jedan. Drugi način, koji je imao više izgleda da se pojavi u proračunima tih vanrednih, ali nesrećnih teoretičara, bio je da pokušaš izračunati vrednost razlomka u kome je imenilac nula. Većina džepnih računara učtivo će te obavestiti (obično pomoću velikog slova E, možda ponovljenog mnogo puta: EEEEE....) da si uradio/uradila nešto glupo. Oni raniji kalkulatori sa električnim sklopkama proizveli bi neke nezgodne zvuke, kakofoniju čangrljanja i škripanja, što bi se završilo pramenom gustog dima. Teoretičari su videli te beskonačnosti kao znak da elektromagnetizam i kvantna teorija u svome braku rade nešto sasvim pogrešno - hajde da se ne upuštamo u metaforično razmatranje šta (mada bismo rado). U svakom slučaju, Fajnmen, Švinger i Tomonaga, radeći međusobno nezavisno, postigli su neku vrstu pobede u poznim četrdesetim godinama ovog veka. Konačno su prevladali našu nemoć da izračunamo odlike naelektrisanih čestica kao što je elektron.

Jedan od glavnih podsticaja koji je omogućio ovaj teorijski uspeh pribavljen je jednim opitom. Uradio ga je na Kolumbiji jedan od mojih nastavnika, Vilis Lemb (Willis Lamb). U ranim posleratnim godinama, Lemb je većini nas držao više tečajeva, ali je i radio na elektromagnetizmu. On je takođe isplanirao i izveo, koristeći ratnu radarsku tehnologiju koja je upravo na Kolumbiji razvijena, jedan zapanjujuće precizan opit o odlikama izvesnih odabranih energetske nivoa u vodonikovom atomu. Trebalo je da ovi Lembovi

podaci stave na probu neke od najfinijih delova nove, tek iskovane kvantne elektromagnetne teorije. Preskočicu pojedinosti, dovoljno je reći da je ovaj opit bio bitan doprinos u uzbudljivom radu na stvaranju upotrebljive teorije električne sile.

Ono što su pomenuti teoretičari dali zove se 'renormalizovana kvantna elektrodinamika'. Kvantna elektrodinamika (QED - quantum electrodynamics) omogućila je teoretičarima da izračunaju osobine elektrona, kao i njegovog težeg brata muona, sa tačnošću od deset decimala.

QED je bila teorija polja, pa nam je zato dala fizičku sliku kako se sila prenosi između dve čestice materije - recimo, između dva elektrona. Njutn je imao problema sa idejom delovanja na daljinu. Maksvel takođe. Koji je mehanizam tog delovanja? Jedan od tih strašno pametnih tipova iz antičkog doba, neki Demokritov ortak nesumnjivo, otkrio je da Mesec utiče na plimu, a onda se mučio pitanjem kako to Mesec deluje kroz toliki prazan prostor. QED kaže da je i polje kvantizovano - to jest, sastoji se od kvanta (jedan kvant, dva kvanta i tako dalje) - što znači, opet od čestica. To, međutim, nisu čestice materije. To su čestice polja. One prenose silu tako što putuju, brzinom svetlosti, između dve materijalne čestice koje stupaju u međudejstvo. To su čestice-prenosioci. Za njih u QED kažemo da su fotoni. Druge sile imaju svoje, drugačije glasnike. Pomoću tih čestica-glasnika mi sebi dočaravamo 'izgled' sila.

## **VIRTUELNE ČESTICE**

Pre nego što nastavimo, treba da objasnim da postoje dva vida ispoljavanja čestica: stvarni i virtuelni. Stvarne čestice mogu da pređu put od tačke A do tačke B. One čuvaju energiju. One nateruju Gajgerov brojač da se oglasi onim svojim pucketanjem. Virtuelne čestice, kao što pomenuh u šestom poglavlju, ne postižu ništa od toga. Čestice-glasnici - prenositelji sile - mogu biti stvarne, ali se u teoriji češće pojavljuju kao virtuelne, tako da se ponekad ta dva naziva koriste kao sinonimi. Upravo virtuelne čestice prenose poruku "Sila! Sila!" od jedne čestice do druge. Ako tu negde, u neposrednoj blizini, postoji izobilje energije, elektron može emitovati iz sebe jedan stvarni foton, koji će izazvati, u Gajgerovom brojaču, jedan stvarni zvuk "klik". Virtuelna čestica je jedan logički sklop, koji potiče iz toga što kvantna teorija dopušta mnogo štošta. Prema kvantnim pravilima, čestice mogu biti stvorene tako što će se odnekud pozajmiti energija potrebna za to. Trajanje pozajmice određeno je Hajzenbergovim pravilima, koja kažu da prizvod pozajmljene energije i trajanja pozajmice mora biti veći od Plankove konstante podeljene sa dva pi. Ta jednačina izgleda ovako:  $\Delta E \Delta t$  veće je od  $h/2\pi$ . Ovo znači da što je više energije pozajmljeno, to je kraće vreme koje čestica može provesti postojeći i uživajući u svojoj pozajmici.

Po ovom shvatanju stvari, takozvani prazan prostor može biti okean prepun tih avetinjskih predmeta: virtuelnih fotona, virtuelnih elektrona i pozitrona, virtuelnih kvarkova i antikvarkova, pa čak (sa verovatnoćom koja je sam Bog zna koliko malena) i virtuelnih loptica za golf i antiloptica za golf. U tom vakuumu, koji je kao balska dvorana prepuna plesača što se žustro kreću, osobine stvarnih čestica moraju biti unekoliko promenjene. Na sreću po zdravi razum i napredak, te izmene su majušne. Ali ipak, mogu biti izmerene; čim je ovo shvaćeno, počela su takmičenja između sve tačnijih merenja i sve strpljivijih i upornijih teorijskih izračunavanja. Pomislite, na primer, na jedan stvarni elektron. Oko njega se, naprosto zato što postoji, stalno komeša oblak kratkovećnih virtuelnih fotona. Oni javljaju svima i svakome da je prisutan jedan elektron, ali i utiču na njegove odlike. I to još nije sve. Virtuelni foton može da se raspadne, vrlo kratkotrajno, u par  $e^+ e^-$  (jedan pozitron i jedan elektron). Dok je komarac trepnuo okom, ta dva već su se sastavila u opet isti foton kao što je i bio, ali čak i tom svom kratkovećnom preobražaju izvrše neki uticaj na odlike našeg elektrona.

U petom poglavlju napisao sam g vrednost elektrona izračunatu teorijski po QED i izmerenu u nadahnutim opitima. Kao što možda pamтите, te dve brojke su se podudarile u prvih jedanaest mesta posle decimalne zapete. Jednako uspešna bila je i g vrednost muona. Pošto je muon teži od elektrona, daje mogućnost za još detaljnije proveravanje zamisli prema kojoj su neke čestice glasnici; jer, muonovi glasnici mogu imati više

energiju i zbog toga stvarati veću 'nevolju'. Iz ovoga proističe da će vitruelna okolina uticati na odlike muona još jače. Sve je to vrlo apstraktno, ali podudarnost između teorije i opita gotovo je neverovatno dobra, što pokazuje koliko je moćna ta teorija.

## **MUONOV LIČNI MAGNETIZAM**

Ako ćemo o potvrđivanju teorije pomoću opita... Kad sam dogurao do svoje prve slobodne godine, a to je bila školska 1958-9, otputovao sam u CERN, u Ženevu; pare za taj put dadoše mi dve zadužbine, Fordova i Gugenhajmova. To mi je bilo kao dopuna uz moje pola plate. CERN je bio tvorevina konzorcijuma dvanaest evropskih nacija, koje su se udružile da izgrade i zajednički koriste skupocena postrojenja potrebna za fiziku visokih energija. Osnovan pred kraj četrdesetih godina, dok su ruševine Drugog svetskog rata bile još tople, CERN je značio saradnju onih koji su donedavno ratovali. Postao je uzor međunarodne saradnje u nauci. Tu je moj stari sponzor i prijatelj, Đilberto Bernardini, bio direktor istraživanja. Glavni moj razlog za odlazak bio je da malo uživam u Evropi, da naučim skijanje i da malo prčkam po toj laboratoriji koja se ugnezдила na švajcarsko-francuskoj granici nadomak Ženeve. Tokom dvadeset godina posle toga, proveo sam ukupno četiri godine baveći se istraživanjima u ovoj veličanstvenoj višejezičnoj instituciji. Iako si često mogao da čuješ francuski, engleski, nemački i italijanski, službeni jezik CERN-a bio je iskvareni fortran. Mumlanje i pokazivanje pokretima ruku takođe je uspevalo. Imao sam običaj da ovako objašnjavam razliku između CERN-a i Fermilaba: "CERN je kulinarski veličanstven, a arhitektonski katastrofalan, a Fermilab obratno." Onda sam ubedio Boba Vilsona da unajmi Gabrijela Tortelu (Gabriel Tortella), legendarnog CERN-ovog šefa kuhinje i menadžera restorana, da u Fermilabu nastupi kao konsultant. CERN i Fermilab su, mi to tako volimo da kažemo, takmaci koji sarađuju i vole da mrze jedan drugoga.

U CERN-u sam, uz Đilbertovu pomoć, organizovao jedan opit 'g minus 2'. Svrha mu je bila da izmeri muonov g činilac sa zapanjujućom tačnošću; za to je bilo potrebno primeniti nekoliko trikova. Jedan od tih trikova moguć je zato što muoni izlaze iz pionovog raspadanja polarizovani; naime, ogromna većina ima spinove koji pokazuju u smeru njihovog kretanja. Drugi oštrouman trik najavljen je u samom nazivu opita, 'g minus 2', ili 'Jzay moins deux' kako to Francuzi kažu. Ta vrednost g stoji u vezi sa onim malim magnetom koji kao da je ugrađen u odlike svake naelektrisane čestice sa spinom - dakle, i muona i elektrona.

Dirakova 'gruba' teorija predkazala je, sećate se, da će vrednost g biti tačno 2,0. Međutim, QED se razvila, pa je ustanovljeno da su ovoj Dirakovoj vrednosti 2 potrebna majušna, ali važna podešavanja. Ta mala, malecka podešavanja nastaju zato što muon (ili elektron) 'oseća' kvantne oscilacije polja oko sebe. Prisećamo se da čestica koja ima električni naboj može da emituje jedan foton koji će joj biti glasnik. Ovaj foton, kao što smo videli, može se virtuelno raspasti na par čestica koje su međusobno suprotno naelektrisane - samo na tren - a onda će se te dve spojiti u isti foton, pre nego što bi iko mogao išta da primeti. Elektron je izolovan u svome vakuumu, ali ga ipak malčice povuče nastali prolazni nestvarni pozitron, malo ga gurne virtuelni elektron, malo ga zavrnu magnetne sile koje su 'samo u protrčavanju' pored njega. Ti i drugi, još finiji procesi u uskomešanoj čorbi virtuelnih događanja spajaju taj elektron, makar i najslabije, sa svim naelektrisanim česticama koje postoje. Učinak toga jeste da nastupa izvesno preinačenje elektronovih osobina. U neozbiljnoj lingvistici teorijskih fizičara postoji 'goli' elektron, a to je onaj koji možemo samo da zamišljamo i koji bi bio izolovan od svih uticaja polja kojim jeste okružen, i postoji 'obučeni' elektron koji oseća uticaj Vaseljene oko sebe; a razlika je ukopana duboko u ona mala, malešna preinačenja vrednosti g.

U petom poglavlju opisao sam elektronov g činilac. Teoretičare je muon zanimalo još više; pošto ima 200 puta veću masu, muon može iz sebe da emituje virtuelne fotone koji se protežu više u daljinu, do egzotičnijih procesa. Jedan teoretičar uložio je mnogo godina rada da bi najzad došao do sledećeg g činioca za muon:

$$g = 2(1,001165918)$$

Ovaj rezultat (saopšten 1987) bio je vrhunac dugog niza njegovih izračunavanja, uz oslonac na nove QED formulacije dobijene od Fajnmena i drugih. Postoji jedan veliki skup termina koji, sabrani, daju ovo 0,001165918, a koji se, zbirno, nazivaju: radijativne korekcije. Jednom na Kolumbiji slušamo mi predavanje Ejbrahama Pejza o radijativnim korekcijama, kad ulazi domar sa francuskim ključem u ruci. Pejz se malo nagne u stranu i pita domara šta je sad, a neko iz publike dovikne: "Pa došao čovek da obavi te korekcije radijatora."

Kako upoređujemo teoriju sa opitom? Dosečka je bila u tome da izmerimo samo onaj iznos preko 2 - dakle, samo razliku između čistog 2 i stvarne vrednosti. Ako umemo to da namestimo, merimo neposredno radijativnu korekciju - dakle, ono (0,001165918), a ne ceo broj g koji je mnogo veći. Pomislite kako bi bilo da morate meriti težinu nekog čoveka kad ima i kad nema novčić u džepu, da biste, onda, oduzeli manji rezultat od većeg i tako ustanovili težinu novčića. Bolje je da samo izmerite težinu novčića. Pretpostavimo da jedan muon zarobimo tako da mora da orbitira u jednom magnetnom polju. Taj muon ima svoje naelektrisanje i zbog svog spina jeste jedan mali magnet; ima i svoju g vrednost, koja po Maksimalnoj teoriji mora biti tačno 2, a u stvarnosti je nešto malo iznad 2. Samo da se razumemo: taj muon je magnet na dva zasebna načina - jedan je unutrašnji zbog spina, a drugi spoljašnji zbog toga što taj isti muon putuje kroz prostor opisujući krugove pod uticajem spoljašnjeg magneteta. A ta dva magnetizma mu se potiru. Izmerimo samo ono što preostaje, a preostaje u muonovoj spinskoj namagnetisanosti ono malo iznad 2. Tako mi uspevamo neposredno da merimo to 'malo iznad', pa makar i da je zaista vrlo malo.

Dočarajte sebi sliku jedne male strele. To je muonova osa spina. Neka ona putuje jednom širokom kružnom putanjom kroz prostor, ali tako da je uvek tačno u položaju tangente u odnosu na tu svoju kružnu orbitu. Međutim, ako se istinita vrednost g razlikuje od 2 makar i samo malo, strelica će prilikom svakog orbitiranja odstupiti od tangencijalnog pravca za, možda, neki delić ugaonog stepena. Posle, recimo, 250 orbita možda će se strelica uperiti pravo u središte kruga, kao poluprečnik. Ako se kruženje nastavi, strelica će napustiti taj svoj radijalni položaj i okretaće se još, a posle 1000 krugova vratiće se u tačno isti položaj kao na početku, što znači da će do tada napraviti jedan pun okret - 360 stepeni. Opet će biti tangenta na krug sopstvenoga orbitiranja. Zahvaljujući narušavanju parnosti, mi možemo (trijumfalno) da otkrijemo u kom pravcu strelica (muonov spin) pokazuje, a to ćemo i videti, jer na tu stranu će izletati elektroni kad se muon raspadne. Ugao između muonove ose spina i savršene tangente značiće razliku između broja 2 i stvarne vrednosti g. Tačno merenje te razlike predstavlja tačno merenje onog iznad 2. Vidite? Ne vidite? Pa, onda verujte!

Predloženi opit bio je složen i ambiciozan, ali godine 1958. bilo je lako dovesti blistave mlade fizičare voljne da pomognu. Sredinom 1959. godine vratio sam se u SAD, ali sam povremeno ipak odlazio u Evropu da vidim kako taj opit napreduje. A on je prošao kroz nekoliko faza, pri čemu je svaka faza nagoveštavala sledeću, i sve se to stvarno okončalo 1978. kad je objavljena konačna CERN-ova g vrednost za muon. Bio je to trijumf opitne oštroumnosti, ali i upornosti (onoga što Nemci zovu Sitzfleisch). Elektronova g vrednost nađena je još tačnije, ali nemojmo zaboraviti da su elektroni zauvek sa nama, dok muoni ostaju u Vaseljenu samo dva milionita dela sekunde. Rezultat?

$$g = 2(1,001165923 \pm 0,00000008)$$

Ostala je, dakle, mogućnost greške, plus ili minus osam stomilionitih delova, što sasvim očigledno može da se uklopi u teorijsko predviđanje.

Sve ovo treba da vam stavi do znanja da je QED velika teorija, što i jeste jedan od razloga da verujemo da su Fajnmen, Švinger i Tomonaga veliki fizičari. Ali u njoj ostaju neki 'džepovi' tajni, a jedna takva tajna vredna je pažnje i u vezi je sa našom temom. A to su te beskonačnosti. Jedna od beskonačnosti bila je elektronova masa. Prvi pokušaji da se po kvantnoj teoriji polja izračuna kolika je masa elektrona završili su se tako da se dobila... beskonačno velika masa. Kao da je Božić Bata, kad je proizvodio elektrone za ovaj svet, morao za svaki od njih da izdvoji određenu količinu naelektrisanja i da stegne,

jako stegne, da bi taj elektricitet sabio u vrlo malu zapreminu... a to znači da uloži ogroman rad. Uloženi rad morao bi se pokazati kao ogromna masa, ali elektron ima masu od 0,511 MeV, a to znači oko 10-30 kilograma - dakle, on je stvarno u lakoj kategoriji; ima manju masu nego ijedna druga čestica za koju sigurno znamo da joj masa nije nula.

Fajnmen i njegove kolege predložili su sledeće: kad god vidimo da nam se primiče neka takva užasna beskonačnost, treba da je, u suštini, zaobiđemo tako što ćemo umesto nje ubaciti poznatu masu elektrona. U stvarnom svetu za ovakav postupak se kaže da je zabušavanje ili izvlačenje od ozbiljnog rada. U svetu teorije, kaže se 'renormalizacija'. To jeste jedan matematički usaglašen metod da se posao uradi; uspešna 'finta' da se zaobiđu te neugodne beskonačnosti koje u jednoj valjanjoj teoriji nikad ne bi ni smele da se pojave. Bez brige. Uspelo je i dalo je supertačna izračunavanja, koja pomenusmo. Tako se preko problema mase 'prešlo' na fintu - ali sam problem nije rešen; ostao je negde u pozadini, kao tempirana bomba koja tiho kucka i koja čeka nailazak Božije čestice.

## **SLABA SILA**

Jedna od tajni koje su grickale živce Raderfordu i još nekima odnosila se na radioaktivnost. Kako to da se pojedina jezgra i čestice raspadnu tek tako, hoćeš-nećeš, u neke druge čestice? Fizičar koji je ovo prvi razjasnio jednom jasnom teorijom bio je Enriko Fermi, tridesetih godina.

Postoje čitave legije priča o Fermijevoj blistavosti. Kad je prvi put u istoriji testirana atomska bomba, kod Alamogorda, u Novom Meksiku, Fermi je ležao na tlu, nekih petnaest kilometara daleko od kule sa bombom. Čim je bomba opalila, Fermi je ustao i ispustio nekoliko parčića hartije na tle. Vazduh je bio miran i hartijice su polako pale na zemlju. Nekoliko sekundi kasnije kroz zemlju je stigao udarni talas, i papirići su uzleteli i pali nekoliko centimetara dalje. Fermi je na osnovu njihovog pomeranja izračunao, tog trenutka, kolika je bila snaga nuklearne eksplozije; njegova vrednost približno se podudarila sa službenom vrednošću koja je izračunata tek posle nekoliko dana. (Ali jedan Fermijev prijatelj, Italijan Emilio Segre /Emilio Segré/, ukazao je na to da je Fermi ipak bio ljudsko biće: računi za njegove troškove na Čikaškom univerzitetu su stizali i stizali, a Fermi tu matematiku nikako nije uspevao da shvati.)

Kao i mnogi fizičari, Fermi je voleo da smišlja matematičke igre. Alen Votenberg (Alan Wattenberg) priča da je Fermi jedanput ručao sa grupom fizičara, primetio da su prozori prljavi i uputio svima izazov: ko može izračunati koliko debeo mora postati sloj prljavštine pre nego što otpadne od svoje sopstvene težine? Zatim je pomagao učesnicima da kroz tu vežbu prođu; a moralo se krenuti od temeljnih konstanti prirode, primeniti elektromagnetna međudejstva, najzad izračunati dielektrična privlačenja zbog kojih se izolacioni slojevi lepe jedni za druge. A u Los Alamosu, tokom projekta 'Menhetn', neki fizičar je jednog dana kolima pregazio kojota. Fermi je odmah izjavio da je moguće izračunati ukupan broj kojota u pustinji tako što će se evidentirati svako međudejstvo automobil-kojot. To je kao kod sudaranja čestica, rekao je on. Nekoliko retkih događaja omogućava nam uvid u brojnost cele populacije.

Bio je stvarno veoma bistar, a svet mu je to veoma i priznao. Više stvari je nazvano po Fermiju nego po ma kom drugom čoveku za koga ja znam. Da vidimo... Fermilab. Postoji i jedan institut koji se zove 'Enriko Fermi'. Za sve kvarkove i leptone zajedno kaže se da su fermioni. Postoji i fermijevska statistika (zaobiđite je...). Jedinica dužine fermi jednaka je 10-13 centimetara. Moja vrhunska fantazija je da bar nešto bude po meni nazvano. Preklinjao sam kolegu T. D. Lija da predkaže neku novu česticu koja bi se zvala, kad jednog dana bude otkrivena, lion. Ali uzalud. On neće, pa neće.

Ali Fermi je dao jedan doprinos koji je, ipak, kudikamo važniji od njegovog rada na onom prvom nuklearnom reaktoru ispod stadiona za ragbi u Čikagu, važniji čak i od pomenute studije o pregaženim kojotima. Fermi je opisao jednu novu prirodnu silu, slabu, što je ipak znatno suštinskije za naše poimanje Vaseljene.

Hajde da napravimo brzi povratak do Bekerela i Raderforda. Prisećamo se da je Bekerel srećnom slučajnošću otkrio radioaktivnost godine 1896. kad je stavio izvesnu

količinu urana u ladicu gde je držao fotopapir. Posle je video da mu je fotopapir pocrneo, pa je posle izvesnog vremena dokonao da mu je to uran, zračeći neke nevidljive zrake iz sebe, pokvario listove fotopapira. Posle otkrića radioaktivnosti, Raderford je razjasnio podelu na alfa, beta i gama-zračenje. Mnogi naučnici širom sveta usredsredili su se na beta-čestice, koje su ubrzo identifikovane: bili su to elektroni.

Otkud oni? Fizičari su vrlo brzo shvatili da se ti elektroni emituju iz jezgra kad ono spontano promeni svoje stanje. U tridesetim godinama istraživači su zaključili da se jezgro sastoji od protona i neutrona, a da radioaktivnost nastaje zbog nestabilnosti protona i neutrona u nekim jezgrima. Sasvim je očigledno da nisu sva jezgra radioaktivna. Očuvanje energije i slaba sila igraju važnu ulogu u 'odlučivanju' da li će se i kad će se neki proton ili neutron raspasti u nekom jezgru.

Krajem dvadesetih godina pažljivo su merena radioaktivna jezgra pre i posle. Izmeriš masu jezgra na početku, onda je izmeriš posle izlaska beta-zraka, ali meriš i energiju i masu elektrona koji izlaze (pamteći ono  $E = mc^2$ ). Tu je došlo do važnog otkrića: vrednost posle nije se podudarala sa onom pre. Nedostajala je izvesna količina energije. U reakciju uđe više, a iziđe manje. Wolfgang Pauli je dao predlog koji je (tada bio) smeo: neki mali neutralni objekat odnosi tu energiju.

Godine 1933. Enriko Fermi je sve to lepo sklopio. Da, elektroni dolaze iz jezgra, ali ne pravo. Prvo se dogodi to da se jedan neutron u jezgru raspadne na jedan proton, jedan elektron i jedan mali neutralni predmet, onaj koji je Pauli izmislio. Tom malom Fermi je nadenuo naziv neutrino, što znači: onaj neutralni mali. Za ovu reakciju u jezgru odgovorna je jedna sila, rekao je Fermi, i nazvao ju je: slaba sila. Ona je daleko slabija od jake nuklearne sile i od elektromagnetizma. Na primer, pri niskim energijama, slaba sila je hiljadu puta slabija od elektromagnetne.

Pošto neutrino nema nikakvo naelektrisanje i maltene nikakvu masu, njega u tridesetim godinama nije bilo moguće neposredno otkriti; danas je moguće, ali samo uz veoma veliki napor. Iako je postojanje neutrina opitno dokazano tek u pedesetim godinama, većina fizičara smatrala je da neutrino mora postojati da bi knjigovodstvo bilo ispravno. U današnjim egzotičnijim reakcijama u akceleratorima, gde se pojavljuju kvarkovi i druge stvari koje su 'ne baš normalne', ako primetimo da nam negde nedostaje energija, odmah pretpostavimo da je ona izletela iz sudara u obliku neutrina koje, dabome, nismo mogli da otkrijemo. Taj spretni mali begunac kao da je ostavio svoje nevidljive potpise svuda, po celom kosmosu.

Nego, da se vratimo slaboj sili. Taj raspad koji je Fermi opisao - neutron se pretvori u proton, elektron i neutrino (ali, to je, zapravo, antineutrino) rutinska je stvar kod slobodnih neutrona, često im se dešava. Međutim, kad je neutron zarobljen u jezgru, taj raspad se može dogoditi samo pod posebnim okolnostima. Nasuprot tome, proton kao slobodna čestica uopšte ne može da se raspadne (bar koliko je nama poznato), ali zato proton sputan u jezgru može da se raspadne na jedan neutron, jedan pozitron i jedan neutrino. Razlog što slobodni neutron može da se raspadne, i to slabim raspadom, jeste, jednostavno, očuvanje energije. Neutron je teži od protona, pa kad se slobodni neutron pretvori u proton, ostane dovoljno energije u obliku viška mase mirovanja da budu stvoreni jedan elektron i još jedan neutrino i da ta dva budu poslata na put, sa nešto malo energije. Slobodni proton nema dovoljno mase za tako nešto. Međutim, u jezgru prisustvo svih onih drugih momaka delotvorno menja masu sputane čestice. Ako protoni i neutroni koji su se zatekli unutra mogu, raspadajući se, da povećaju stabilnost, a smanje masu jezgra u kome se nalaze, oni to i učine. Međutim, ako je jezgro već u svome stanju najniže energije, ono je stabilno, pa se ne dešava ništa. Pokazalo se da ono što navodi sve hadrone - a to znači: protone, neutrone i stotine njihovih rođaka - na raspadanje, jeste baš slaba sila; izgleda da postoji samo jedan jedini izuzetak od ovog pravila, a to je slobodni proton.

Teorija slabe sile postupno je uopštavana, pa se, u stalnom suočenju sa novim podacima, razvila u kvantnu teoriju polja slabe sile. Jedna nova vrsta teoretičara, koji su se uglavnom pojavljivali na američkim univerzitetima, pomogla je da se ta teorija uobliči: to su Fajnmen, Gel-Man, Li, Jang, Švinger, Robert Maršak (Robert Marshak) i drugi. (U mnogim noćima spopada me uvek ista mora: svi teoretičari koje nisam pomenuo dolaze u jedno predgrađe Teherana i tamo drže sastanak na kome donesu odluku da ponude

kao nagradu hitan pristup u Raj Teorije onome ko odmah i potpuno renormalizuje Ledermena.)

### **MALČICE SLOMLJENA SIMETRIJA, ILI ZAŠTO UOPŠTE POSTOJIMO**

Ključna odlika slabe sile jeste narušavanje parnosti. Sve druge sile poštuju simetriju; šokirali smo se kad smo doznali da jedna sila to, ipak, ne čini. Ali pokazano je da se ne poštuje još jedna duboka simetrija, ona između sveta i antisveta. Ovo je ustanovljeno u istim onim opitima koji su ukazali i na narušavanje parnosti (skraćeno: P-narušavanje). Za ovu drugu simetriju kaže se da je C-simetrija, što je skraćeno od dve engleske reči - charge conjugation: 'spajanje naelektrisanja'. I ovo C-narušavanje dešavalo se jedino sa slabom silom. Pre nego što je utvrđeno C-narušavanje, mislilo se da bi se svet sazdan od antimaterije morao ponašati po istim zakonima fizike kao ovaj normalni, stari, dobri, materijalni svet. Ne, rekli su podaci. Slaba sila ne poštuje tu simetriju.

Šta su teoretičari mogli sad da urade? Povukli su se na rezervne položaje, na jednu novu simetriju kojoj su dali naziv CP-simetrija. Ona kaže da su dva fizička sistema u suštini istovetna ako je jedan u vezi sa drugim na taj način što su svi njegovi predmeti odraženi u ogledalu (P), a istovremeno sve čestice pretvorene u svoje antičestice (C). Ova CP-simetrija, rekli su teoretičari, mnogo je dublja. Priroda, doduše, krši posebno C, a posebno P simetriju, ali objedinjena CP simetrija odbraniti se mora. Branila se, braco, sve do 1964. godine kad su Vel Fič (Val Fitch) i Džejms Kronin (James Cronin), dvojica eksperimentatora sa Prinstona, koji su proučavali neutralne kaone (tu česticu otkrila je moja grupa u opitima u Brukhejvenu od 1956. do 1958. godine), prikupili jasne i neosporne podatke da ni CP simetrija, ipak, nije savršena.

Nije savršena? Teoretičari su pokunjili noseve i durili se, ali umetnik u svima nama se radovao. Umetnici i arhitekta vole malo da nas zaviljavaju umetničkim slikama i arhitektonskim strukturama koje su zamalo, ali ipak ne sasvim, simetrične. Dobar primer su asimetrični tornjevi na inače simetričnoj katedrali u Šartru. Dejstvo CP-narušavanja bilo je maleno - samo po nekoliko događaja na svakih hiljadu - ali jasno prisutno, i teoretičari su time bačeni natrag na polazni kvadrat njihove 'table za igru'.

Pominjem CP-narušavanje iz tri razloga. Prvo, ono je postalo dobar primer za nešto što je kasnije u nekim drugim silama priznato kao 'malčice slomljena simetrija'. Ako verujemo u unutrašnju simetričnost prirode - to jest, ako smo ubeđeni da ona postoji - onda mora biti da nešto, neki fizički agens, prodire u događaje i ruši simetriju. To bi bilo nešto vrlo srodno onim pojavama na koje deluje. Znači, simetrija, ako je tako, nije 'uništena' nego je samo prikrivena, nešto se umešalo, pa se stekao privid nesimetričnosti. Božija čestica je jedan takav prikrivač simetrije. Na to ćemo se vratiti u osmom poglavlju. Drugi razlog što pominjem CP-narušavanje jeste taj što sada, u devedesetim godinama, jedna od naših najhitnijih potreba da bismo razjasnili probleme u standardnom modelu jeste upravo ta da shvatimo CP-situaciju.

Treći razlog, koji je, ujedno, i naveo švedsku Akademiju nauka da ispolji dužno poštovanje prema Fiču i Kroninu, jeste taj što je njihovo CP-narušavanje, primenjeno na kosmološke modele razvoja Vaseljene, razjasnilo zagonetku koja je kao kuga mučila astrofizičare pedeset godina. Do 1957. godine veliki broj opita pokazivao je da postoji savršena simetrija između materije i antimaterije. Pa, ako su materija i antimaterija toliko simetrične, onda zašto na našoj planeti, u našem Sunčevom sistemu, našoj Galaksiji, pa čak (prema nekim dokazima) i u svim drugim galaksijama - antimaterije uopšte nema? A kako jedan opit izveden 1965. na Long Ajlendu može objasniti sve to?

Modeli su nagoveštavali da se posle Velikog praska kosmos morao hladiti i da je tom prilikom moralo doći do potiranja sve materije i sve antimaterije, posle čega bi kosmos bio ispunjen, u suštini, samo čistim zračenjem; a ono je, u konačnom razmatranju, toliko hladno (toliko mu je niska energija) da ne bi moglo stvoriti materiju. Ali materija - pa, to smo mi! Otkud to da smo mi ovde? Opit Fiča i Kronina ponudio je objašnjenje, jedan mogući izlaz. Ta simetrija nije bila savršena. Bilo je malo, malčice više materije nego antimaterije. Na svakih 100 miliona parova kvark-antikvark, pojavio se i po jedan višak kvarka. To je ishod samo malenog narušavanja CP-simetrije; i to je jedini razlog što

uopšte postoji sva ova materija koju vidimo danas, uključujući i nas same. Hvala Kronine, hvala gospodine Fič. Vi ste sjajni momci.

### **HVATANJE MALOG NEUTRALNOG U KLOPKU**

Veliki deo detaljnih informacija o slaboj sili dali su nam neutrinski snopovi, a u tome se krije jedna druga priča. Paulijeva hipoteza iz 1930. godine - da postoji jedna mala, neutralna čestica koja oseća samo slabu silu, nijednu drugu - proverena je na mnogo načina od tridesetih do šezdesetih godina. Tačna merenja sve većeg broja slaboraspadnih jezgara i čestica podržavala su hipotezu da iz reakcije beži nešto maleno i neutralno i odnosi deo energije i impulsa. Baš zgodan način da se rastumače raspadne reakcije, ali možemo li bukvalno da otkrijemo neutrino?

To nije bio lak zadatak. Neutrino prođe ploveći veselo kroz najtvrdi oklop od materije, oklop nepojamno debeo, i ništa mu nije. Ovo neutrino može zato što ne sluša nijednu silu osim slabe, a to znači da je verovatnoća sudara smanjena ogromno. Izračunato je da ako želimo obezbediti da se neutrino barem jedanput sudari sa nečim, moramo na put da mu isprečimo olovnu metu koja će biti debela jednu svetlosnu godinu! A to bi bio malo skup opit. Međutim, ako upotrebimo veoma veliki broj neutrina, onda je debljina mete, potrebna da bi se video bar jedan sudar, za toliko puta manja. Sredinom pedesetih godina koristili smo nuklearne reaktore kao snažne izvore neutrina (a zašto i ne bismo... u reaktoru je toliko radioaktivnosti!). Meta je bilo ogromno bure puno kadmijum-dihlorida, što je znatno jeftinije nego svetlosna godina olova. Pošto iz reaktora kulja tako ogromna količina neutrina (zapravo, antineutrina; u reaktorima nastaju uglavnom oni), bilo je neizbežno da neki neutrino čvakne po nekom protonu, navodeći ga na beta-raspad; pri tome se moraju osloboditi jedan pozitron i jedan neutron. Pozitron će lunjati okolo, uskoro će nabasati na neki elektron, sa njim se anihilirati, a to će značiti proizvodnju dva fotona koji će poleteti na dve strane. Ova dva fotona polete napolje, u tačnost za 'hemijsko čišćenje', koja zasvetluca kad je pogodi neki foton. Ako mi, dakle, otkrijemo da je nastao jedan neutron i jedan par fotona, to će biti opitni dokaz da je uleteo neutrino. Ovo je prvi put postignuto nekih trideset pet godina posle Paulijevog predviđanja da to malo stvorenje mora postojati.

Godine 1959. počela je da nas pritiska jedna druga kriza. Zapravo, to su bile dve krize. Središte oluje bilo je na Univerzitetu Kolumbija, ali je razumevanje i učešće stizalo iz celog širokog sveta. Sve podatke koje smo dotad dobijali o slaboj sili dobijali smo tako što su čestice tokom svog prirodnog raspadanja bile ljubazne, pa su ih davale. Ništa čestica ne voli tako kao to da dâ sve od sebe u korist prosvetljenja nas fizičara. Kad god smo hteli da proučavamo slabu silu, naprosto smo gledali čestice, kao što su neutron i pion, kako se raspadaju i pretvaraju u druge čestice. Potrebnu energiju davale su mase mirovanja (najčešće od nekoliko, pa do 100 MeV) raspadajućih čestica. Čak su i slobodni neutriini, koji su, izlećući iz reaktora nuklearne centrale, naletali negde na slabu silu, davali samo po nekoliko MeV. Kad smo teoriju slabe sile prilagodili rezultatima eksperimenata o kršenju parnosti, dobili smo stvarno elegantnu, divnu teoriju, u koju su se uklapali svi raspoloživi podaci dobijeni milijardama i milijardama raspada jezgara, kao i raspadanjem nebrojenih piona, muona, lambda, a verovatno, mada je to teško dokazati, i raspadanjem civilizacije Zapada.

### **EKSPLOZIJA JEDNE JEDNAČINE**

Prva kriza proistekla je iz matematike slabe sile. U jednačinama se pojavljuje energija pri kojoj je ta sila merena. U zavisnosti od podataka, u jednačinu čušeš energiju mase mirovanja čestice koja ti se raspada - hajde, neka je to 1,65 MeV ili 37,2 MeV ili tako nešto - i iz jednačine iziđe tačan odgovor. Onda malo petljaš članovima jednačine; povuci, potegni i posle nekog vremena izvučeš iz iste te jednačine predviđanje koliko mora trajati život te čestice, kakav mora biti raspad, koji će biti spektar dobijenih elektrona; sve su to stvari koje se mogu proveriti opitom. Proveriš i pokaže se da je sve



tačno. Ali ako čušneš u tu jednačinu neku veću energiju, recimo 100 GeV (sto milijardi elektron-volti) sve se naglo pokvari. Jednačina ti naprosto eksplodira u lice. U žargonu fizike kaže se da je ovo 'kriza jedinstvenosti'.

Evo gde je nedoumica. Bila nam je dobra jednačina, ali je sadržala u sebi neku patologiju na visokoj energiji. Sa malim brojevima može, sa velikim nikako. Nismo, dakle, našli konačnu istinu nego samo istinu koja važi dok se ostaje u vilajetu niskih energija. Znači, mora postojati neka druga fizika koja će preinačiti ovakve jednačine na visokoj energiji.

Druga kriza nastala je zbog jedne reakcije koju nismo opazili. Može se izračunati koliko često bi se muon morao raspasti u jedan elektron i jedan foton. Naša teorija slabih procesa kaže da muon treba i tako da se raspada. Tragali smo i tragali za tom reakcijom, bio je to omiljeni opit na mašini Nevis. Nekoliko novih doktora fizike provedoše bogzna koliko sati trošeći uzaludno zrak iz mašine, ali ne nalazeći pomenutu reakciju. Marej Gel-Man, koji je smatran za glavnog mudraca u vezi sa tako tajanstvenim stvarima, često je navođen kao autor takozvanog 'totalitarnog pravila u fizici' koje glasi: "Sve što nije zabranjeno, obavezno je!" Ako naši zakoni ne zabranjuju neki događaj, onda on ne samo što se može nego se i mora dogoditi! Pošto raspad muona na elektron i foton nije zabranjen, kako je moguće da ga ne uspevamo opaziti? Zar nešto ipak zabranjuje taj mu-e-gama raspad? (Ovo 'gama' možeš čitati i 'foton'.)

Obe te krize bile su uzbudljive. Obe su nudile mogućnost da stvorimo neku novu fiziku. Teorijskih spekulacija bilo je u izobilju, ali eksperimentatori su kipeli od besa. Šta da se radi? Mi eksperimentatori moramo nešto da merimo, zakucavamo, testerišemo, turpijamo, ili bar da slažemo olovne opeke - mora se raditi nešto. Pa, eto, radili smo nešto.

## **KOMPANIJA ZA UBISTVA I OPIT SA DVA NEUTRINA**

Melvin Švarc (Melvin Schwartz), docent na Kolumbiji, slušao je i saslušao podroban izveštaj o ovim nevoljama, novembra 1959. godine. Govornik je bio teoretičar sa Kolumbije T. D. Li. Onda je Švarc došao na svoju VELIKU zamisao. Zašto ne bismo stvorili jedan zrak neutrina na taj način što bismo dopustili da zrak piona visoke energije plovi kroz prazan prostor toliko dugo da se neki deo, recimo deset odsto, tih piona raspadne na muone i neutrine. Pioni, dakle, lete i u letu nestaju; a na mestu svakog iščezlog piona pojave se po jedan muon i jedan neutrino, koji zajedno nose isto onoliko energije koliko je imao pokojnik. Šta sad leti kroz prostor? Lete muoni i neutriini nastali od tih 10% pomrlih piona, ali leti još i onih 90% piona koji se još nisu raspali, a letuca i svakojaki nuklearni otpad što se razleteo iz mete koja je bila gađana da bi pioni nastali. E, sad, reče Švarc, hajde da mi to sve usmerimo u jedan veliki, debeli, čelični zid. (Posle se pokazalo da nam je bio potreban čelični zid debeo 12 metara.) Ništa neće moći da prođe kroz taj zid, ništa osim neutrina, koji bi jednako lako prošli i kroz čelični zid debeo 12 miliona kilometara. Znači, na drugu stranu zida izlazi, i mi na taj način dobijamo, čist neutrinški zrak, a pošto neutrino ne sluša nijednu silu osim slabe, tu nam je i dobra prilika da proučavamo ne samo neutrine nego (kroz sudare neutrina) i slabu silu.

Ovaj plan je mogao da razreši i prvu krizu i drugu krizu. Melova zamisao bila je da bi nam ovaj neutrinški zrak omogućio da proučavamo slabu silu pri energijama od više milijardi, a ne miliona, eV. Stekli bismo mogućnost da gledamo kako se slaba sila ponaša pri visokoj energiji. Mogli bismo ujedno da naslutimo bar delić razloga zbog koga ne primećujemo nijedan raspad muona u elektron plus foton; mogli bismo, ako je tu neutrino na neki način umešan.

Kao što se često dešava u nauci, praktično istu zamisao objavio je u maltene istom trenutku sovjetski fizičar Bruno Pontekorvo (Bruno Pontecorvo). E, sad se vi pitate zašto njegovo ime zvuči više italijanski nego ruski. Pa, zato što je to Italijan koji je pedesetih godina prebegao u Moskvu iz ideoloških razloga. Svejedno, njegova fizika, njegove zamisli, njegova mašta ostadoše na vrhunskom nivou. Brunova tragedija nastupila je kasnije zato što je pokušavao da svoje maštovite zamisli sprovede u delo u sistemu u

kome je birokratija gušila sve. Međunarodne konferencije su mesto na kome bi, po tradiciji, trebalo da se ispoljava toplo prijateljstvo naučnika celoga sveta; na jednoj takvoj konferenciji u Moskvi, pitao sam jednog prijatelja: "Jevgenij, reci mi, ko je od vas ruskih fizičara zaista komunista?" Jevgenij se počeo osvrtni po dvorani, a onda je prstom pokazao Pontekorva. Ali to je bilo godine 1960.

Kad sam se krajem 1969. godine vratio na Kolumbiju sa prijatno provedene slobodne godine u CERN-u, počeo sam da slušam rasprave o krizama vezanim za slabu silu, pa i tu Švarcovu ideju. Švarc je nekako došao do zaključka da nijedan postojeći akcelerator nije dovoljno jak da napravi neutrinski zrak dovoljnog intenziteta, ali ja se sa ovim nisam složio. U Brukhejvenu se bližila kraju izgradnja AGS-a (alternativno-gradijentni sinhrotron) od 30 GeV; ja sam neke brojke malo bacio na papir i ubedio sebe, a uskoro i Švarca, da je opit izvodiv. Napravili smo ga. Bio je to, za godinu 1960, ogroman opit. Pridružio nam se Džek Stajnberger (Jack Steinberger), jedan moj kolega na Kolumbiji, uzeli smo nekoliko studenata i mladih doktora i napravili grupu od sedam ljudi. Nas trojica (Džek, Mel i ja) bili smo poznati po blagom i ljubaznom stavu prema svima ostalima. Jedanput sam hodao po akceleratorskom podu i čuo kako jedan fizičar kaže: "Evo, stiže Kompanija za ubistvo!"

Upotrebili smo masivan detektor, a oko njega smo izgradili debeo čelični zid, da ne bi doletale niotkud nikakve čestice osim neutrina. U taj zid morali smo da ugradimo hiljade tona čelika. Uzeli smo ih sa onih ratnih brodova koji su u to doba bili bacani u staro gvožđe. Pogrešio sam, pa sam nekom novinaru rekao, u šali, da smo isekli ratni brod 'Misuri' da bismo napravili naš zid. U to doba, međutim, brod 'Misuri' nije bio povučen iz upotrebe nego je još plovuckao valjda negde. Ali čelik je svakako dobijen sečenjem starih vojnih brodova. Dvostruko sam pogrešio, pa sam se našalio rekavši da ćemo morati, ako izbije neki rat, da rasturimo opit i opet sklopimo taj ratni brod. To je krenulo u javnost kao priča koja je brzo dobila i 'ukrase', pa je ispalo da nam Ratna mornarica konfiskuje opit da bi krenula u neki rat. (A koji je to rat mogao biti, godine 1960, to ni do danas nikome nije jasno.)

Takođe su malo 'nadogradili' moju priču o topu. A stvarno smo dobili mornarički top kalibra 305 milimetara sa odgovarajućim žlebovima iznutra i debelim zidovima cevi. Bio nam je to divan kolimator, sprava pomoću koje fokusiramo zrak čestica i nanišavamo njime ka nekoj meti. Mislili smo da napunimo tu topovsku cev berilijumom, koji bi poslužio kao filter, ali cev je, kao što reko, bila izolovana iznutra, i to duboko. Ovo je bilo smetnja. Zato sam našao jednog mršavog postdiplomca i poslao ga unutra, u cev, da popunjava te spiralne žlebove čeličnom vunom. Sat kasnije, on ispuzi iz cevi sav preznojen, pregrejan, razdražen, i kaže: "Ja dajem ostavku!" "Pa ne možeš da daš ostavku!" povičem ja. "Gde da nađem drugog studenta tvog kalibra?"

Kad smo završili pripreme, čelik sa zastarelih lađa ležao je u debelim oblogama oko detektora koji je bio izrađen od deset tona aluminijuma, zgodno raspoređenog, tako da ako se neutrino sudari sa nekim jezgrom aluminijuma, uspemo da opazimo proizvode tog sudara. Ta vrsta detektora zove se 'iskričava komora'. Nju je smislio japanski fizičar Šudži Fukuji (Shuji Fukui). Puno smo naučili razgovarajući sa Džimom Kroninom sa Prinstona, koji je bio ovladao tom novom tehnikom. Usledilo je takmičenje - ko najbolje ume da uveća Kroninovu napravu, tešku nekoliko kilograma, na deset tona. Pobedio je Švarc. Njegova komora bila je popunjena aluminijumskim pločama debelim dva i po centimetra. Bile su mašinskim alatima vrlo lepo izrezane i izglačane. Između ploča ostavili smo razmak od po, otprilike, jedan i po centimetar. U ploče je puštena struja ogromnog napona, i to tako da u susednim pločama bude uvek suprotno naelektrisanje. U komori je, umesto vazduha, bio neon. Ako neka neelektrisana čestica poleti sa jedne ploče ka drugoj, za česticom odmah krene i velika električna iskra, a to se već može fotografisati. To je lakše reći nego učiniti, jer ova tehnika ima svoje probleme. Ali - i divne rezultate. Ping! I putanja jedne subnuklearne čestice postaje vidljiva kao crvenožuti trag u gasu neonu. Lepota, prava.

Prvo smo pravili modele takvih varničnih komora i nameštali ih (da bismo proučili njihove osobine) pod udar zraka elektrona i piona. Većina komora u to doba bile su nekih tridesetak centimetara u prečniku i imale su desetak ili dvadesetak ploča. Mi smo probali sa komorom u kojoj je bilo sto ploča, a one su bile otprilike šezdeset sa šezdeset

centimetara, dva i po centimetra debele. Svrha postojanja tih ploča bila je da moljakaju i preklinju neutrine da se bar jedan sudari sa bar nekom od njih. Radili smo, nas sedmoro, danju i noću, kao i u razna druga vremena. Trebalo je montirati ceo aparat, svu elektroniku, izmisliti svakojake nove sprave - poluloptaste razmake gde varnica može da preskoči, automate za ispuštanje lepka, nove vrste elektronskih kola. Pomagali su nam i neki inženjeri i nekoliko tehničara.

Opit je krenuo pozno u 1960. godini, ali se na početku zaglibio u pozadinskoj 'buci' koja je nastajala zbog toga što su neutroni, a i razno drugo smeće koje je izletalo iz mete, tražili i pronalazili putanje okolo-naokolo, pukotine, i tako uspevali da se provuku kroz naših silnih dvanaest metara čelika. Stvarali su haos od iskrenja u varničnoj komori, rezultati su bili sasvim upropašćeni. Samo čudo može sprečiti te pozadinske čestice da se ušunjaju u tvoju komoru ako si im ostavio i najmanju priliku - recimo, jedan prema milijardu - da to učine. Nedeljama smo se borili; zapušivali smo svaku pukotinu gde bi se ijedan neutron mogao ikako promovati unutra. Takođe smo vredno tragali ispod poda laboratorije: šta ako tamo postoje neki električni provodnici? (Mel Švarc je našao jedan tunel ispod poda, zavukao se u njega da vidi šta ima unutra, zaglavio se i onda smo morali da pozovemo nekoliko snažnih tehničara da ga izvuku.) Svako 'tanko' mesto na našem ogromnom oklopu prekrivali smo blokovima zarđalog čelika sa bivšeg bojnog broda. U jednom trenutku, direktoru brukhejvenskog akceleratora, tek postavljenom, konačno je pukao film. "Nećete više nagomilavati te prljave pločetine blizu moje nove mašine! To može samo preko mene mrtvog!" grmeo je on. Nismo prihvatili ponudu, jer bi on, mrtav i ugrađen, činio nepoželjnu izbočinu na oklopu. Zato smo popustili njegovim zahtevima... samo malo, malčice. Kasno u novembru pozadinsko zagađenje neželjenim česticama svedeno je na nivo koji se mogao pretrpeti.

Evo šta smo radili.

Protoni iz AGS-a udaraju u metu. U svakom sudaru proizvedu u proseku po tri piona. Mi izazivamo oko 1011 (100 milijardi) sudara u sekundi. Nastaju i raznorazni neutroni, protoni, pogdekoji antiproton, i razni drugi otpaci. Sve to što srlja prema nama mora da prevale prazan prostor od oko petnaest metara pre nego što naleti na naš neprobojni čelični zid. To je razdaljina koja omogućava da se nekih deset posto piona raspadne, tako da dobijemo nekoliko desetina milijardi neutrina. Izvestan broj njih (manji, mnogo manji...) leti baš u onom pravcu koji nama odgovara. Oni prošibaju kroz naš čelični zid debeo dvanaest metara. S druge strane zida, posle jedne praznine koja iznosi oko trideset centimetara, počinje naša iskričava komora. Ona leži i čeka. Naša procena je bila da ćemo uspeti, ako bude sreće, u njoj da snimimo po jedan neutrinski sudar nedeljno! Za tih nedelju dana iz mete će izleteti nekih 500 miliona milijardi (dakle,  $5 \times 10^{17}$ ) neutrina prema detektoru. Zato smo morali tako strogo da otklonimo pozadinsku buku.

Očekivali smo dve vrste neutrinskih sudara: (1) neutrino naleti na aluminijumsko jezgro, a kao ishod nastanu jedan muon i jedno pobuđeno jezgro, ili, (2) neutrino naleti na jezgro, ali ishod je nastanak jednog elektrona i jednog pobuđenog jezgra. Dobro; zaboravite ta jezgra. Važno je da smo očekivali da će iz neutrinskih sudara izlaziti muoni i elektroni u otprilike jednakom broju, ali, dabome, da će ih pratiti i uzgredno nastali pioni i drugi otpad koji će se razleteti iz pobuđenog jezgra.

Pravda je pobedila i mi smo tokom osam meseci snimanja uspeali da snimimo pedeset šest neutrinskih sudara, od čega su možda pet bili lažni. Zvuči lako, ali ja nikad nikad neću zaboraviti onaj prvi neutrinski događaj. Razvili smo jedan kotur filma, ishod nedelju dana uzimanja podataka. Slike su većinom bile prazne ili su pokazivale poneki očigledan prodor kosmičkog zraka. A onda, iznenada, eto njega: jedan spektakularni sudar, sa dugačkim, dugačkim tragom muona koji žurno odleće u daljinu. Taj prvi događaj bio je trenutak 'minieureka', blesak izvesnosti, posle toliko truda, da opit uspeva.

Prvi naš zadatak bio je da dokažemo da su to stvarno tragovi neutrinskih, a ne nekih drugih sudara; jer, to je bio prvi u istoriji opit te vrste. Udružili smo sve svoje iskustvo, pa smo naizmenično preuzimali na sebe, jedan po jedan, ulogu đavolovog advokata, nastojeći da razrušimo svoje sopstvene zaključke. Ali podaci su, uistinu, bili čvrsti kao stena; dakle, bilo je vreme da se iziđe u javnost. Osećali smo dovoljno pouzdanje da saopštimo kolegama svoje rezultate. Trebalo je da čujete kako je Švarc govorio prepunoj

sali u Brukhejvenu. Kao advokat, isključivao je, jednu po jednu, sve ostale mogućnosti. U publici - osmesi i suze. Melovu majku su morali da izvedu, jecala je nekontrolisano.

Ovaj opit imao je tri (uvek budu tri) glavne posledice. Pamтите da je Pauli prvi predložio postojanje neutrina kao moguće objašnjenje za manjak energije u beta-raspadu u kome iz atomskog jezgra izleće jedan elektron. Paulijeви neutriini bili su uvek udruženi sa elektronima. Međutim, u gotovo svim našim događajima, proizvod naletanja neutrina na jezgro bio je muon. Naši neutriini odbijali su da proizvode elektrone. Zašto?

Morali smo zaključiti da ovi neutriini kojima se mi služimo imaju novu, posebnu osobinu - muonstvo. Pošto se ti neutriini rađaju zajedno sa po jednim muonom, kad se raspada pion, onda, znači, neka sklonost ka muonima ostaje ugrađena u njih.

Da bismo ovo dokazali punoj sali genetski uslovljenih skeptika, morali smo da znamo i pokažemo da nije 'kriv' naš aparat - naime, da to nije neki glupo sazdan aparat koji muone hoće, a elektrone neće da otkrije. To vam je opet problem Galilejevog teleskopa. Na sreću, bili smo u mogućnosti da pokažemo našim kritičarima da smo u opremu ugradili i sposobnost otkrivanja elektrona i da smo to i te kako potvrdili ispaljujući probne zrake elektrona.

Postojalo je tu još jedno pozadinsko dejstvo, ono od kosmičkih zraka koji se na nivou mora sastoje od muona. Neki fizičari lošiji od nas mogli bi, za muon iz kosmičkih zraka koji s leđa uleti u detektor i zaustavi se u sredini, pomisliti da je posredi muon neutriinskog porekla koji je krenuo napolje. A mi smo želeli pronaći samo ovo drugo. Jesmo ugradili blokadu - zapravo, oklop protiv toga - ali kako možemo biti sigurni da nam je ta blokada uspešna?

Postojao je način: ostaviš detektor uključen i kad je mašina isključena - a to je bilo oko pedeset odsto vremena. Kad je akcelerator isključen, zna se: svaki muon koji iskrasne u detektoru može i mora biti samo nezvani gost iz kosmičkih zraka. Ali nije iskrasnio nijedan. Kosmički zraci nisu uspevali da se probiju kroz naš oklop.

Pominjem sve ove tehničke pojedinosti da bih vam pokazao da vršenje opita nije lako i da je tumačenje jednog opita istančan posao. Jednom je Hajzenberg rekao nekom kolegi, dok su stajali blizu ulaza u zgradu sa bazenom za plivanje: "Svi ulaze i svi izlaze vrlo fino obučeni. Da li je to dokaz da i plivaju obučeni?"

Zaključak koji smo mi (i većina drugih fizičara) izvukli iz ovog opita bio je da u prirodi postoje bar dve vrste neutrina - jedno je neutriino koji je u nekoj vezi sa elektronima (to bi bili obični Paulijeви neutriini sa ukusom sladoleda od vanile), a drugo je neutriino povezan sa muonima. Zato ih nazvasmo elektronski neutriini (obični) i muonski neutriini (koje smo mi pravili). Sada se za ovu razliku između neutrina kaže da je 'ukus', na neozbiljnom jeziku standardnog modela. Još onog dana ljudi su počeli da prave jednu malu tablicu:

elektronski neutriino muonski neutriino  
elektron muon

ili, skraćenim 'fizičarskim' pisanjem:

ne nm  
e m

Elektron je tu stavljen ispod elektronskog neutrina, koji mu je rođak, što je nagovešteno onim malim slovom e koje je napisano uz njega, ali malo niže. Muon je ispod svog rođaka, muonskog neutrina. Hajde da se prisetimo da smo pre ovog opita znali za tri leptona - e, n i m - koji ne podležu jakoj sili. Sad, gle, imamo četiri takva: e, ne, m i nm. Zato ovom opitu zauvek ostade naziv 'dva neutrina', pa neuki ljudi misle da je to bio nastup nekog italijanskog plesnog para. Pokazalo se da je to upravo ono dugme za koje je prišiven ceo kaput standardnog modela. Zapazite da tu imamo dve 'porodice' leptona, tačkastih čestica, postrojene okomito. Prva porodica jesu elektron i elektronski neutriino; njih ima svuda u Vaseljenu. Druga porodica su muon i muonski neutriino. Njih ne možete lako naći u današnjoj Vaseljeni, morate ih sami praviti u akceleratorima, a priroda ih stvara u sudarima kosmičkih zraka sa atmosferom. Kad je Vaseljena bila mlada

i vruća, muona i muonskih neutrina bilo je u izobilju. Kad je otkriven muon, elektronov teški brat, I. I. Rabi je pitao: "Ko je to naručio?" Tek je opit sa dva neutrina nagovestio u kom pravcu treba potražiti odgovor.

Ah, da. Činjenica da postoje dva različita neutrina rešila je krizu nedostajuće mu-e-gama reakcije. Podsećam, trebalo bi da se muon raspadne ponekad i na jedan elektron i jedan foton, ali to nikad niko nije otkrio, mada su mnogi pokušali. Trebalo bi da postoji redosled procesa: prvo da se muon raspadne na jedan elektron i dva neutrina, i to jedan normalan i jedan antineutrino. Onda se ta dva neutrina, zato što su materija i antimaterija, međusobno potru i proizvedu jedan foton. Ali te fotone nikako da vidimo. Sad je bio jasan i razlog. Naravno, pozitivni muon se raspadne na jedan pozitron i dva neutrina, ali to su jedan elektronski neutrino i jedan muonski antineutrino (to jest, antimuonski neutrino). Ta dva neutrina neće anihilirati jedan drugog zato što su iz različitih porodica. Oni naprosto - ostaju neutrinu! Ne proizvede se nikakav foton. Zato i nema mu-e-gama reakcije.

Druga posledica opita koji je izvela moja 'Kompanija za ubistva' bila je ta da smo stekli novo oruđe za rad u fizici: česmu iz koje teku topli i hladni neutrinu zraci, po volji. To oruđe uskoro je namešteno i u CERN-u, u Fermilabu, pa u Brukhejvenu i, najzad, u Serpuhovu, u Rusiji. Pamтите da pre ovog mog opita na AGS-u nismo bili baš potpuno sigurni u to da neutrinu postoje. A sad smo puštali neutrinu zrake po želji naručioca.

Neki od vas možda su uočili da ovde zaobilazim jednu krizu - ne prilazim joj blizu. To je ona broj jedan - činjenica da naša jednačina za slabu silu ne deluje na visokim energijama. Naš opit iz 1961. pokazao je da se broj sudara zaista povećava sa povećanjem energije. U osamdesetim godinama, pomenute akceleratorne laboratorije uspevale su, upotrebom jačih zraka, više energije i detektora teških po nekoliko stotina tona, da snime milione neutrinu sudara; čak i po nekoliko u minutu, što je mnogo bolje nego ono naše kad smo snimali po jedan ili dva nedeljno. Pa ipak, kriza sa slabim međudejstvom pri visokim energijama nije rešena, samo je mnogo bolje osvetljena. Zaista se broj neutrinu sudara povećavao sa povišenjem energije, kao što je naša niskoenergetska teorija predviđala. Međutim, strah da će onda broj sudara postajati, pri sve višim i višim energijama, nemoguće veliki, ublažen je tako što je 1982. godine otkrivena W čestica. To je bio deo jedne nove fizike koja je preinačila tu teoriju i povela je ka blažem i smirenijem ponašanju. Tako je odložena kriza kojoj ćemo se, ipak, vratiti.

## **BRAZILSKI DUG, KRATKE SUKNJICE I OBRATNO**

Treća posledica tog opita bila je da su Švarc, Stajnberger i Ledermen dobili Nobelovu nagradu za fiziku. Ali kad? Tek 1988, dakle dvadeset sedam godina posle ostvarenog otkrića. Čuo sam da su novinari pitali sina jednog od pomenutih laureata: "Da li bi voleo da i ti dobiješ Nobelovu nagradu kao tvoj tata?" Mladi čovek je odgovorio: "Ne! Ja bih da je dobijem sam."

Eh, ta nagrada. Imam, imam neke komentare o njoj. Nobel je stvar koju sa strahopoštovanjem gledamo gotovo svi mi koji radimo na ovom polju, verovatno zbog zasenjujućeg sjaja ranijih dobitnika, počev od Rentgena koji ju je dobio prvi (godine 1901), pa preko mnogih naših junaka kao što su Raderford, Ajnštajn, Bor i Hajzenberg. To je nagrada koja daje svojevrsnu auru dobitniku. Čak i kad tvoj najbolji drugar, sa kojim si nekad piškio u šumi, dobije tu nagradu, na neki način postaje u tvojim očima drugačiji.

Znao sam da su me nekoliko puta nominovali. Pretpostavljam da sam mogao dobiti Nobela još 1956. za otkriće 'dugovečnog neutralnog kaona'; bio je to veoma neobičan predmet, a koristi se i danas kao oruđe u nekim bitnim izučavanjima CP-simetrije. Pa, mogao sam dobiti nagradu i za istraživanje parnosti u reakciji pion-muon (to je bilo ono sa kolegicom Č. Š. Vu), ali Stokholm se opredelio da u tim slučajevima nagradi naše teoretičarske kolovođe. Nije to bila nerazumna odluka. Ipak, to otkriće do koga se tako uzgredno došlo, otkriće o polarizovanim muonima i njihovom asimetričnom raspadanju, imalo je i ima veliku primenu u fizici kondenzovane materije, kao i u atomskoj i

nuklearnoj fizici; primenu tako veliku, da se i sada redovno održavaju međunarodne konferencije o njima.

Godine su promicale, a u svakoj od njih oktobar je bio nervozan mesec; stigne vest ko je ovog puta dobio nagradu, a onda neko od mojih dragih potomaka telefonira i pita: "Pa, kako...?" Uistinu, ima mnogo fizičara (a siguran sam da to važi i za hemičare, medicinare, i one u nenaukama) koji Nobela nikad dobiti neće, iako su postigli jednaka, pa i veća otkrića od onih koji će ga dobiti. Zašto je to tako? Ne znam. Jednim delom je to i pitanje sreće, okolnosti, volje Alahove.

Ali ja sam imao sreće, pa mi nikad nisu nedostajala priznanja. Radio sam ono što sam voleo da radim, i za to sam unapređen u redovnog profesora na Kolumbiji 1958. godine i dobio razumno dobru platu. (Biti univerzitetski profesor u Americi, to je najbolje radno mesto u celoj Zapadnoj civilizaciji. Možeš raditi šta god te volja, pa čak i držati nastavu!) Moja istraživanja odvijala su se žustro, uz pomoć postdiplomaca, kojih se izređalo ukupno pedeset dvoje u razdoblju od 1956. do 1979. godine (kad sam postao direktor Fermilaba). Većinu nagrada dobio sam u trenucima kad sam bio toliko zauzet da o nagradama uopšte nisam stizao ni da mislim: izabran sam u Nacionalnu akademiju nauka (1964), dobio Predsedničku medalju za nauku (uručio mi ju je Lindon Džonson 1965) i razne druga odlikovanja i priznanja. Godine 1983. Martin Perl (Martin Perl) i ja dobili smo, zajednički, nagradu Volf, koju dodeljuje država Izrael, zato što smo otkrili treće pokolenje kvarkova i leptona (takozvani b kvark i tau lepton). Bilo je i počasnih doktorata, ali to je tržište na kome dominira prodavac zato što postoji nekoliko stotina univerziteta koji, svake godine, gledaju da nagrade na ovaj način po četvoro ili petoro ljudi. Kad se čovek nadobija toliko toga, počne sticati neki minimum osećanja da se obezbedio, pa i smirenosti po pitanju eventualne Nobelove nagrade.

Kad je najzad stigla vest da sam dobio, a stigla je telefonskim pozivom u 6 sati ujutro, 10. oktobra 1988, usledila je provala veselja dotad prikrivanog. Moja supruga Elen i ja učtivo smo primili vest, a onda smo se počeli naprosto histerično smeјati, i to je trajalo sve dok telefon nije počeo da zvrči, a naši životi da se menjaju. Kad me je neki novinar pitao šta ću da radim sa parama od Nobela, rekao sam da se još dvoumim da li da kupim nekoliko trkačkih konja ili dvorac u Španiji. Čovek ode i objavi to u novinama od reči do reči. Sledeće nedelje zove me, ko bi drugi, jedan trgovac nekretninama i kaže da ima strašnu ponudu, jedan pravi zamak u Kastilji.

Kad dobiješ Nobelovu nagradu, a već si poprilično istaknut, to ima zanimljive prateće posledice. Ja, direktor Fermilaba, institucije sa 2.200 zaposlenih; najednom i oni, svih dve hiljade dvesta, počinju da se 'baškare' u tom publicitetu, koji im je došao kao malo preuranjen božićni poklon. Sastanak sa punom i prepunom laboratorijom morao se održati nekoliko puta, da bi baš svi dobili priliku da uživo čuju govor Gazde, čoveka koji je i ranije smatran za zabavnog tipa, a sad najednom u njemu svi vide takmaca voditelju Džoniju Karsonu. (Znalo se da sad i neki ljudi koji zaista jesu važni počinju ozbiljno da shvataju tog zabavnog tipa.) Čikaški list 'San Tajms' uzdrmao me je naslovom "NOBEL PAO BLIZU KUĆE". U 'Njujork Tajmsu' dadoše sliku na kojoj se vidi kako sam isplazio jezik, na naslovnoj strani - i to na gornjoj polovini, iznad prevoja!

Sve ovo izbledi, ali strahopoštovanje javnosti prema toj tituli ostaje. Na prijemima širom grada predstavljan sam kao dobitnik Nobelove nagrade za mir iz oblasti fizike. A kad sam pozeleo da učinim nešto spektakularno, možda i nerazumno i rizično, da bih pomogao javnim školama u Čikagu, Nobelova sveta vodica je uspevala. Ljudi su slušali, vrata su se otvarala, i, najednom, eto programa za poboljšanje nastave iz prirodnih nauka u školama u užem, središnjem delu grada. Ova nagrada neverovatno pomaže kad god se upuštate u neku društveno pohvalnu delatnost. Nezgodna strana novčića sastoji se u tome što odjednom postajete stručnjak za sve. Brazilski dug? Odgovoriće ovaj dobitnik. O socijalnom osiguranju? Može da kaže. "Recite nam, profesore Ledermen, koliko će biti dugačke suknje?" "Biće najkraće što mogu biti!" odgovara laureat sa pohotom u srcu. A moja namera je da bestidno rabim ovu nagradu da bih pomogao obrazovanju iz oblasti prirodnih nauka u SAD. U tom poslu prilično bi mi pomogla još jedna Nobelova nagrada, ako mi je daju.

## JAKA SILA

Naši trijumfi u otkrivanju zamršenih pojedinosti o slaboj sili bili su znatni. Ostalo je, međutim, još nekoliko stotina problematičnih čestica koje su nas 'gnjavile', a to su hadroni; jedno izobilje čestica koje su sve podvrgnute jakoj sili, a to je ona koja drži jezgro atoma na okupu. Te čestice imale su razne odlike; neke od tih odlika smo pomenuli, kao, na primer, naelektrisanje, masu i spin.

Pioni, recimo. Postoje tri različita piona (pi-mezona) koji se samo malo razlikuju po masi; proučili smo ih u mnogo raznih sudara i svrstali u jednu porodicu, kojoj smo dali naziv, možda neočekivan - porodica piona. Njihova naelektrisanja su plus jedan, minus jedan i nula (neutralno). Pokazalo se da svaki hadron može biti svrstan u neku porodicu; svi su oni tako grupisani. Kaoni se postrojavaju ovako:  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $K^0$ ,  $\bar{K}^0$ . (Znaci +, - i 0 označavaju električni naboj. Ona vodoravna crta iznad drugog neutralnog kaona oznaka je da je to antičestica.) Porodični portret porodice sigma izgleda ovako:  $S^+$ ,  $S^0$ ,  $S^-$ . Grupa tebi nešto bolje poznata jeste nukleonska grupa: nju sačinjavaju neutron i proton, sastojci atomskog jezgra.

Porodice se sastoje od čestica koje imaju sličnu masu i slično se ponašaju pri jakim sudarima. Da bi se ova zamisao iskazala konkretnije, izmišljen je termin 'izotopni spin' ili izospin. Izospin je koristan zato što nam omogućava da uvek gledamo, na primer, 'nukleon' kao jedan predmet, ali u dva izospinska stanja: neutron ili proton. Slično tome, pion ima tri izospinska stanja:  $p^+$ ,  $p^-$ ,  $p^0$ . Još jedna korisna odlika izospina sastoji se u tome što je to jedna veličina koja se pri jakim sudarima očuva, baš kao i naelektrisanje. Žestok sudar jednog protona sa jednim antiprotonom može proizvesti četrdeset sedam piona, osam bariona, ili razne druge stvari, ali ukupan izospinski broj proizvedenih čestica ostaje stalan.

Sušтина je sledeća: fizičari su nastojali da se nekako snađu u tom mnoštvu raznih hadrona, da nađu neki smisao, a to su radili tako što su pokušavali da uzmu u obzir i poređaju sve osobine koje su se kod hadrona ikako mogle naći. Iz tog razloga, mnogim odlikama hadrona dati su nazivi koji zvuče kao čisto zezanje: 'broj čudnosti', barionski broj, hiperonski broj i tako dalje. Zašto 'broj'? Zato što su sve te odlike kvantne, pa prema tome moraju biti kvantni brojevi. A kvantni brojevi poštuju načela očuvanja. Ovo je, opet, omogućilo teoretičarima, baš kao i eksperimentatorima bez opita, da se igraju hadronima, da ih organizuju tako i ovako, da ih (možda tražeći nadahnuće u biologiji) svrstavaju u neke šire rodbinske grupe. Teoretičari su se rukovodili pravilima matematičke simetrije, verujući da i temeljne jednačine prirode valjda poštuju duboke simetrije.

Jednu naročito uspešnu organizaciju smislio je 1961. godine Marej Gel-Man, teoretičar sa Kalteka. On je ovoj shemi dao naziv 'osmostruki put' po Budinom učenju koje kaže: "Ovo je uzvišeni osmostruki put: ispravni pogledi, ispravne namere, ispravan govor..." Gel-Man je hadrone gotovo magično sredio u koherentne grupe sa po osam do deset čestica u svakoj grupi. Aluzija na budizam bila je još jedan izlet u neozbiljnost, jedan od mnogih takvih u fizici, ali razni mistici su se dočepali toga, i to im je sad 'dokaz' da je pravi poredak sveta nekako povezan sa istočnjačkim misticizmom.

Upao sam u nevolje u poznim sedamdesetim godinama, kad je od mene zatraženo da napišem svoju kratku biografiju za Fermilabov interni bilten, a povodom otkrivanja kvarka dno. Pošto sam očekivao da to neće čitati niko osim mojih saradnika u Bataviji, stavio sam naslov: 'Neautorizovana autobiografija Liona Leder-Mana'. Na moj užas, ceo tekst je prenet i u CERN-ov interni bilten, a zatim i u Sajens, službeno glasilo Američkog društva za unapređenje nauke, koje čita nekoliko stotina hiljada naučnika u SAD. U toj mojoj priči stoji i ovo: "Njegovo (Ledermenovo) razdoblje vrhunске kreativnosti nastupio je 1956. kad je čuo jedno predavanje Gel-Mana o mogućem postojanju neutralnih K-mezona. Doneo je dve odluke: prvo, da od tada piše svoje prezime sa crticom u sredini, kao što čini Gel-Man..."

Svejedno, teoretičar miriše jednako slatko ma kako da ga nazoveš. Gel-Manov osmostruki put naveo je i druge naučnike da crtaju tabele poređanih hadrona, tabele koje podsećaju na periodni sistem elemenata Mendeljejeva, mada su ove kudikamo zakučastije. Pamтите kako je Mendeljejev u svom periodnom sistemu namestio elemente koji imaju slične hemijske odlike jedan ispod drugog, tako da su nastali uspravni nizovi -

stupci? Ta periodičnost nagoveštavala je jednu unutrašnju organizovanost, raspoređenost elektrona u ljuske, iako tada još ništa nismo znali o elektronima. Nešto u unutrašnjosti atoma se ponavljalo; atomi poređani po veličini pokazali su obrazac, središnost. Gledajući unazad, iz ovog vremena kad su atomi shvaćeni, stičemo utisak da je to trebalo svakome da bude samo po sebi jasno.

## **KRICI KVARKA**

Obrasci hadrona poređanih po raznim kvantnim brojevima takođe vrište: "Struktura! Struktura!". To bi značilo da imaju neku unutrašnju, nižu strukturu, podstrukturu. Ali nije baš lako čuti krike subnuklearnih entiteta. Dvojica fizičara oštrog sluha to su uspela, pa su o tome i pisala. Gel-Man je predložio postojanje izvesnih struktura kojima je dao naziv 'matematičke strukture'. Godine 1964. on je izneo svoje postulate prema kojima obrasci organizovanja hadrona mogu biti objašnjeni ako postoje tri 'logičke konstrukcije'. On je tim konstrukcijama dao i nazive. Kvarkovi. Opšte je uverenje da je tu reč maznuo iz dijaboličnog romana Džejmsa Džojisa (James Joyce) Fineganovo bdenje. Tamo u jednom trenutku neko kaže: "Tri kvarka za mustera Marka!" (engl. "Three quarks for Muster Mark!") Džordž Cvajg (George Zweig), Gel-Manov kolega, došao je na istu zamisao dok je radio u CERN-u; zaključio je da postoje tri stvarčice kojima je dao naziv 'asovi'.

Verovatno nikad nećemo baš tačno saznati kako je nastala ta prekretna zamisao. Znam jednu verziju zato što sam bio lično prisutan - na Univerzitetu Kolumbija, 1963. godine. Gel-Man je držao seminar o simetriji osmostrukog puta hadrona, kad jedan teoretičar sa Kolumbije, Robert Serber (Robert Serber), zatraži reč i ukaže na činjenicu da bi se organizacija u 'osmice' mogla objasniti i tako da, možda, postoje samo tri niže jedinice, od kojih bi čestice bile izgrađene. Gel-Man se saglasio, ali je dodao da bi u tom slučaju te podjedinice, ako postoje i ako su čestice, morale imati jednu nečuvenu osobinu - naime, njihova naelektrisanja morala bi se iskazivati razlomcima čiji je imenilac trojka. Dakle, naelektrisanja bi bila:  $1/3$ ,  $2/3$ ,  $-1/3$  i tako dalje.

U svetu čestica, sva naelektrisanja se mere u odnosu na naelektrisanje elektrona. Svaki elektron nosi električni naboj tačno isti, i to:  $1,602193 \times 10^{-19}$  kulona. Dobro, manite se sad pitanja šta je kulon. Dovoljno je da znate da ovaj složeni broj jeste jedinica naelektrisanja i da je nazivamo naprosto 1 zato što je to naelektrisanje jednog elektrona. Baš zgodno, i naelektrisanje protona je 1,0000, a i naelektrisanog piona isto tako, i muona (za koji smo još mnogo tačnije merili) i tako dalje. U prirodi, naelektrisanja su celobrojna: 1, 2, 3... Zna se da svaki takav ceo broj jeste, u stvari, ono gore, složeno, pomnoženo sa 1, ili sa 2, ili sa 3 i tako dalje. E, da, ali naelektrisanja mogu biti u dve vrste: plus ili minus. Nemamo pojma zašto. Naprosto je tako. Čovek bi mogao zamisliti svet u kome bi elektron mogao izgubiti, recimo u nekom žestokom sudaru ili igrajući poker sa drugim česticama, 12 posto od svog naelektrisanja. To u ovom svetu ne može. Elektron, proton, pi plus i tako dalje uvek imaju naelektrisanje jednako 1,0000.

Iz tog razloga, čim je Serber izneo tu zamisao o česticama čija bi naelektrisanja bila trećinske vrednosti celog broja, svi su rekli: beži. Ništa od toga. Ništa slično tome nikada nije viđeno. Prilično neobična činjenica - da su sva opažena naelektrisanja jednaka umnošku celog prirodnog broja jednog nepromenljivog standardnog naelektrisanja - postala je, tokom vremena, deo intuicije fizičara. Ova 'kvantizacija' električnih naboja korišćena je, zapravo, kao sredstvo u traganju za nekom dubljom simetrijom, pomoću koje bi mogla biti objašnjena. Međutim, Gel-Man je preispitao tu stvar, pa je izneo hipotezu o kvarkovima. Istovremeno nam je malo bacio prašinu u oči (tako se bar nekima od nas činilo), insistirajući da kvarkovi nisu stvarne čestice nego da su samo pogodne matematičke konstrukcije.

Ta tri kvarka rođena 1964. godine danas se zovu gore, dole i čudni, a sažete oznake su im u, d i s (od njihovih engleskih naziva: up, down, strange). Postoje, naravno, i tri antikvarka: u, d i s, jednakih, ali suprotnih naelektrisanja. Odlike kvarkova morale su biti obazrivo birane da bi se od kvarkova mogli sagraditi svi poznati hadroni. Kvarku gore je dato naelektrisanje  $+2/3$ ; dole  $-1/3$ , koliko ima i čudni kvark. I drugi kvantni brojevi za kvarkove odabrani su tako da pri sabiranju daju tačan rezultat. Na primer, proton je



sagrađen od tri kvarka - uud - čija su naelektrisanja  $+2/3$ ,  $+2/3$  i  $-1/3$ , što kad se sabere daje  $+1$ , a to i jeste baš tačno protonovo naelektrisanje, nama dobro poznato. Neutron je kombinacija udd, sa nabojima  $+2/3$ ,  $-1/3$  i  $-1/3$ , što daje zbir 0 - a to je ništa. I treba da bude ništa, jer neutron je neutralan. Nema nikakvo naelektrisanje.

Svi hadroni sagrađeni su od kvarkova, neki od dva, a neki od tri, zavisno od kvarkovskog modela. Postoje dve klase hadrona: barioni i mezoni. Barioni su rodbina protonima i neutronima; imaju po tri kvarka u sebi. Mezoni (u koje spadaju i pioni i kaoni) sastoje se svaki od po dva kvarka, ali - ta dva moraju uvek biti jedan kvark i jedan antikvark. Primer ovoga jeste pozitivni pion ( $p^+$ ) koji je u d. Naelektrisanja ta dva kvarka iznose  $+2/3$  i  $+1/3$ , što je jednako 1. (Zapazite da d, dakle kvark antidole, ima pozitivno naelektrisanje,  $+1/3$ .)

Kad je skrojena ova rana hipoteza, kvantni brojevi kvarkova i njihove odlike kao što su spin, naboj, izospin i tako dalje namešteni su tako da tačno objasne osobine samo nekoliko bariona (to su proton, neutron, lambda i tako dalje) i nekoliko mezona. Posle se tek pokazalo da tako postavljeni brojevi, i njihove kombinacije, odgovaraju svim ostalim hadronima, stotinama njih. Svuda se uspešno uklopilo! Zato bi trebalo da i sve ostale osobine jednog složenog tela (protona, recimo) budu obuhvaćene osobinama onih kvarkova koji su sastavni delovi tog tela, uz određena podešavanja koja proističu iz činjenice da kvarkovi unutar tog tela jesu i u bliskim međusobnim odnosima. Trebalo bi... nadamo se mi. To je zadatak za sledeća pokolenja teoretičara, kao i za sledeća pokolenja računara. Oni će se time i baviti, doduše samo ako im neko obezbedi podatke.

Kvarkovske kombinacije dovode do jednog zanimljivog pitanja. Osobina je čoveka da menja svoje ponašanje kad je u društvu drugih ljudi. Međutim, kao što ćemo videti, kvark nikada nije sam. Iz tog razloga, istinske neizmenjene odlike kvarka možemo samo da izvedemo na osnovu toga što ćemo kvarkove posmatrati pod različitim okolnostima, kako god umemo.

Bilo kako bilo, evo jedne tablice u kojoj su navedene neke tipične kvarkovne kombinacije, kao i hadroni koji tako nastaju:

#### BARIONI MEZONI

uud proton ud pozitivni pion  
 udd neutron du negativni pion  
 uds lambda uu + dd neutralni pion  
 uus sigma plus us pozitivni kaon  
 dds sigma minus su negativni kaon  
 uds sigma nula ds neutralni kaon  
 dss ksi minus ds neutralni antikaon  
 uss ksi nula

Fizičari su se oduševljavali ovim spektakularnim uspehom: sveli su stotine predmeta koji su prividno bili osnovni na kombinacije samo tri razna kvarka. (Onaj termin 'asovi' izbledeo je i zaboravljen je. Niko se ne može takmičiti sa Gel-Manom u veštini nadevanja naziva.) Teoriju proverimo tako što gledamo može li ona nešto da predvidi; hipoteza o kvarkovima, svejedno što ju je Gel-Man u početku malo zamagljivao na pomenuti način, pokazala se blistavo uspešna. Evo primera. Moguća bi bila kombinacija tri čudna kvarka, sss. Niko nije primetio takvu česticu, ali mi smo joj, neuznemireni time, dali naziv: omega minus. (To se piše  $W^-$ .) Pošto čestice u kojima postoji čudni kvark imaju određene, nama poznate osobine, bilo je moguće predvideti i osobine koje bi trebalo da ima hadron sss ako bi postojao. Ova omega minus bila bi baš neobična čestica, sa spektakularnim 'potpisom'. Godine 1964. otkrivena je u mehurastoj komori u Brukhejvenu i bila je tačno ono što je dr Gel-Man naručio.

Nisu sva pitanja rešena - ni izdaleka sva. Ostalo ih je mnogo. Za početak: kako se to kvarkovi drže jedni za druge? Tokom sledećih trideset godina napisano je na hiljade teorijskih radova i izveštaja o opitima u vezi sa jakom silom. Teorija sa nazivom teškim za izgovor, 'kvantna hromodinamika', predložila je postojanje jedne nove vrste čestica koje su samo prenosioci 'poruka'. To su gluoni. Oni su kao nekakav 'cement', imaju dužnost da 'betoniraju' kvarkove da bi ovi ostajali zajedno. O njima, kasnije.

## **ZAKONI OČUVANJA**

U klasičnoj fizici postoje tri velika zakona o očuvanju. To su zakoni o očuvanju energije, impulsa i momenta impulsa. Pokazano je da su sva tri u dubokoj povezanosti sa konceptima prostora i vremena, kao što ćemo i videti u osmom poglavlju. Kvantna teorija uvela je i mnoštvo dodatnih svojstava koja se moraju očuvati - naime, ostati nepromenjena i tokom mnogih, raznovrsnih, subnuklearnih, nuklearnih i atomskih procesa. Primeri za ovo jesu električni naboj, parnost i mnoge nove odlike kao izospin, čudnost, barionski broj i leptonski broj. Već smo saznali da se sile prirode razlikuju po tome što sve ne poštuju svaki zakon očuvanja; primer nam je bio parnost. Videli smo da elektromagnetna i jaka sila poštuju parnost, a slaba sila ga ne poštuje.

Kad hoćemo da proverimo važenje nekog zakona o očuvanju, pregledamo ogroman broj reakcija u kojima jedna odlika - na primer, naelektrisanje - može biti ustanovljena pre i posle reakcije. Pamtimo da su pravila o očuvanju energije i o očuvanju impulsa bila tako tvrdo ušančena da smo, kad je primećeno da u nekim slabim procesima nastaje 'kršenje' tih pravila, smislili novu česticu, neutrino, samo da bismo objasnili kuda odlaze energija i impuls; i dobro smo učinili. O važenju nekog zakona očuvanja možemo nešto saznati i u slučaju da neke reakcije uporno odbijaju da se dogode. Na primer, elektron neće da se raspadne u dva neutrina zato što bi to narušilo zakon o očuvanju naelektrisanja. Drugi primer za ovo je raspadanje protona. Pamtite, proton se ne raspada. Protonima je dodeljen jedan barionski broj koji u suštini proizlazi iz protonove strukture - iz toga što je on sagrađen od tri kvarka. Protoni, neutroni, lambde, sigme i tako dalje - svi ti drugari sastavljeni od po tri kvarka - imaju barionski broj +1. Odgovarajuće antičestice imaju -1. Svi mezoni, prenosioci sile, a i svi leptoni imaju barionski broj 0. Ako barionski broj mora strogo da se očuva, onda najlakši od svih bariona, a to je proton, ne može nikad da se raspadne, jer bi morao da se raspadne na čestice lakše nego što je on, a svi oni 'kandidati' koji bi u takvom raspadu mogli nastati imaju barionski broj 0. Naravno, kad se sudare proton i antiproton, njihov zbir barionskih brojeva je 0 i zato iz takvog sudara može da nastane bilo šta. Tako barionski broj 'objašnjava' zašto je proton stabilan. Neutron, koji se raspada na proton, elektron i neutrino, čuva, prilikom raspada, svoj barionski broj; isto čini i proton u jezgru, koji se može raspasti na neutron, pozitron i neutrino.

Eh, jadan je taj koji mora večno da živi. Proton se ne može raspasti na pione, jer bi to prekršilo zakon o očuvanju barionskog broja. Ne može se raspasti na neutron, pozitron i neutrino, jer bi time pogazio zakon o održanju energije. Ne može se ni u fotone niti u neutrine rastočiti, jer bi to bilo protiv zakona o održanju naelektrisanja. Postoje i drugi zakoni o održanju i mi počinjemo da stičemo utisak da upravo zakoni o održanju daju ovom svetu oblik kakav ima. Naravno, jasno nam je valjda svima, kad bi proton mogao tek tako da se raspada, naš opstanak bio bi ugrožen. Moramo, opet, imati u vidu da protonov životni vek možda ipak nije stvarno neograničen. Vaseljena je stara jedno petnaestak milijardi godina. Ako protonov život traje mnogo duže od toga, možemo smatrati da sudbina naše Republike nije u nekoj velikoj meri dovedena u pitanje.

Međutim, postoje neke novije, objedinjene teorije polja koje predskazuju da zakon o očuvanju barionskog broja ne važi baš potpuno. Zbog ovih teorija, učinjeni su veliki naponi da se opazi raspad makar i jednog jedinog slobodnog protona; ali uzalud. Međutim, neki zakoni o očuvanju stvarno se poštuju samo približno. Jedan primer za to bio je parnost. Čudnost je smišljena da bi se nekako objasnila činjenica da neki barioni žive mnogo duže nego što bi trebalo da žive, ako se imaju u vidu sva moguća konačna stanja u koja se ti barioni mogu raspasti. Tek docnije smo doznali da čudnost neke čestice - recimo, neke lambde ili kaona - znači da je u njoj prisutan s kvark. Lambda i kaon se ipak posle nekog vremena raspadnu, a njihov s kvark se u tom procesu pretvori u lakši, d kvark. Međutim, u ovome se angažuje slaba sila; jaka sila ne želi da ima ikakve veze sa s ® d procesom. Drugim rečima, jaka sila čuva čudnost. Pošto je slaba sila slaba, raspad lambde, kaona i drugih članova te porodice je spor, otud je njihov životni vek dug - 10-10 sekunde, umesto 10-23 sekunde, koliko bi normalno trebalo da traju takvi procesi.

Baš je dobro što smo iz mnogo pravaca čvrsto dohvatili te zakone o očuvanju; jer postoji jedan važan matematički dokaz da su zakoni očuvanja povezani sa simetrijama koje priroda poštuje. (A simetrija je još od Talesa pa sve do Šeldona Glešoua glavna stvar.) Ovu vezu otkrila je jedna žena, matematičarka Emi Neder (Emmy Noether), oko 1920. godine.

Da se vratimo našoj priči.

## **NIABIJUMSKE LOPTE**

I posle otkrivanja omege minus, i posle raznih drugih naših uspeha, ostala je činjenica da nikada nismo videli nijedan kvark. Ja ovo kažem u onom smislu kako to fizičari misle, a ne kako to misli ona skeptična stara dama u publici. Cvajg je od samog početka tvrdio da su 'asovi'/kvarkovi stvarni predmeti: entiteti koji zaista postoje. Ali kad je Džon Pipls, sadašnji direktor Fermilaba, bio mlad eksperimentator u potrazi za kvarkovima, Gel-Man mu je rekao da ne treba oko toga da se zamajava, jer kvarkovi su samo 'knjigovodstveno sredstvo'.

Tako nešto kazati jednom eksperimentatoru, to znači baciti mu rukavicu u lice. Na sve strane su ljudi kidisali da nađu kvark. Dabome, kad god se izlepe plakati 'Traži se...' počnu da stižu i lažne prijave - nekome se 'učini' da je video. Neki su zavirivali u kosmičke zrake: ima li tu kvarkova? Neki, opet, u duboke slojeve taloga na dnu mora. Neki u fino staro vino ("Nnnnema kvarkova ovde, hik!"). Gde je taj smešni, mali električni naboj, zapretan u materiji? Svi akceleratori su upotrebljeni u pokušaju da se razbiju rešetke robijašnice i barem jedan kvark pusti na slobodu. Trebalo bi da se naelektrisanje od 1/3 ili 2/3 srazmerno lako nađe, ali većina opita ostala je bez ikakvog ishoda. Jedan eksperimentator na Stenfordskom univerzitetu upotrebio je majušne, vrlo tačno izrađene lopte od niobijuma, i saopštio da je uspeo da uhvati jedan kvark u zamku. Od tog opita nije ništa bilo zato što niko nigde nije uspeo da ga ponovi. Neki drski studenti su posle nosili majice sa natpisom: "Moraš imati niobijumske lopte ako želiš da uloviš kvark."

Kvarkovi su bili avetinjska stvar; pošto smo mislili da ih ima tri, a trpeli neuspehe u pokušaju da otkrijemo makar samo jedan, a kao i zbog dvosmislenosti koja je od samog početka pratila zamisao kvarka, čitav koncept kvarkova ostao je napola neprihvaćen do kasnih šezdesetih godina. Tada je jedna druga klasa opita zatražila od nas da priznamo postojanje kvarkova ili bar nekih 'kvarkastih' stvarčica. Izmislili smo kvarkove da bismo objasnili postojanje i klasifikaciju ogromnog broja hadrona. Međutim, ako se proton sastoji od tri kvarka, zašto se ta tri ne pokažu? Eh, pa već odavno smo vam odali tu tajnu. Moguće je 'videti' kvarkove. To vam je opet onaj Raderfordov opit.

## **POVRATAK 'RADERFORDA'**

Godine 1967, pomoću novog zraka elektrona u SLAC-u preduzet je niz opita sa rasipanjem. Cilj: proučiti strukturu protona malo prodornije, 'zaseći' u protone. Visokoenergetski elektron uleti u metu koja se sastoji od vodonika; u njoj pogodi neki proton. Iziđe elektron mnogo niže energije, pod nekim velikim uglom u odnosu na putanju kojom se prvobitno kretao. One tačkaste strukture koje postoje u protonu poslužile su, dakle, u nekom smislu reči, isto kao što je služilo ono jezgro koje je Raderford gađao alfa-česticama. Isto, ali i ne baš isto, jer je ovde posredi bilo i nešto istančanije.

Ovaj stenfordski tim predvodila su trojica naučnika: SLAC-ov fizičar Ričard Tejlor (Richard Taylor), po nacionalnosti Kanađanin, zatim Džerom Fridmen (Jerome Friedman) i Henri Kendal (Henry Kendall), obojica fizičari sa MIT-a. Njima su svojim teoretičarskim kibicovanjem ogromno pomogli Ričard Fajnmen i Džejms Bjorken. Fajnmen je unosiо svoju energiju i maštu u jaka međudejstva, a naročito u pitanje: "Šta ima u protonu?" Fajnmen je ostao u Kalteku, u Pasadeni, ali je često dolazio u Stenford. Bjorken, koga svi zovu samo Bj, stenfordski je teoretičar. On se veoma zanimao za sam postupak vršenja

opita, kao i za pravila koja se kriju ispod prividno 'nesazrelih' podataka. Ta pravila, smatrao je Bjork, trebalo bi da budu pokazatelj o osnovnim zakonima koji vladaju unutar 'crne kutijice' i koja kontrolišu strukturu hadrona.

Ovde moramo da se vratimo našim dobrim starim prijateljima Demokritu i Ruđeru Boškoviću zato što su obojica u izvesnoj meri osvetlila ovu temu. Demokritov test da li nešto jeste a-tom ili nije sastoji se u tome da pitamo da li je to nešto nedeljivo. U kvarkovskom modelu, proton je lepljiva smesa tri kvarka koji se kreću brzo. Pošto su ti kvarkovi uvek nerazdvojno vezani između sebe, tokom opita čini se da je proton nedeljiv. Bošković je, međutim, dodao još jedan test. Elementarna čestica, dakle a-tom, mora biti nalik na tačku. Na ovom testu proton svakako pada. Pomenuta ekipa iz MIT-SLAC-a, uz pomoć Fajnmena i Bja, shvatila je da operativno merilo ovde mora biti ono o tačkastosti, a ne o nedeljivosti. Ti ljudi su sada morali da prenesu svoje podatke u neki model koji bi sadržao tačkaste sastavne delove; ovo je zahtevalo istančanost daleko veću nego što je Raderford u svom opitu postigao. Zato je bilo tako zgodno imati u timu dvojicu teoretičara koji su među najboljima na svetu. Ishod: podaci su nagovestili da unutar protona odista postoje tačkasti pokretni predmeti. Godine 1990. Tejlor, Fridmen i Kendal otišli su i uzeli svoju Nobelovu nagradu, dobijenu zato što su ustanovili da kvarkovi stvarno postoje. (To su ona trojica naučnika koje pominje Džej Lino na početku ovog poglavlja.)

Jedno dobro pitanje: kako mogu ti drugari da vide kvarkove, kad kvarkovi nikad nisu slobodni? Pomislite na hermetički zatvorenu kutijicu u kojoj su tri čelične loptice. Protresate kutiju, naginjete je tamo i ovamo, oslušujete, i zaključite: tri loptice. Kudikamo finija poenta sastoji se u tome što kvarkove uvek možeš otkriti samo u blizini drugih kvarkova, što bi moglo izmeniti njihove odlike. Nešto se moralo učiniti u vezi sa ovim činiocem, ali... piano, piano.

Teorija kvarkova pridobijala je nove pristalice, naročito među teoretičarima koji su gledali kako podaci počinju da pridodaju kvarkovima sve pouzdaniju stvarnost, kako se pojavljuju nove odlike, kako se upravo ta nemogućnost da gledamo pojedinačne kvarkove pretvara u prednost. Najpopularnija reč postade 'konfajnmment' (confinement) - zatočenost, zatvorenost u ograničeni prostor, sprečenost da se iz nekog mesta iziđe. Kvarkovi ostaju tu zatočeni za sva vremena zato što, kad počnu da se udaljuju jedan od drugog, energija potrebna za dalje povećanje tih rastojanja postaje sve veća i veća. Ako baš navalimo iz sve snage, dodata energija postane dovoljno velika za stvaranje para kvark-antikvark i, gle, sad odjednom imamo četiri kvarka, a to znači dva mezona. To ti je kao da pokušavaš odneti kući samo jedan kraj nekog kanapa. Uхватиš taj kraj, povučеш, presečeš njegovu vezu sa drugim krajem i, uh... šta se to desilo. Dobio si dva kanapa.

Iščitavanje kvarkovske strukture na osnovu opita sa rasipanjem elektrona bilo je, u vrlo velikoj meri, monopol Zapadne obale SAD. Moram napomenuti, međutim, da je i moja grupa u Brukhejvenu u to vreme prikupljala veoma slične podatke. Često sam u šali govorio: da je taj Bjorken radio na Istočnoj obali, ja bih otkrio kvarkove.

Kontrasti između opita u SLAC-u i Brukhejvenu pokazuju da postoji više od jednog načina da se 'odere' kvark. U oba slučaja gađan je proton. Ali Tejlor, Fridmen i Kendal koristili su kao sonde elektrone, a mi - protone. Oni su u SLAC-u bacali elektrone u 'crnu kutijicu područja sudara' i merili one elektrone koji su iz toga izlazili. Izlazilo je i mnogo štošta drugo - na primer, protoni i pioni - ali ovi drugari su to prenebregli. Mi smo u Brukhejvenu protonima gađali komad urana (da bismo pogodili protone u njemu), a pažnju smo usredsredili na parove muona koji su izlazili; njih smo merili pomno. (Ponoviću, za one među vama koji nisu pazili: elektroni i muoni su leptoni. Muon ima sve iste osobine kao elektron, sem što je dvesta puta teži.)

Rekao sam ranije da je opit u SLAC-u bio sličan onom Raderfordovom opitu sa rasipanjem čestica, koji se završio tako što je otkriveno postojanje atomskog jezgra. Ali Raderford je naprosto gađao jezgro alfa-česticama i merio pod kojim uglom one odskoču. U SLAC-u je proces bio složeniji. Ako ćemo govoriti jezikom teorije i koristiti mentalnu sliku koju nam nudi matematika, elektron koji se sjuruje ka maloj crnoj kutiji šalje ispred sebe, u nju, jedan foton. Taj foton je glasnik. Ako glasnik ima baš one prave, potrebne osobine, može se desiti da ga jedan od kvarkova apsorbuje. Ako elektron izbaci iz sebe jedan uspešan foton-glasnik (takav koji bude u crnoj kutijici pojeden), posledica je to da

se izmene i energija i kretanje tog elektrona. Sad elektron izlazi iz crne kutijice oslabljen, a naučnici ga izmere. Drugim rečima, energija izlazećeg elektrona kaže nam nešto o bačenom i pojedenom fotonu-glasniku i, što je još važnije, o onome što je glasnika pojelo. Uočeni obrazac fotona-glasnika mogao se tumačiti samo na jedan način: naime, da ih je u protonu uvek apsorbiralo po jedno 'nešto' koje je tačkasto.

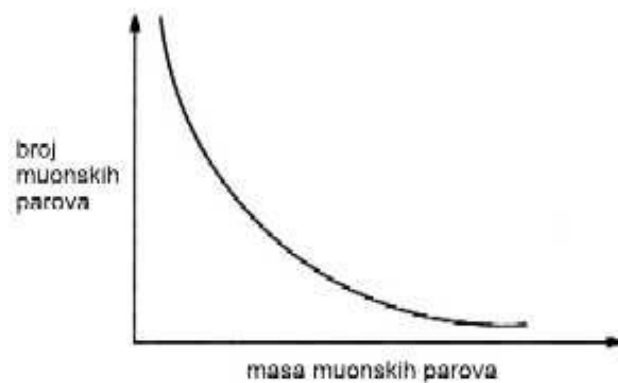
U dimuonskom opitu (tako je nazvan jer smo proizvodili po dva muona) u Brukhejvenu, šaljeemo visokoenergetske protone u oblast crne kutijice. Energija tog protona dovodi do toga da iz mesta sudara bude izraćen jedan foton-glasnik koji krene napolje, da iziđe iz crne kutijice; ali pre nego što to postigne, raspadne se na muon i odgovarajući antimuon. Te dve čestice izlete iz crne kutijice i budu izmerene. Ovo nam kaže nešto o odlikama fotona-glasnika, a to smo doznawali i u SLAC-ovom opitu. Međutim, opit sa parom muona teorijski je shvaćen tek 1972. godine, a i posle toga bilo je potrebno još mnogo drugih, istančanih dokaza da bi se najzad stiglo do tačnog tumačenja.

Ovo tumačenje prvi su izložili Sidni Drel (Sidney Drell) i njegov student Tung Mo Jan (Tung Mo Yan) na Stenfordu; nimalo iznenađujuće, jer stenfordovcima su muoni u krvi. Njihov zaključak: naš foton-glasnik (onaj iz koga se rađa muonski par) nastaje tako što jedan od kvarkova u pristižućem brzom protonu ostvari sudar sa jednim antikvarkom u pogodenoj meti, pri čemu, dabome, taj kvark i taj antikvark moraju međusobno da se anihiliraju. Ovo je širom sveta poznato kao 'Drel-Janov opit' iako smo mi smislili i izveli ceo opit, a Drel i Jan 'samo' pronašli pravo tumačenje.

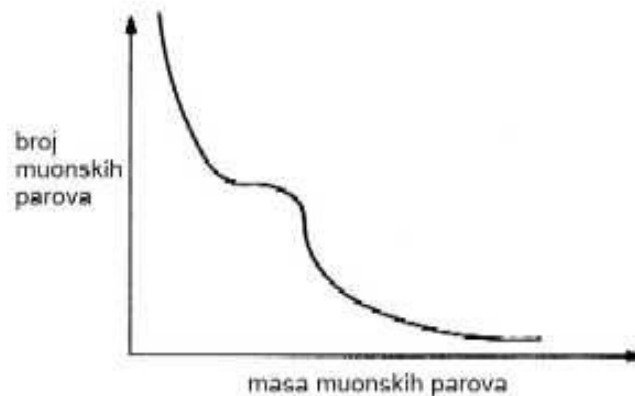
Kad je Ričard Fajnmen za moj dimuonski opit napisao, u jednoj svojoj knjizi, da je 'Drel-Janov opit' - šalio se čovek - ja sam telefonirao Drelu i rekao mu da pozove sve one građane koji su kupili tu Fajnmenovu knjigu i da svakom ponaosob saopšti da treba precrtati imena Drel i Jan na strani 47 i iznad toga upisati ime Ledermen. (Nisam se usudio da dosađujem Fajnmenu.) Drel je rado pristao i pravda je trijumfovala.

Od tih vremena do danas, opit Drele, Jana i Ledermena izveden je u svim laboratorijama i svuda je pružio dokaze - koji se međusobno uklapaju i potvrđuju - o tačnim načinima na koje kvarkovi grade protone i mezone. Pa ipak, ovo nije navelo baš sve fizičare da poveruju u postojanje kvarkova. Preostalo je nešto skepticizma. A mi smo sve to vreme imali u Brukhejvenu dokaz, dokaz koji je mogao sve skeptike da ubedi, a koji nam je naprosto bô oči... ali nismo znali šta on znači.

Izveli smo naš opit 1968. godine, i to je bio prvi opit te vrste na svetu. Osmatrali smo glatko povećanje proizvodnje muonskih parova, koje je nastupalo uporedo sa povećanjem mase upotrebljenih fotona-glasnika. Foton-glasnik može da ima prolaznu masu ma koje vrednosti, ali što je ta vrednost veća, to je kraći vek tog fotona, a i teže ga je napraviti. Sad, Hajzenberg. Opet on. Pamтите, što je veća masa, to je manji delić prostora koji može biti istražen; pošto je to tako, trebalo bi da vidimo, pri povećavanju energije protona, sve manji broj događaja sa porastom energije (sve manji broj muonskih parova, dakle). Uzmemo dobijene podatke i bacimo ih u koordinatni sistem. Dobijemo jedan grafikon, to jest jednu krivu. Položena osa, x-osa, služi za to da na njoj označavamo sve veće i veće mase. Uspravna osa, y-osa, služi da naznačimo koliko je muonskih parova proizvedeno. Trebalo bi da dobijemo krivu ovog oblika:



Očekujemo, dakle, glatku silaznu liniju koja bi značila proizvodnju sve manjeg i manjeg broja muonskih parova kad se povećava energija fotona koji bi hteo da izleti iz crne kutijice. Ali umesto toga, dobijemo nešto otprilike ovako:



Negde oko 3 GeV, dakle na tom nivou mase, glatko spuštanje niz krivu bilo je narušeno tako što se pojavila jedna 'grbina' za koju se sad kaže da je Ledererova grba. Takvo ispupčenje na grafikonu pokazuje da se desilo nešto neočekivano, u ovom slučaju neki događaj koji ne može biti objašnjen samo postojanjem fotona-glasnika. Očigledno, još nešto je 'sedelo' na Drel-Janovim događajima. Tad smo prvi put jasno i čisto promašili nešto što ćemo tek kasnije otkriti i što će biti konačni dokaz stvarnosti kvarkova.

To što se grickamo što nismo prvi otkrili tačkastu strukturu protona i što su švedskim dekretom dodeljene Nobelove nagrade Fridmenu, Kendalu i Tejloru ne znači da smo stvarno ljuti. Čak ni Bjorken, da je bio kod nas, možda ne bi mogao da prozre, godine 1968, sve fine veze između brukhejvenskih dimuona i kvarkova. Svejedno, dimuonski opit je, u retrospektivi sagledano, moj najomiljeniji. Tako originalna zamisao, tako maštovita, tehnički zaista detinjasto jednostavna za izvođenje - toliko jednostavna da sam propustio da vidim otkriće decenije, koje je bilo tu. Podaci su se nalazili na tri mesta: najpre je tu bio Drel-Janov dokaz o tačkastoj strukturi; drugo, dokaz da postoji koncept zvan 'boja' u apsolutnim iznosima (o tome ćemo kasnije); a treće je otkriće J/Psi - džej-psi (odmah nailazi). Svaki pojedini od ta tri sastojka bio je nobelovskog kvaliteta. Da smo shvatili onako kako je trebalo da shvatimo, švedska Kraljevska akademija mogla je da uštedi sebi bar dve nagrade!

## **NOVEMBARSKA REVOLUCIJA**

Dva opita, jedan započet 1972, a drugi 1973, izmenila su fiziku. Jedan je bio u Brukhejvenu, nekadašnjem vojnom logoru, među kržljivim borićima na pesku, samo deset minuta daleko od jedne od najlepših plaža na svetu, na južnoj obali Long Ajlanda, koji, kao dobar domaćin, prima okeanske talase što se do njega valjaju maltene od Pariza. Drugi opit bio je u SLAC-u, u smeđim brdima iznad stensfordskog studentskog grada koji je izgrađen u španskom stilu. Oba ta opita bila su pećanje u mutnoj vodi. Ni jedan ni drugi nije bio jasno motivisan, ali kad su se sudarili, to je tako tresnulo da je zvuk obleteo svet. Događaji sa kraja 1974. godine ostaju zabeleženi u istoriji fizike kao Novembarska revolucija, o kojoj se priča i pripoveda kad god fizičari sednu da zборе o vremenima starim i junacima iz davnina i da pijuckaju 'Perijer'. A predistorija te revolucije jeste teoretičarsko uverenje, koje je njima maltene religija, da priroda mora biti lepa, simetrična.

Prvo da napomenemo da hipoteza o postojanju kvarkova nije značila nikakvu pretnju statusu elektrona kao elementarne čestice, a-toma. Samo, sada su postojale dve klase tačkastih čestica - kvarkovi i leptoni. Elektron, muon i neutrino su leptoni. I sve je moglo biti fino, da nisu Švarc, Stajnberger i Ledermen zabrljali celu stvar onim opitom sa dva neutrina. Odjedanput je ispalo da imamo četiri leptona (elektron, elektronov neutrino, muon, i muonov neutrino), a samo tri kvarka (gore, dole i čudni). Tabela o tome mogla je, godine 1972, izgledati, napisana fizičarskim sažetim sistemom notacije, ovako:

kvarkovi: u d s  
leptoni: e m  
ne nm

Bljak. Fuj. Ne, ne, ne biste vi napisali takvu tablicu jer bila bi bez veze. Leptoni lepo sređeni dva po dva, a odeljenje kvarkova srazmerno ružno, samo tri komada, u jednoj epohi kad su fizičari već bili razočarani brojem 3.

Teoretičari Šeldon Glešou i Bjorken davali su već 1964. primedbe koje su manje-više značile da bi bilo naprosto šarmantno kad bi postojao četvrti kvark. Time bi bila obnovljena simetrija između kvarkova i leptona, ona simetrija koju smo upropastili otkrićem muonskog neutrina, četvrtog leptona. Godine 1970. pojavio se nešto jači teorijski razlog da se veruje u postojanje četvrtog kvarka; Glešou i njegovi saradnici istakli su argumente za to, složene, ali divne. Od tada je Glešou bio strastveni borac za kvarkove. Inače, malo ko kaže 'Glešou'; njega i obožavaoci i protivnici zovu skraćeno Šeli. E, vidite, Šeli je napisao nekoliko knjiga i u njima dokazao da može stvarno vrlo strastveno da se bavi tim svojim advokatisanjem u prilog kvarkova. Šeli je jedan od glavnih arhitekata našeg standardnog modela, ali je mnogo cenjen i zbog svojih priča, cigara i kritičkih komentara o trendovima u teoriji.

Glešou je organizovao čitav marketing za tu svoju zamisao o četvrtom kvarku. Dao mu je i naziv - šarm. Putovao je na nebrojene seminare, radionice i konferencije, i svuda insistirao da eksperimentatori treba da tragaju za kvarkom šarm. Njegova zamisao bila je da ćemo pomoću tog novog kvarka i pomoću nove simetrije u kojoj kvarkovi takođe dolaze svaki sa svojim parnjakom - gore/dole i šarm/čudni - uspeti da izlečimo mnoge patologije (doktoze, boli me ovde) u teoriji slabe sile. Uspelo bi, na primer, poništavanje nekih reakcija koje su bile predviđane, a nikad opažene. Malo-pomalo, Šeli je pridobijao kolege; imao je, bar među teoretičarima, sve više pristalica. U leto 1974. godine, jedan prekretni pregled dotadašnjih postignuća pod naslovom "Traganje za kvarkom" objavili su zajednički Meri Gajar (Mary Galliard), jedna od tragično malobrojnih žena u fizici, izvanredan teoretičar, među vrhunskim; Ben Li i Džon Rosner (Jon Rosner). Ovaj njihov članak bio je za eksperimentatore naročito poučan zato što je ukazivao na to da takav kvark, hajde da ga nazovemo c, i njegov antikvark,  $\bar{c}$ , mogu da budu napravljeni u crnoj kutijici i da iz nje iziđu kao jedan neutralni mezon u kome su spojeni c i  $\bar{c}$ . To troje su čak nabacili zamisao da stari brukhejvenski podaci moje grupe o parovima muona mogu biti dokaz da se c c raspadaju na dva muona i da bi to moglo biti tumačenje Ledermenove grbine kod 3GeV. To znači da bi masa te stvari, tog c c, trebalo da iznosi 3GeV.

## **LOV NA DŽOMBU**

Ipak, bile su to samo teoretičarske pričancije. U nekim objavljenim istorijatima Novembarske revolucije tvrdi se da su eksperimentatori radili do besvesti naporno da bi potvrdili zamisli teoretičara. Svakom takvom istoričaru kažem: sanjaj, sanjaj. Eksperimentatori su pecali naslepo, ne znajući šta bi iz toga moglo ispasti. U Brukhejvenu je bio 'lov na džombu' - traganje za nekom neravnom u podacima, za nečim što bi moglo prevrnuti zaprežna kola puna jabuka, a ne stabilizovati ih.

Dok su Glešou, Gajarova i još neki ljudi pričali o šarmu, eksperimentatori su bili zaglibljeni u neke druge, svoje probleme. Svakome je već bilo jasno da je u toku svojevrsno takmičenje između kolajdera elektron-pozitron ( $e^- e^+$ ) i akceleratora protona. Podelili smo se na dve vrste naučnika, leptonce i hadronce. Između nas se vodila žustra rasprava. Elektroni su postizali slabe učinke, ali podržavala ih je propagandna kampanja tako jaka - to je trebalo da čujete! Pošto se smatra da je elektron tačka bez ikakve strukture, onda elektron, naravno, nudi jedno čisto početno stanje u vršenju opita: ispališ jedan  $e^-$  (elektron), a u suprotnom smeru, elektronu u susret, jedan  $e^+$  (pozitron), i oni ulete u crnu kutijicu, prostor u kome se sudare. Čisto, jasno. Početni je korak (insistiralo se u tom modelu) taj da sudar čestice i antičestice dovede do stvaranja jednog fotona-glasnika čija će energija biti jednaka zbiru energija dvaju čestica koje su se zakucale jedna u drugu.

Taj foton-glasnik živi veoma kratko, a onda se materijalizuje u parove čestica odgovarajuće mase, energije, spina i drugih kvantnih brojeva koji su nametnuti zakonima o očuvanju. Taj par čestica izlazi iz crne kutijice i mi vidimo, najčešće, (1) još jedan par  $e^+ e^-$ , (2) par muon-antimuon, ili (3) hadrone u širokoj raznovrsnosti kombinacija, ali uvek ograničene početnim uslovima - energijom i kvantnim odlikama onog fotona-glasnika. Raznovrsnost mogućih konačnih stanja, koja sva proističu iz jednostavnog početnog stanja, pokazuje da je ova tehnika vrlo moćna.

Uporedite ovo sa sudarom dva protona. Svaki se sastoji od po tri kvarka, koji jakom silom deluju jedni na druge. Šta to znači 'deluju'? To znači da između sebe vrlo brzo razmenjuju - to jest, jedan drugome dodaju - gluone, čestice koje su prenosioci jake sile. (Kasnije u ovom poglavlju govorićemo i o gluonima.) Da bi naš nelep proton bio još zamršeniji, uvek se može desiti da neki gluon, dok putuje od, recimo, jednog gore do jednog dole kvarka, za tren zaboravi svoju dužnost i da se materijalizuje (kao što čine fotoni-glasnici) u jedan, bilo koji, kvark i u njegov antikvark, na primer u  $s$  i  $\bar{s}$ . Ta pojava para  $s$   $\bar{s}$  veoma je kratkotrajna, pošto gluon mora opet da se vrati 'k sebi', mora da postane ono što je i bio, na vreme da stigne na cilj i da na cilju bude apsorbovan. Ali ipak, tokom tog jednog trenu, proton je složeniji nego inače.

Fizičari koji su, hteli-ne hteli, morali da rade samo sa akceleratorima elektrona (jer nisu imali one za protone) podrugljivo su govorili, ne baš sasvim netačno, da je proton 'kanta za smeće', a sudar dva protona ili jednog protona i jednog antiprotona - sudar dve kante prepune đubreta, i da iz sudara izleću ljuske od jaja, kore od banana, ogrizine i splačine, kao i pocepani kladionički tiketi.

Tokom školske 1973-74. godine, stensfordski elektron-pozitron ( $e^- e^+$ ) kolajder nazvan SPEAR, počeo je da prikuplja podatke. Odmah je naleteo na jedan neobjašnjiv rezultat. Sudari su češće nego što je to teorijski bilo predviđeno davali hadrone. Priča je zamršena, a bila je i prilično dosadna sve do oktobra 1974. Fizičari sa SLAC-a, predvođeni Bartonom Rihterom (Burton Richter), koji ih u stvari ipak nije predvodio, jer je po staroj dobroj tradiciji vođa grupa bio baš tih dana odsutan, počeli su da ulaze u trag i korak po korak da se primiču nekim čudnovatim dejstvima koja su iskršavala kad je zbir energije dvaju sudarenih čestica bio oko 3,0 GeV, a to je, kao što se možda sećate, jedna sugestivna masa.

Stvar je konačno zabiberena time što je pet hiljada kilometara istočno odatle, u Brukhejvenu, jedna grupa sa MIT-a ponavljala onaj naš opit iz 1967. godine, onaj dimuonski. Šef je bio Semjuel Č. Č. Ting (Samuel C. C. Ting). Za tog tipa se pričalo da je bio zapovednik svih mladih izviđača u Republici Kini (onoj ostrvskoj, na Tajvanu). U



svakom slučaju, doktorirao je u Mičigenu, odradio jedno polugodište kao mladi doktor u CERN-u, a onda se početkom šezdesetih godina pridružio mojoj grupi kao docent na Kolumbiji, dakle profesor. Tu su neke njegove oštre ivice još malo izoštrene.

Precizan, do sitnica savestan, silno odan poslu, eksperimentator koji zaista ume da organizuje stvari, ovaj Ting radio je sa mnom na Kolumbiji nekoliko godina, zatim je proveo nekoliko dobrih godina i u laboratoriji DESI (DESY) blizu Hamburga, u Nemačkoj, onda je prešao da bude profesor na MIT-u. Tu je brzo postao jedna od naših glavnih snaga (recimo da je zauzeo peto mesto - šesto? - po značaju) u istraživanju čestica. Pisao sam o njemu pismo sa preporukama i uputio to MIT-u, kad je trebalo da se on tamo zaposli; a u pismu sam malo i preuveličao neke njegove slabe strane - što je stara dobra fora kad stvarno hoćeš da neko bude primljen - preuveličao, rekoh, samo da bih na kraju pisma mogao da zaključim: "Ting - vruć i kiseo kineski fizičar." Uistinu je meni Ting malo i smetao zato što je, kad sam bio dete, moj tata bio vlasnik perionice veša, a s druge strane ulice bila je druga, konkurentska perionica, čiji je vlasnik bio jedan Kinez; tada sam se naslušao priča o Kinezima kao našim takmacima. Zato se i danas unervozim kad se u blizini pojavi bilo koji fizičar Kinez.

Dok je radio na elektronskoj mašini u laboratoriji DESI, postao je stručnjak za analize  $e^+ e^-$  parova nastalih u elektronskim sudarima; zato je sada zaključio da bi otkrivanje parova elektrona bilo bolji način da se izvede Drel-Janov, uuups, pardon, Tingov dileptonski opit. Tako se, dakle, desilo da godine 1974. Ting bude u Brukhejvenu i da, za razliku od kolega u SLAC-u koji su sudarali elektrone i pozitrone, upotrebljava samo visokoenergetske protone, baca ih u stacionarnu metu i onda naprosto posmatra parove  $e^+ e^-$  kako izleću iz crne kutijice. Ali on ih je posmatrao pomoću najnovijeg na svetu instrumenta za to, pomoću detektora daleko tačnijeg nego što je bila ona skalamerija koju smo mi skucali sedam godina pre toga. Koristeći Čarpakove (Charpak) žičane komore, Ting je uspevao da izmeri, i to tačno, masu fotona-glasnika, ili bilo koje druge čestice koja iz sebe rodi pomenuti par elektron-pozitron. Pošto i muoni i elektroni jesu leptoni, stvar je tvoje naklonosti koji ćeš par radije da posmatraš. Ting je krenuo u lov na džombu, nastojao je da upeca možda neku novu pojavu, a ne da potvrdi ma koju postojeću hipotezu. "Volim da jedem kinesku hranu sa teoretičarima", rekao je Ting (priča se) jednom prilikom, "ali provesti čitav život radeći ono što teoretičari predlažu - to bi bilo gubljenje vremena." Baš je prikladno da takav čovek nađe kvark zvani šarm.

Sudbina je htela da obe grupe, i ona u Brukhejvenu i ona u SLAC-u, dođu do istog otkrića; ali, sve do 10. novembra 1974, te dve grupe eksperimentatora nisu znale gotovo ništa jedna o radu one druge. Zbog čega, onda, kažemo da su ta dva opita u međusobnoj vezi? SLAC-ov opit baca elektron na pozitron i kao prvi korak dobija se jedan virtuelni foton. Brukhejvenski opit ima, na samom svom početku, situaciju koja je grozno zapetljana, ali onda ipak posmatra virtuelne fotone, ako - i samo ako - oni iziđu iz gužve i rasture se u parove  $e^+ e^-$ . Dakle, oba opita imaju posla sa fotonom-glasnikom, koji može imati bilo koju privremenu masu/energiju (ona zavisi od snage sudara). Dobro provereni model onoga što se dešava u SLAC-ovom sudaru glasi ovako: stvori se foton-glasnik, koji se može 'rastvoriti' na hadrone - recimo, na tri hadrona, ili na pion i dva kaona, ili na proton, antiproton i dva piona, ili na par elektrona, ili muona i tako dalje. Mogućnosti su mnogobrojne i uvek su u skladu sa ulaznom energijom, kao i sa impulsom, spinom i drugim ulaznim činiocima.

Prema tome, ako postoji nešto novo čija je masa manja od zbira energija dva zraka što se sudaraju, onda i to nešto može u ovom sudaranju da nastane. Štaviše, ako ta nova 'stvar' ima one iste, popularne kvantne brojeve koje i foton ima, onda ta stvar može i da dominira u reakciji, ako je zbir dvaju energija tačno jednak masi pomenute nove stvari. Meni su neki ljudi pričali da operski pevač, ako istrajno peva određenu notu odgovarajućom snagom, može prisiliti finu vinsku čašu da se rasprsne. Nove čestice se rađaju otprilike tako.

U brukhejvenskoj verziji, akcelerator baca protone u nepomičnu metu, a to je, u ovom slučaju, komad berilijuma. Kad protoni, koji su prilično krupne čestice, stanu da udaraju u berilijumova jezgra, koja su takođe prilično krupna, počne da se dešava sve i svašta. Kvarak naleti na kvark. Neki drugi kvark naleti na antikvark. Treći, opet, na gluon. Ili gluon naleti na gluon. Koliko god da je visoka energija akceleratora, dešavaju se uvek

i sudari na mnogo nižim energijama, jer kvarkovi koji su sastavni delovi jednog protona uzimaju svaki za sebe po jedan deo protonove energije, ali samo deo, nijedan je ne uzima za sebe celu. Zbog svih tih razloga, leptonski parovi koje je Ting merio da bi tumačio svoj opit izlazili su iz mašine manje-više nasumično. Prednost takvog složenog početnog stanja sastoji se u tome što imaš bar neke, male izgleda da proizvedeš sve što se sa tom energijom proizvesti može. Jer toliko toga se dešava u sudaru dve kante pune otpadaka. Nezgoda je što onu novu stvar moraš nekako da nađeš u gomili koječega drugog. Da bi čovek dokazao da nova čestica postoji, mora da ponovi ceo proces mnogo puta, i to uspešno, i rezultati moraju biti međusobno u skladu. Za ovo ti je potreban dobar detektor. Na sreću, ovaj Tingov je bio stvarno majstorski.

SLAC-ovo 'koplje' (SPEAR) bilo je u svemu suprotnost. Oni su tamo treskali elektron o pozitron, samo to, uvek. To je jednostavno. Dve čestice, obe tačkaste, materija i antimaterija, sudare se i uzajamno anihiliraju. Materija nestane, pretvarajući se u čistu svetlost, u foton-glasnik. To je jedan paketić energije, koji se posle opet zgusne u materiju. Ako zrak sa jedne strane donosi energiju od, recimo, 1,5525 GeV, a drugi, suprotan zrak isto toliko, ti dobiješ u svakom sudaru energiju koja je jednaka njihovom zbiru, dakle 3,105 GeV. Ako postoji neka čestica čija je masa baš tolika, sasvim je moguće da nećeš proizvesti foton nego tu česticu. Maltene si prisiljen da je otkriješ: mašina i ne može drugo. Energija sudara koji se u njoj dešavaju predodređena je. Ako se želi postići neka druga energija, naučnici moraju da isključuju i ponovo uključuju magnetne i da obave druga podešavanja. Stenfordski fizičari umeli su da podešavaju energiju svoje mašine mnogo tačnije nego što je pri njenoj izgradnji bilo predviđeno; to je veliki tehnološki uspeh. Ja, iskreno, nisam mislio da je to izvodivo. Teškoća kod mašine kao što je SPEAR sastoji se u tome što moraš kroz vilajet energije ići polako, korak po korak, izuzetno malim koracima; to je jedno strpljivo pretraživanje. Ali ako pogodiš odmah onu pravu energiju, ili ako ti neko došapne, dojavu - a o tome se uskoro povela rasprava - onda možeš da otkriješ novu česticu i za dan ili dva.

Vratimo se opet, za trenutak, u Brukhejven. Školske 1967-68. godine, kad smo primetili neobičnu dimuonsku grbinu, naši podaci kretali su se u rasponu od 1 GeV do 6 GeV, a broj muonskih parova opaženih pri 6 GeV bio je samo milioniti deo onog broja koji smo opažali na 1 GeV. Na 3 GeV nastajalo je to naglo izravnavanje krive koja pokazuje opadanje, dakle opadanje se prekidalo, a već kod, približno, 3,5 GeV naglo se nastavljalo jednim strmim padom. Otud grba. Možete i drugačije reći: to je jedan plato između 3 i 3,5 GeV. Godine 1969, kad smo se spremali da objavimo rezultate (nas sedmorica autora, zajedno), raspravljali smo kako da opišemo taj plato. Da li tu postoji neka nova čestica, čije je dejstvo razmrljano zato što naš detektor u znatnoj meri izobličuje rezultate? Ili je to neki novi proces što proizvodi fotone-glasnike koji daju drugačiji 'prinos' energije? Niko nije znao, godine 1969, kako nastaju muonski parovi. Ja sam presudio: ti podaci nisu dovoljno dobri da bismo na osnovu njih izjavili da smo postigli otkriće.

Dobro. U jednom dramatičnom suočavanju naučnika, koje se dogodilo 11. novembra 1974. godine, pokazalo se da i slakovci i brukhejvenovci imaju jasne podatke o tom proširenju na 3,105 GeV. U SLAC-u su uspevali da podese svoju mašinu na tačno tu energiju (što nije nimalo lako!) i tada su njihovi brojači naprosto ludeli, pokazivali su sto puta veći broj događaja, ali se sve vraćalo na normalnu vrednost čim bi se akcelerator podesio na 3,100 ili na 3,120. Ova rezonancija nije ranije pronađena upravo zato što je tako oštra; ta ista grupa istraživača prešla je već ranije preko te teritorije, ali nije primetila šta se dešava tačno na 3,105. U Tingovim brukhejvenskim podacima izlazeći parovi leptona, tačno izmereni, pokazivali su oštru izbočinu sa središtem na 3,10 GeV. Ting je, kao i kolege u SLAC-u, zaključio da to može značiti samo jedno: da je otkrio neko novo stanje materije.

Problem ko je pre postigao ovo otkriće pokazao se kao prilično trnovit. Ko je bio prvi? Poletele su glasine, zatim i optužbe. Jedna optužba bila je da su slakovci nekako 'nanjušili' Tingove preliminarne rezultate i da su zato znali gde treba da gledaju. Protivoptužba je glasila da je Tingova izbočina bila nedovoljno jasnog oblika i da su je brukhejvenovci masirali još satima posle slakovskog otkrića - još nekoliko sati - a onda objavili. Slakovci su novom predmetu dali naziv  $\psi$  (psi), a Ting ga je nazvao J (džej).

Danas se za tu česticu najčešće kaže "džej-psi", dakle, J/ψ. Obnovili smo ljubav i slogu u našoj zajednici. Onako. Otprilike.

## **ČEMU FRKA? ZAŠTO KISELO GROŽĐE?**

Sve je to zanimljivo, može biti, ali zašto tolika frka oko te jedne stvarčice? Vest o otkriću ostvarenom i istovremeno objavljenom 11. novembra raširila se u trenu po celoj planeti. Jedan CERN-ov naučnik ovako opisuje taj dan: "Bilo je neopisivo. Po hodnicima su svi pričali samo o tome." U nedelju se na naslovnoj strani lista 'Njujork Tajms' pojavio naslov: PRONAĐENA NOVA, IZNENAĐUJUĆA VRSTA ČESTICE. Ili u časopisu 'Sajens': DVE NOVE ČESTICE ODUŠEVILE I ZBUNILE FIZIČARE. Glavni stari autoritet među piscima o nauci, Volter Saliven (Walter Sullivan), pisao je kasnije u 'Njujork Tajmsu': 'Takva opšta vika i galama u svetu fizike događa se retko, ili nikad... a ovoj galami kraj se još ne vidi.' Samo dve kratke godinice kasnije, 1976, dobiše Ting i Rihter Nobelovu nagradu. Zajedno.

Ta vest, o nagradi, doprla je i do mene. Tada sam vredno radio na jednom Fermilabovom opitu koji je bio označen, malo egzotično, kao 'opit E-70'. Sedim, evo, danas u mojoj radnoj sobi, sedamnaest godina posle te njihove Nobelove nagrade, i razmišljam. Mogu li se sada priseliti svojih tadašnjih osećanja? Kao naučnik, kao fizičar koji se čitavog života bavio elementarnim česticama, bio sam presrećan zbog postignutih otkrića, mada ne bez malo zavisti i malo, sasvim malo želje da poubijam ove što su otkrili nešto pre mene. To su normalne reakcije. Ali ja sam se prvi šetao tim područjem - Ting je samo ponovio moj opit! Istina je da detektorske komore kojima je on raspolagao nisu još postojale u školskoj 1967-68. godini. Pa ipak, moj stari brukhejvenski opit imao je u sebi elemente za barem dve Nobelove nagrade... da smo samo imali malo bolji detektor, i da je Bjorken bio na Kolumbiji, i da smo bili samo malo pametniji... A da je moja baba imala točkove - tako smo u ono doba zavitalavali razne uzdisatelje za propuštenim - bila bi trolejbus.

Nemam, zaista, koga da krivim osim samog sebe. Primetio sam, primetio sam onu tajanstvenu izbočinu godine 1967, i šta sam onda uradio? Opremio sam se da proučavam fiziku dileptona na novim mašinama, sa višom energijom, koje su upravo tada počele da se upotrebljavaju. Trebalo je da u CERN-u, 1971. godine, bude svečana inauguracija novog kolajdera proton-proton, nazvanog ISR, čija bi delotvorna energija bila dvadeset puta veća nego kod onoga u Brukhejvenu. I zato sam ispustio svoju brukhejvensku pticu u ruci i podneo predlog za opit CERN-u. I kad je taj opit počeo da daje podatke, godine 1972, opet sam prevideo da se u njima krije džej-psi, ovoga puta zbog besomućnih pozadinskih smetnji; nas su mitraljirali neočekivani pioni. Kriv je i naš, tada prvi put upotrebljeni, detektor sa olovnim staklom. Nismo znali da ga mašina zasipa zračenjem. Doduše, to pozadinsko zračenje pokazalo se, samo po sebi, kao značajno otkriće: otkrili smo hadrone sa visokim transversalnim impulsom, što je još jedna vrsta podataka koja ukazuje na kvarkovnu strukturu unutar protona.

Nije to sve. Takođe 1971. godine Fermilab se pripremao da krene sa mašinom od 200 GeV. Ja sam se kladio i na nju. Taj Fermilabov opit preuzeli smo početkom 1973. godine, a moj izgovor što ni tad nisam pronašao džej-psi jeste... Šta reći. Mi smo hteli tako nešto da radimo, ali nije nam to došlo na red, pažnju su nam skrenuli čudnovati podaci koje su pojedine grupe istraživača dobijale u tom sasvim novom Fermilabovom ambijentu. To nas je odmamilo u kojekakve uzaludnosti, u poslove od kojih na kraju nije bilo ništa. Dok smo stigli da se najzad posvetimo dileptonima, Novembarska revolucija već je bila čvrsto postavljena u istorijske knjige. Dakle, ja sam se rekordno ispromašivao, ja sam tri puta prevideo džej-psi, jednom u Brukhejvenu i dvaput na novim mašinama, što je svojevrsno dostignuće u neuspešnosti jednog fizičara čestica.

Još nisam odgovorio na pitanje šta je tako izuzetno važno kod čestice džej-psi. Ona je hadron. Ali mi smo pre toga otkrili stotine hadrona. Čemu, onda, uzbuna oko još jednog, pa makar dobio i tako neobičan naziv kao što je džej-psi? Uzbuna je zato što džej-psi ima veliku masu, tri puta je teži od protona, a osim toga ta masa mu je vrlo 'oštra', manje od 0,05 MeV tamo ili ovamo.

Oštra? Da, a evo šta to znači. Nestabilna čestica ne može da ima jednu tačno iskazanu i određenu masu. To vam lepo piše u Hajzenbergovim relacijama neodređenosti. Što je kraći životni vek čestice, to je šira njena distribucija mase. To su kvantna posla. Kad kažemo 'distribucija mase', to znači da nizom merenja dobijemo razne rezultate, razne mase, a kad ih sve nanesimo na koordinatni sistem, dobijemo jednu krivu liniju koja ima zvonasti Gausov oblik dobro poznat iz statistike, to jest iz zakona verovatnoće. Odredimo gde je sam vrh te zvonaste krive linije i ako je vrh na 3,105 GeV, onda kažemo da to jeste masa te čestice. Istina je, međutim, da je ovo 'razmazivanje' masenih vrednosti, zapravo, mera trajanja života te čestice. Znamo da se neodređenost odražava u merenjima. To možemo da razumemo i ovako: kad je jedna čestica stabilna, imamo na raspolaganju beskonačno dugo vreme da merimo njenu masu. Zato je raširenost u levu i desnu stranu (dakle: različitost, nepodudarnost) izmerenih masa te čestice beskonačno sužena, beskrajno uska. A kad je čestica veoma kratkovečna, onda njenu masu ne možemo (čak ni u načelu, niti u praktičnom radu, pa čak ni najgenijalnijim, najfinijim aparatima) da izmerimo tačno; svakako ćemo dobiti rezultate, to jest različite iznose, a ove razlike biće veoma široke. Evo primera. Tipična čestica jakog međudejstva raspada se posle samo 10-23 sekundi i ima ovu masenu raširenost od oko 100 MeV.

Još nečeg da se prisetimo. Primiteli smo da su nestabilni svi hadroni osim jednog jedinog, a taj jedan je proton, pa i on je stabilan samo kad je slobodan (sam). Što je veća masa nekog hadrona (ili bilo koje druge čestice), to mu je kraći život, jer postoji veći broj stvari na koje se može raspasti. Međutim, našli smo, eto, džej-psi čija je masa ogromna (godine 1974. to je bila najteža od svih poznatih čestica), ali kakav šok! Opažena raspodela mase bila je izuzetno oštra, preko hiljadu puta uža nego što bi se očekivalo kod tipične čestice jakog međudejstva. Po tome smo znali da će ova čestica imati dug život. Dakle, nešto ju je sprečavalo da se raspadne.

## **GOLI ŠARM**

A šta?

Teoretičari su svi do jednog digli ruke i glasali ovako: tu postoji neki novi kvantni broj ili, srodno tome, deluje neki novi zakon očuvanja. Koja vrsta očuvanja bi to bila? Koja je to nova stvar koja biva očuvana? Ah, sada je žagor, svaki teoretičar odgovara drugačije. Ova situacija potrajala je neko vreme.

Nastavilo se pritanje podataka, ali samo sa  $e^+ e^-$  mašina. SPEAR-u se jednog dana pridružio kolajder ADONE u Italiji, zatim i DORIS u Nemačkoj. Još jedna grba pokazala se na 3,7 GeV. Nazovimo je  $\psi'$  (psi prim), više nema potrebe da pominjemo nikakvo 'džej', pošto je sad stvar bila u celosti stenfordska. (Ting i njegovi sadruzi ispali su iz igre; njihov akcelerator je jedva uspeo da otkrije tu česticu, a o nekom daljem poboljšanju podataka na njemu nije moglo biti ni govora.) Ali uprkos grozničavim naporima, nikako se nije našlo objašnjenje za iznenađujuću oštrinu džej-psi.

Konačno je jedno nagađanje počelo da zvuči razumno. Možda je džej-psi onaj odavno čekani 'atom' nastao vezivanjem  $c$  i  $\bar{c}$ , dakle šarm kvarka i njegovog antikvarka. Oduševljeni Glešou predloži novi naziv za džej-psi: 'šarmonijum' (charmonium). Na kraju se ispostavilo da je ta teorija tačna, ali tek posle dodatnih napora i nagađanja koji potrajaše još dve godine. Razlog što je trebalo toliko dugo čekati na potvrđivanje da je to takav 'atom' sastojao se u tome što prilikom kombinovanja  $c$  i  $\bar{c}$ , sve inherentne odlike šarma bivaju izbrisane. Što god  $c$  unese,  $\bar{c}$  poništi. Svi mezoni se sastoje od po jednog kvarka i jednog antikvarka, ali ne od kvarka i upravo njegovog, istovrsnog antikvarka, kao harmonijum. Pion ( $\pi$ -mezon) je, recimo, ud.

Krenula je potera za 'golim šarmom', a to bi bio mezon u kome bi jedan kvark šarm bio spregnut sa, recimo, kvarkom antidole. Kvark antidole ne bi poništavao odlike svog partnera, pa bi šarm bio, u svoj svojoj goljoj slavi, izložen našim pogledima. To je najbolje posle onog što bi bilo još mnogo bolje, ali ne može postojati, a to je slobodni šarm kvark. Godine 1976. nađen je jedan mezon sa golim šarmom,  $\psi(3700)$ . Ovo je postigla jedna grupa slakovaca sa Berklija, pod rukovodstvom Gersona Goldhabera (Gerson

Goldhaber) na stanfordskom kolajderu  $e^+ e^-$ . Tom mezonu dat je naziv  $D_0$  (de nula). Sledećih petnaest godina, mašine sa elektronima bile su zauzete upravo proučavanjem de nule. Danas mezoni kao što su  $cd$ ,  $cs$  i  $cd$  jesu glavno žito za onu vodenicu koja proizvodi doktorske titule. Složenom spektroskopijom raznih njihovih stanja obogaćujemo svoje razumevanje osobina kvarkova.

Sada je oštrina džej-psijska bila shvaćena. Šarm je jedan novi kvantni broj, a zakoni očuvanja jake sile nisu dopuštali c kvarku da se preobrati u neki kvark niže (to jest, manje) mase. Da bi se takvo preobraćenje ipak postiglo, morale su biti pozvane u pomoć slaba sila i elektromagnetna sila, a te dve deluju mnogo sporije - otud dugi život i uzana kriva raspodele mase.

Otrpili u to vreme pali su i poslednji rovovi iz kojih je pružan otpor ideji kvarka. Jer, zamisao kvarka dovela je do vrlo neobičnih prognoza, koje su se, posle toga, obistinile. Verovatno je čak i Gel-Man pomišljao da kvarkovi možda jesu čestice koje stvarno postoje. Ostaje nam problem vezanosti koja se sastoji u tome što nikad, nigde, ne može da postoji slobodni kvark. Po tome se kvarkovi razlikuju od svih drugih čestica materije. Sa šarmom, naš periodni sistem čestica opet je dospao u stanje ravnoteže:

#### KVARKOVI

gore u šarm c  
dole d čudni s

#### LEPTONI

elektronov neutrino (ne) muonov neutrino (nm)  
elektron (e) muon (m)

Vidite, tu su sad četiri kvarka (četiri ukusa kvarka, u stvari) i četiri leptona. Počeli smo da govorimo o dva pokolenja koja su raspoređena okomito, jedno ispod drugog, na ovoj tabeli. Prvo pokolenje bilo bi  $u-d-ne-e$ , a pošto su upravo od njega sagrađeni protoni i neutroni, prvo pokolenje dominira u ovom našem sadašnjem svetu. Drugo pokolenje je  $c-s-nm-m$ . Njega vidimo samo u žestokoj, ali kratkotrajnoj vrelini sudara u akceleratoru. Čini se da su te čestice egzotične, ali ih ne možemo prenebreći. Pošto smo neustrašivi istraživači, moramo se boriti da sagledamo koju je ulogu priroda namenila njima.

Nisam posvetio dužnu pažnju teoretičarima koji su predskazivali džej-psi, a onda i dokazali da je on šarmonijum. Ako je SLAC bio opitno srce, Harvard je bio teorijski mozak. Tamo su Glešou i njegov školski drugar Stiv Vajnberg (zajedno su išli u srednju prirodnonaučnu školu u Bronksu) radili uz pomoć gomile mladih genijalaca; pomenuću, od svih njih, samo Helen Kvin (Helen Quinn) koja je bitno doprinela toj euforiji oko šarmonijuma i koja se idealno uklapa u moj zamišljeni tim saradnika kakve bih želeo.

### **TREĆE POKOLENJE**

Da zastanemo i da se odmaknemo jedan korak od svega dosadašnjeg. Uvek je teže opisivati nedavne događaje, naročito one u koje je umešan i sam opisivač. Nije se još isprečio filter vremena, ne u dovoljnoj meri da čovek objektivno sagleda šta je bilo. Ali pokušaću koliko mogu.

Došle su, dakle, sedamdesete godine, i mi smo, zahvaljujući ogromnom uveličanju koje se u novim akceleratorima postizalo, ali i zahvaljujući straobalno pametno nameštenim detektorima koji su vrebali na ono što iziđe iz akceleratora, napredovali veoma brzo ka otkrivanju a-toma. Opiti su polazili u svim pravcima, saznavalo se o raznim šarm-predmetima, sile su ispitivane sa još mikroskopskije tačke gledanja, gurali smo se ka granicama energije, rešavali smo probleme koji su u datom trenutku izgledali najbitniji. Onda je neko pritisnuo kočnicu - naime, novac za dalja istraživanja počeo je da presušuje. Rat u Vijetnamu crpio je iz Amerike i finansijsku, ali i duhovnu snagu, nastupila je i naftna, to jest energetska kriza, sve je postalo nekako bolesnije i lošije, pa

su zato ljudi počeli da okreću leđa temeljnim naučnim istraživanjima. Ovo je još gore udarilo po našim kolegama u 'maloj' nauci. Fizičari visokih energija donekle su zaštićeni time što svoj trud udružuju, a na vrlo skupim instalacijama rade zajednički.

Teoretičari, koji rade jeftino (njima daj samo olovku, hrpu hartije i da sednu u neki kutak fakultetskog de luks salona), nastavili su da nižu uspehe, pojačani slapovima novih podataka. Videli smo na sceni i dalje iste profesionalce, bili su to Li, Jang, Fajnmn, Gel-Man, Glešou, Vajnberg i Bjorken. Brzo su zablistala i neka nova imena: Martinus Veltman (Martinus Veltman), Žerar t'Huft (Gerard 't Hooft), Abdus Salam (Abdus Salam), Džefri Goldstoun (Jeffrey Goldstone), Piter Higs (Peter Higgs) i drugi.

Hajde da samo u protrčavanju dodirnemo neke najistaknutije opite iz ovog razdoblja. Učinićemo nepravdu, jer ćemo prednost dati 'odvažnim jurišima u nepoznato', a zanemerivati 'sporo, temeljito pomeranje granice napred'. Godine 1975. Martin Perl je, radeći maltene sam samcit i mačujući se kao d'Artanjan sa svojim sopstvenim kolegama i saradnicima, uspeo da ubedi prvo njih, a zatim i svakog na svetu da se u SLAC-ovim podacima krije i peti lepton. Nazvan je tau ( $t$ ) i postoji sa dva različita znaka za naelektrisanje, baš kao i njegovi lakši rođaci elektron i muon:  $t^+$  i  $t^-$ .

Počelo je, dakle, stvaranje trećeg pokolenja. Pošto su sa elektronom i muonom povezani odgovarajući neutrini, svako je došao na prirodnu pomisao da mora postojati i tau neutrino ( $\tau$ ).

Za to vreme Ledermenova grupica u Fermilabu konačno je shvatila kako treba ispravno izvesti dimuonski opit. Napravila je novu, ogromno poboljšanu organizaciju svojih aparata, tako da se odjednom pojavilo slobodno, otvoreno polje za pregled svih čestica koje bi mogle postojati u rasponu od džej-psi vrha (3,1 GeV), pa sve do nadomak 25 GeV, što im je bio maksimum koji se može postići sa Fermilabovom energijom od 400 GeV. (Imajte u vidu - ovde govorimo o nepokretnim metama, što znači da samo jedan deo energije ulazećih čestica biva iskorišćen delotvorno.) I gle, pokazase se tri nove grbine, tri čvoruge takoreći, na 9,4 GeV, na 10.0 GeV, pa i na 10,4 GeV. Bile su upadljive kao Tetoni po blistavo sunčanom danu gledani iz skijaškog odmarališta Grend Targi. Ogromna masa podataka počela je da pristiže, a kao ishod toga, svetska zbirka dimuona uvećana je sto puta. Krstili smo tu novu česticu 'ipilon', misleći da je to poslednje još neiskorišćeno grčko slovo. Ova nova čestica ponovila je priču o džej-psiju, a nova stvar koja je čuvana (to jest, novi predmet na koji se odnosi pravilo očuvanja) bio je kvark zvani 'lepota' - ili, kako ga zovu neki fizičari manje skloni umetnosti, 'kvark dno'; skraćenica je u svakom slučaju slovo b. Prihvaćeno je tumačenje da je čestica ipilon takođe jedan 'atom' sagrađen od dva kvarka, i to od jednog b i jednog anti-b koji su međusobno spregnuti. Ona dva stanja sa nešto višom masom bila su naprosto pobuđena stanja takvog 'atoma'. Uzbuđenje oko otkrića ipsilona nije bilo ni izdaleka tako veliko kao ono zbog džej-psija. Ipak, pojava trećeg pokolenja bila je itekakva vest. Navela je ljude da se zapitaju: koliko još toga ima? I zašto priroda tako uporno pravi 'fotokopije', zašto bi svako sledeće pokolenje bilo udvajanje prethodnog?

Samo kratko da vam opišem peripetije koje smo imali dok smo stigli do čestice ipilon. U našoj grupi fizičara sa Kolumbije, Fermilaba i Stouni Bruka (Long Ajlenda) bilo je nekoliko mladih supermajstora vršenja opita. Načinili smo vrhunski kvalitetan (na svetu nije bilo boljeg) spektrometar, sa žičanim komorama, magnetima, scintilacionim hodoskopima, i sa još komora i još magneta. Naš sistem prikupljanja podataka bio je, kao što bi rekli Francuzi, "dernier cri", zasnovan na elektronici koju je načinio genijalni inženjer Vilijem Sipah. Svi smo mi radili u istom području Fermilabovih zraka. Poznavali smo probleme. Poznavali smo jedni druge.

Među najboljim mladim doktorima koje sam ikada upoznao bili su Džon Jou (John Yoh), Stiv Herb (Steve Herb), Volter Ins (Walter Innes) i Čarls Braun (Charles Brown). Značajan softver bližio se onom stupnju usavršenosti koji je bio potreban za rad na krajnjoj dosegnutoj granici znanja. Naš problem bilo je to što smo morali da budemo osetljivi samo na one prave reakcije, nama potrebne, pa makar nailazila samo po jedna takva u svakih sto hiljada milijardi sudara. Pošto nam je bilo potrebno da zabeležimo što više tih retkih dimuonskih događaja, morali smo da spremimo aparate koji neće reagovati na nebrojena mnoštva čestica bez značaja za ovaj posao. Naš tim je tada razvio jedinstveno razumevanje kako treba raditi u okruženju visokog zračenja, a ipak

imati detektore koji ostaju 'živi'. Naučili smo kako da se obezbeđujemo i višestruko, po nekoliko puta, od iste opasnosti, tako da nas priroda nije mogla prevariti ni svojim najlukavijim trikovima.

Rano u ovom poslu, dok je naš proces učenja bio tek u povoju, uzimali smo podatke u dielektronskom modusu i opazili nekih 25 elektronskih parova iznad 6 GeV. Začudo, čak 12 njih bilo je grupisano oko 6 GeV. Grbina? O ovome smo raspravljali i odlučili da saopštimo javnosti da možda postoji neka čestica na 6 GeV. Šest meseci kasnije, kad smo imali već nekih tri stotine snimljenih događaja, puffff... grba je iščezla, rasplinula se, nije je bilo. A bili smo predložili za nju upravo naziv 'ipson'. Kad su bolji podaci uništili tu našu zabludu, ostala je priča da ta naša vajna 'čestica', koja nam se samo prividela, nije nikako bila ipson nego Uuuups! Lion!

Onda je došla potpuno nova postavka opita. Uložili smo sve svoje iskustvo u bolje nameštanje mete, oklopa, magneta i komora. Podatke smo počeli da uzimamo u maju 1977. Prošla je era u kojoj smo morali da radimo mesec dana da bismo prikupili dvadeset sedam događaja ili trista događaja; sad smo ih snimali na hiljade svake nedelje, a pozadinske smetnje bile su svedene praktično na nulu. Retko se u fizici događa da tako, pomoću samo jednog novog instrumenta, nauka prodre u sasvim novo područje. Istorijski primeri takvih uspeha, naravno mnogo krupniji, bili su otkriće teleskopa i otkriće mikroskopa; ali uzbuđenje i radost kada su ta dva instrumenta smišljena i prvi put upotrebljena nije moglo biti mnogo veće od ovog našeg. Posle samo nedelju dana pojavila se široka grbina blizu 9,5 GeV; to proširenje uskoro je postalo statistički postojano. Zapravo, Džon Jou je još u onih prvih trista događaja video tu džombu, ali pošto smo se onako ispalili sa 6 GeV, on je samo napisao na jednoj boci Mamovog šampanjca '9,5' i sakrio je u naš frižider.

U junu smo popili taj šampanjac, sve sami muškarci pošto nažalost nismo imali nijednu saradnicu, i saopštili vest (koja je procurela i pre toga - doznalo se...) celoj našoj laboratoriji. Stiv Herb je održao taj govor, pred prepunom salom uzbuđene publike. Bilo je to prvo krupno otkriće ikada postignuto u Fermilabu. Kasnije tog meseca napisali smo i članak o otkriću širokog ispupčenja na devet i po GeV, sa 770 događaja opaženih baš u tom području - a to je statistički dovoljno bezbedno. Pre toga smo proveli nebrojeno mnogo sati tragajući za ma kakvim kvarom ili greškom, za ma čim što bi moglo da simulira grbu tamo gde je nema. Možda postoje neke mrtve zone u detektoru? Možda je kiks u softveru? Neumoljivom surovošću ganjali smo svaku, ma i najmanju sumnju do njenog potpunog uništenja; desetine takvih. Naše ugrađene mere bezbednosti - proveravanje valjanosti podataka na taj način što postavljajući pitanja za koja unapred znaš kakav odgovor bi trebalo da se pokaže kad se stvar isproba u praksi - dale su sasvim povoljne rezultate. U avgustu, zahvaljujući dodatnim podacima i još istančanijoj analizi, uspeali smo da sagledamo tri uzana vrhunca, celu porodicu ipson (ovog puta je to bio pravi ipson, a ne lažnjak): ipson, ipson prim i ipson dubl prim. Ni na koji način se ti podaci nisu mogli objasniti fizikom poznatom 1977. Na scenu je stupio kvark lepota (ili dno)!

Malo ili nimalo otpora pruženo je našem zaključku da smo videli stanje u kome je jedan novi kvark - nazivajte ga kvark b - vezan sa svojim parnjakom u 'anti' statusu. Džej-psi je bio cc mezon. Ipson je bb mezon. Pošto je masa ipsonske izbočine blizu 10 GeV, masa b kvarka mora biti blizu 5 GeV. Bio je to najteži kvark zabeležen dotad; c kvark je samo na približno 1,5 GeV. Takvi 'atomi' kao što su cc i bb stanje i razne pobuđene varijante. Naša tri vrhunca predstavljala su ono najniže, osnovno, nepobuđeno, i dva pobuđena stanja.

Jedna od zabavnih stvari kod ipsona bila je ta što smo i mi eksperimentalci mogli da ovladamo jednačinama ovog čudnovatog atoma, koji je sagrađen od jednog teškog kvarka što kruži oko jednog teškog antikvarka. Dobra stara Šredingerova jednačina radila je bez greške. Malo smo bacili pogled u naše studentske sveske, pa smo pojurili da pre teoretičara izračunamo energetske nivoe i druge odlike koje smo već izmerili. Baš smo se zabavljali... ali, teoretičari su pobedili.

Otkrića su uvek kvaziseksualni doživljaji. Kad je Džon Jou po 'bicikl-sistemu' stigao do prvog nagoveštaja da bi tu negde mogla biti ta grba, obuzelo me je ono (meni sada već dobro znano) osećanje silovite euforije, ali prožeto brigom da 'ne može biti da je stvarno

tako'. Prvi poriv je da javiš nekome, da kažeš ljudima. Ali kome? Našim ženama, najboljim prijateljima, deci, u ovom slučaju direktoru Fermilaba, Bobu Vilsonu, čijoj laboratoriji je bilo očajnički potrebno bar jedno otkriće nečega. Telefonirali smo našim kolegama koje su bile uz mašinu DORIS u Nemačkoj i zamolili ih da vide mogu li nekako da dostignu, na njihovom e+ e- kolajderu, energiju potrebnu za pravljenje ipsilona. DORIS je bila jedini drugi akcelerator na celom svetu koji je imao iole neku priliku da domaši tu energiju. Oni su tamo navalili na posao, izveli prava čuda mašinske veštine - i uspeli. Nova radost! (I olakšanje, ne malo.) Kasnije čovek počne da razmišlja o nagradama. Da li će ovo biti dovoljno?

Posao na postizanju ovog otkrića bio je traumatičan zbog požara koji nas je zaustavio posle prve nedelje dobrog rada. Maja 1977. jedna sprava koja meri struju u našim magnetima, sprava koju je, nema sumnje, isporučio neki jeftin proizvođač, zapalila se. Vatra se prenela na električne vodove. Požar u električnim instalacijama stvara hlorne gasove, a kada vaši prijatelji vatrogasci ulete sa šmrkovima i sve ispolivaju vodom, stvara se, u vazduhu, hlorovodonična kiselina, HCl, koja se spusti na sve tranzistorske kartice. I - počne polako da ih izgriza.

Spasavanje elektronike u takvim slučajevima je jedan oblik umetnosti. Prijatelji u CERN-u su mi ranije pričali o jednom takvom požaru kod njih, pa sam ih pozvao i pitao za savet. Dadoše mi ime i telefonski broj jednog holandskog majstora za to. On je radio za neku nemačku firmu, a živeo u središnjoj Španiji. Požar je bio u subotu. Sada je bilo 3 sata ujutro, nedelja. Iz moje sobe u Fermilabu zvao sam Španiju i dobio vezu sa tim čovekom. Da; doći će. U utorak će se stvoriti u Čikagu, a tovarni avion sa potrebnim materijalom stići će u sredu. Ali bez američke vize nema ulaska u ovu državu, a na vizu se obično čeka desetak dana. Pozovem američku ambasadu u Madridu i počnem da ih ložim: "Atomska energija, nacionalna bezbednost, milioni dolara su u pitanju..." Spoje me sa jednim ambasadorovim pomoćnikom. Tip sluša, nimalo impresioniran, sve do trenutka kad kažem da sam profesor na Kolumbiji. "Na Kolumbiji!" poviče on. "Što ne rekoste odmah! Ja tamo diplomir'o pedes' šeste! Recite Vašem drugaru da me pozove."

U utorak je stigao gospodin Jese (Jesse). Prvo je omirisao devet stotina kartica; na svakoj smo imali po 50 tranzistora (bila je to tehnologija iz 1975!). Šnjuf, šnjuf... U sredu su stigle hemikalije. Ali carina. Nove brige i nerviranja, ali Ministarstvo energije je pomoglo. U četvrtak smo imali uspostavljenu 'montažnu liniju': fizičari, sekretarice, supruge, naše devojkice - sve te osobe su imale dužnost da zamoče karticu u tajni rastvor A, zatim u B, zatim da osuše čistim gasovitim azotom, pa da iščetkaju četkama od kamilje dlake i najzad da slažu na gomilu. Napola sam očekivao da ćemo uz ovaj obred morati i da tiho ječimo neke holandske magijske inkantacije, ali ipak nije došlo baš do toga.

Jese je konjanik. Čovek se nastanio u Španiji da bi mogao da trenira sa španskom konjicom. Kad je doznao da imam tri konja, odjurio je da jaše sa mojom ženom i Fermilabovim konjičkim klubom. Pošto je pravi stručnjak, davao je pouke svima. Uskoro su se prerijski jahači savetovali između sebe kako najbolje izvesti leteće promene, pasaže, lavade, korbete i kapriole. Sada imamo uvežbanu fermilabovsku konjicu spremnu da brani laboratoriju ako neprijateljski konjički odredi iz SLAC-a i iz CERN-a krenu na nas.

Petak smo proveli instalirajući sve te kartice i proveravajući ih sve pomno, jednu po jednu. Subota, jutro: sve u punom pogonu, laboratorija radi. Nekoliko dana kasnije jedna hitra analiza pokazala je da se grbina još vidi. Jese je ostao još dve nedelje, jašući konje, šarmirajući narod i deleći savete o sprečavanju požara. Nikad od njega nismo dobili račun za obavljeni posao, ali hemikalije smo platili. I tako je, eto, svet dobio treće pokolenje kvarkova i leptona.

Ako je neki kvark na dnu, to bi trebalo da znači i da je neki na vrhu. To bi se na engleskom reklo top quark. (Ili, ako je taj na dnu 'lepota', a on je to ako vam se tako više sviđa, onda kažite da je onaj na vrhu 'istina'.) Nova periodna tablica sad izgleda ovako:

prvo  
pokolenje drugo



pokolenje treće  
pokolenje

#### KVARKOVI

gore (u) šarm (c) vrh (?) (t)  
dole (d) čudni (s) dno (b)

#### LEPTONI

elektronski neutrino (ne) muonski neutrino (nm) tau neutrino (nt)  
elektron (e) muon (m) tau (t)

Dok ispisujem ove redove, situacija je sledeća: kvark vrh još nije nađen. Tau neutrino takođe još nijednom nije opitno 'zakucan', ali niko stvarno ne sumnja u njegovo postojanje. Razni predlozi za opite sa tri neutrina, koji bi bili ojačane verzije onog sa dva neutrina, podnošeni su tokom godina u Fermilabu, ali svi su odbačeni zato što bi takav projekat stravično koštao.

Primitite da je grupa u donjem levom uglu naše tablice (ne-e-nm-m) uspostavljena dvoneutrinskim opitom 1962. godine. A kvark dno i tau lepton su (zamalo) upotpunili ovaj model, pred kraj sedamdesetih godina.

Ova tablica, kad joj se dodaju i razne sile, jeste rezime svih podataka koji su prikupljeni u svim akceleratorima počev od onog dana kad je Galilej puštao kugle nejednako teške da padaju sa maltene okomitog tornja u Pizi. Za ovu tablicu kažemo da je standardni model, ili standardna slika, ili standardna teorija. (Ovo upamtiti.)

Godina je 1993. Standardni model i dalje vlada, on je dogma fizike čestica. Mašine koje su u pogonu sada, u devedesetim godinama, ponajpre Fermilabov Tevatron i CERN-ov kolajder elektrona sa pozitronima (nazvan LEP - Large Electron-Positron Storage Ring), usmeravaju napore hiljada eksperimentatora prema svakom mogućem nagoveštaju o nečemu što bi moglo da leži izvan standardnog modela. Manje mašine u Kornelu, Brukhejvenu, zatim DESI, SLAC i KEK (u Cukubi, u Japanu) takođe pokušavaju da istančaju naše znanje o mnogim parametrima standardnog modela i da nađu naznake o nekoj dubljoj stvarnosti.

Ima posla; ima mnogo posla. Jedan zadatak je: istraživati kvarkove. Pamтите da u prirodi postoje samo dve vrste kombinacija: (1) kvark plus antikvark (piše se qq) - to su vam mezoni - i (2) tri kvarka zajedno (qqq) - to su vam barioni. Sad možemo da se igramo i da komponujemo hadrone kao što su uu, uc, ut i uc, ut, ds, db... Zabavljajte se! Takođe uud, ccd, ttb... Moguće su stotine kombinacija (neko negde i zna koliko). Sve su to čestice koje su ili otkrivene i stavljene u tablice ili čekaju da ih neko otkrije. Mereći masu raznih čestica, njihov životni vek i načine raspadanja, saznajemo sve više o jakoj kvarkovskoj sili za koju su posrednici prenosa gluoni, ali i o osobinama slabe sile. Ima mnogo da se radi.

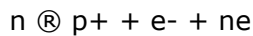
Još jedno slavno eksperimentalno otkriće zove se 'neutralne struje'. Ono je od bitnog značaja za našu priču o Božijoj čestici.

### **SLABOJ SILI PONOVO U POHODE**

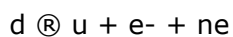
Tokom sedamdesetih godina prikupljeno je mnoštvo podataka o raspadanju nestabilnih hadrona. Ovo raspadanje je, zapravo, ispoljavanje pojedinih reakcija koje se događaju sastavnim kvarkovima - na primer, neki kvark gore se 'premetne' u dole, ili obratno. Još informativniji bili su rezultati više decenija vršenja opita sa rasipanjem neutrina. Svi ti podaci zajedno govorili su da slabu silu moraju prenositi tri masivne čestice-prenosioci: jedna bi bila W+, druga W-, a treća bi se zvala Z0. Morale su biti masivne zato što slaba sila ima veoma mali poluprečnik dejstva, ne dohvata dalje nego do, približno, 10-19 metara. Kvantna teorija nameće grubo pravilo koje kaže da se domašaj sile menja obrnuto srazmerno masi čestice-prenosioca. Elektromagnetna sila doseže u beskonačnost (iako postaje, sa povećanjem udaljenja, sve slabija), a njena čestica-prenosilac jeste foton čija je masa mirovanja jednaka nuli.

Ali zašto tri prenosioca sile? Zašto tri čestice-glasnika - od kojih je jedna pozitivno naelektrisan, jedna negativno, a jedna neutralna - da bi se širilo kroz prostor polje koje navodi kvarkove da prelaze iz jedne vrste u drugu? Da bismo ovo objasnili, moramo malo biti računovođe i knjigovođe fizike, i pri tome moramo paziti da ono levo od strelice ostane uvek jednako onome desno od strelice. To se odnosi i na znake naelektrisanja. Ako se, na primer, neutralna čestica raspadne na neke naelektrisane, onda među tim tako nastalim česticama ukupna količina pozitivnog mora biti jednaka ukupnoj količini negativnog naelektrisanja.

Za početak, evo šta se dešava kad se jedan neutron 'raskoka' na jedan proton i još nešto. To je tipičan proces za koji je 'odgovorna' slaba sila. Pišemo ga ovako:



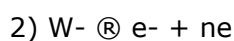
Već smo jednom ovo videli: jedan neutron raspadne se na jedan proton, jedan elektron i jedan antineutrino. Primećujete da na desnoj strani reakcije imamo pozitivni proton i negativni elektron koji se uzajamno poništavaju; a antineutrino je neutralan, nanaelektrisan. Sve se lepo uklopilo. Ali ovo je samo površan pogled na tu reakciju, kao kad gledate kako se jaje raspada i iz njega se pojavljuje ptičica. Niste uopšte videli šta je sve fetus radio unutra. Neutron je, zapravo, konglomerat tri kvarka - jednog gore i dva dole (udd); a proton je konglomerat dva gore i jednog dole (uud). Znači, kad se neutron raspadne i proizvede jedan proton, tom prilikom se jedan kvark dole preobrati u kvark gore. Zato je uputnije da pogledamo u neutron i opišemo šta se dešava sa tim kvarkovima. E, sad, ista ova reakcija može da se napiše kvarkovskim jezikom ovako:



Dakle, jedan kvark dole u neutronu pretvori se u jedan kvark gore, a pri tome emituje jedan elektron i jedan antineutrino. Međutim, čak i ovo je preveliko pojednostavljenje onoga što se stvarno dogodilo. Prava verzija događaja mora uzeti u obzir činjenicu da elektron i antineutrino ne iskaču neposredno iz kvarka dole. Postoji tu jedna međureakcija u kojoj jedna  $W^-$  čestica odigrava bitnu ulogu. Zato kvantna teorija slabe sile piše proces raspada neutrona kao događaj koji ima dve faze:



a tek posle toga



Opazite da se kvark dole raspada prvo u česticu  $W^-$  i u jedan kvark gore. Tek posle toga se ta  $W^-$  čestica raspada u elektron i antineutrino. Dakle,  $W^-$  je posrednik slabe sile i učesnik u reakciji raspada. U gornjoj reakciji to mora biti negativna  $W^-$  čestica, da bi se uravnotežila promena naelektrisanja koja se dogodila pretvaranjem  $d$  u  $u$ . Kad sabereš -1 naelektrisanje pomenute čestice  $W^-$  i  $+2/3$  naelektrisanje kvarka gore, dobiješ  $-1/3$ , a to je naelektrisanje kvarka dole koji je reakciju i pokrenuo. Sve se lepo uklapa.

U jezgrima, kvarkovi gore se takođe mogu raspasti u kvarkove dole, pri čemu se protoni pretvaraju u neutrone. Na jeziku kvarkova ovaj proces se opisuje ovako:  $u \rightarrow d + W^+$ , a posle toga nastupa  $W^+ \rightarrow e + \nu_e$ . Ovde nam je potreban pozitivan  $W^+$  da bi se uravnotežile promene električnih naboja. Dakle, opaženi raspadi kvarkova, u preobraćanjima neutrona u protone i obratno, zahtevaju postojanje i pozitivnog, ali i negativnog  $W$ . Ali ni to nije cela priča.

Opiti izvedeni sredinom sedamdesetih godina sa neutrinskim snopovima dokazali su postojanje 'neutralnih struja' koje, opet, zahtevaju da postoji i jedan neutralni prenosilac sile. Na ovakve opite navodili su nas teoretičari kao što je Glešou, koji su radili na objedinjenju sila i nervirali se zbog činjenice da su slabe sile, po svim dotadašnjim dokazima, zahtevale samo naelektrisane prenosiocice sile. Zato se digla potera za strujama koje bi bile neutralne.

Reč 'struja' u suštini znači bilo šta što struji, protiče. U reci ili u česmi imate vodenu struju. Struja elektrona protiče kroz žicu ili kroz neki rastvor. Čestice W- i W+ posreduju u 'proticanju' čestica iz jednog stanja u drugo; potreba da se prati kuda odlazi naelektrisanje i šta se dešava s njim verovatno je navela ljude da počnu govoriti da i tu postoji neka 'struja'. Čestica W+ posreduje u proticanju pozitivne struje; W- u proticanju negativne. Ove struje proučavamo u spontanim slabim raspadima, kao što su ovi upravo opisani. Ali one mogu biti stvorene i neutrinским sudarima u akceleratorima, što je moguće postići zato što su eksperimentatori u Brukhejvenu, u dvoneutrinском opitu, ovladali proizvodnjom neutrinских snopova.

Da pogledamo šta se dešava kad se muonski neutrino, ona vrsta koju smo otkrili u Brukhejvenu, sudari sa protonom - tačnije, sa nekim kvarkom jednoga protona. Sudar muonskog antineutrina sa kvarkom gore dovešće do nastanka jednog kvarka dole i jednog pozitivnog muona.



Ili, na svakodnevnom jeziku, muonski antineutrino plus kvark gore daje kvark dole plus pozitivni muon. To mu iziđe na sledeće: kad se neutrino i kvark gore čvaknu, gore postane dole, a neutrino postane muon. Ali opet, ono što se po teoriji slabe sile zaista dešava jeste jedan sled od dve reakcije:

- (1)  $nm \textcircled{R} W^- + m+$   
 (2)  $W^- + u \textcircled{R} d$

Antineutrino naleti na kvark gore i iz tog 'karambola' izleti kao muon. Gore se pretvara u dole, a posrednik u tom poslu jeste negativna W čestica. Znači, tu je proticala jedna negativna struja. E, da, ali još 1955. godine pojedini teoretičari (na primer Džulijan Švinger, koji je bio profesor Šeldonu Glešou) sagledali su da bi bilo moguće imati i neutralnu struju, ovako:



Pa, tu imamo iste stvari na obe strane; levo jedan muonski neutrino i kvark gore, a desno opet kvark gore i opet muonski neutrino. Pa, šta li se tu dešava? Dešava se to da neutrino udari u kvark gore i odskoči, ali izlazi iz te reakcije opet kao neutrino, a ne kao muon, što smo imali u prethodnoj reakciji. Kvark gore bude ćušnut, ali ostaje gore. Pošto je taj kvark gore deo jednog protona (ili neutrona), pomenuti proton, iako žestoko tresnut, ostaje proton. Ako bismo bacili pogled na tu reakciju samo ovlaš, površno, zaključili bismo da je jedan muonski neutrino udario u proton i naprosto, neizmenjen, odskočio. Ali događaj je kudikamo istančaniji od toga. U ranijim reakcijama videli smo da je bila potrebna ili negativna ili pozitivna W čestica da bi se pomoglo preobražavanje jednog kvarka gore u dole ili obratno; dok, međutim, ovde neutrino mora da emituje neku česticu-glasnika koja će da 'ritne' taj kvark gore. (Ujedno će neutrina 'progutati' vlastita čestica-glasnik.) Kad pokušamo da napišemo ovu reakciju, jasno vidimo da ta čestica-glasnik mora biti neutralna.

Ova reakcija je slična načinu na koji shvatamo električnu silu - na primer, između dva protona; događa se razmena jednog neutralnog prenosioca, koji je foton, a to dovodi do nastanka Kulonovog zakona o sili, koji dopušta jednom protonu da 'šutne' neki drugi proton. Ne događa se prelazak iz jedne vrste u drugu. Ova sličnost nije slučajna. Ovi što se bave unifikacijom (ne mislim na crkvu/sektu 'Velečasnog Muna' nego na Šeldona Glešoua i njegove drugare) moraju imati na raspolaganju jedan takav proces, ako žele da steknu makar i najminimalniju priliku da ikada objedine slabu silu sa elektromagnetnom.

Dakle, izazov za eksperimentatore bio je: možemo li izvesti neke reakcije u kojima se neutriini sudaraju sa atomskim jezgrima i izlaze opet kao neutriini? Presudni element u ovome morao bi biti taj da opazimo da se sudar dogodio. To znači da se po nečemu mora videti da je jezgro pretrpelo udarac. Postojali su neki dvosmisleni nagoveštaji takvih reakcija još u onom našem dvoneutrinском opitu u Brukhejvenu. Mel Švarc je za takve

slučajeve govorio da su 'ništarije': neutralna čestica uđe, neutralna čestica iziđe, i šta je tu bilo? Ništa. Nije se promenilo naelektrisanje. Doduše, jezgro bude razbijeno; ta sitnica se ipak desi. Ali naš neutrinski zrak u Brukhejvenu imao je srazmerno nisku energiju, otud Švarcova ljutnja da nam je to 'ništa'. Neutralne struje? Iz razloga kojih se ne mogu prisetiti, neko je negde odlučio da se neutralna čestica-prenosilac ima zvati Z0 (ze nula), a ne W0. Ali kad hoćete da ostavite jak utisak na svoje prijatelje, upotrebljavajte izraz 'neutralne struje', što tako dobro zvuči, a, zapravo, izražava zamisao da moramo imati neku nanaelektrisanu česticu-prenosioca koja će da 'šutne' i pokrene reakciju slabe sile.

## **VREME DA SE DIŠE BRŽE**

Da malo pregledamo šta su teoretičari u to vreme mislili.

Postojanje slabe sile prvi je primetio Fermi u tridesetim godinama. Kad je pisao svoju teoriju, Fermi ju je modelovao jednim delom prema kvantnoj teoriji polja za elektromagnetnu silu, koja je nazvana i kvantna elektrodinamika - QED. Fermi je pokušao da vidi da li bi ova nova sila, slaba, dejstvovala po dinamici starije sile, elektromagnetizma (starije u smislu da smo ranije saznali za nju). U QED-u, kao što ste zapamtili, polje nose čestice-glasnici, a to su fotoni. Zato je morala i Fermijeva teorija da ima neke čestice-glasnike. Ali kakve bi to čestice bile?

Foton ima masu nula, a to omogućava da se uzdigne na noge onaj slavni dalekodomni zakon obrnutih kvadrata rastojanja električne sile. Slaba sila imala je vrlo kratak domet, pa je Fermi, u suštini, naprosto prikačio svojim prenosiocima sile odliku da imaju beskonačno veliku masu. Logično, zar ne. Kasnije verzije Fermijeve teorije, a naročito Švingerova, uvode teške čestice W+ i W- kao prenosioc slabe sile. Nekoliko drugih teoretičara postupilo je na taj isti način. Da vidimo: Li, Jang, Gel-Man... Ne volim, nikako ne volim da odajem priznanje ma kom teoretičaru, jer zbog toga odmah počnu da se grizu i ljute 99 posto njih. Ako nekog teoretičara ponekad ne navedem, a očigledno je da sam uzeo zamisao od njega, to nije zato što sam zaboravio tu obavezu nego zato što ga mrzim.

Sad ovo što radim postaje osetljivo. U klasičnoj muzici postoji lajtmotiv, a to je neki motiv ili tema koji se ponavljaju više puta i uvek uvode neku zamisao, osobu ili životinju. Takav je u muzičkom delu Peđa i vuk onaj lajtmotiv koji nam govori da će Peđa u sledećim trenucima stupiti na pozornicu. Možda je za ovaj naš slučaj bolje upoređenje sa onim zloslutnim zvucima violončela u filmu Ajkula, zvuk koji najavljuje pojavu velike bele ajkule. Ja ću sad odsvirati prve tematske note raspleta ove knjige, daću prve znake o Božijoj čestici. Ali neću je pokazati celu odmah. Kao i u svakoj 'tiz' (izazovnoj) predstavi (kao što je striptiz), bolje je polako.

U poznim šezdesetim i ranim sedamdesetim godinama, nekolicina mladih teoretičara bacila se na proučavanje kvantne teorije polja, u nadi da proširi uspeh QED-a i na druge sile. Možda ste zapamtili da su u tom poslu postojala elegantna rešenja za delovanje na daljinu, ali da su iskrsele i matematičke nevolje: neke veličine koje bi trebalo da budu male i merive, u jednačinama su iskrsavale kao beskonačne. A beskonačno je, znate, baš mnogo. Fajnmen i njegovi prijatelji izmislili su postupak renormalizacije da bi kako-tako prikriili te beskonačnosti pomoću onih količina koje jesu izmerene - na primer, pomoću e i m, naelektrisanja i mase elektrona. Govorilo se da je QED renormalizabilna teorija. To znači, takva u kojoj se možeš otarasiti tih glupih beskonačnosti. Međutim, čim je kvantna teorija polja primenjena na tri druge sile - na slabu, jaku i na silu teže - nastupio je potpuni neuspeh. Tragedija, da se tako dobrim ljudima desi nešto tako. Kod te tri sile, beskonačnosti su podivljale i pobesnele toliko da je dovedena u pitanje korisnost sveukupne kvantne teorije. Neki teoretičari su onda zapeli da preispitaju QED ne bi li našli objašnjenje zbog čega (kod elektromagnetizma) ta teorija uspeva, dok druge teorije ne uspevaju.

Pomenuta teorija kvantne elektrodinamike (QED), ta supertačna teorija koja daje vrednost g tačno do jedanaestog decimalnog mesta, pripada klasi teorija za koje se kaže da su baždarske ('gejdž'). Taj termin 'baždarske' znači, u ovom okviru, razmere veličina, kao kad neko napravi za dečju železnicu šine takođe minijaturne, ali u tačnom obliku i

razmeri. Baždarska teorija iskazuje apstraktnu simetriju u prirodi, simetriju koja je vrlo blisko povezana sa opitnim činjenicama. Od ključnog značaja je članak Janga (C. N. Yang) i Roberta Milsa (Robert Mills) iz 1954. godine u kome je naglašena moć baždarske simetrije. Umesto da se predlažu sve nove čestice kojima bismo objašnjavali opažene pojave, govorilo se u tom članku, trebalo bi da tragamo za simetrijama koje će predskazati te pojave. Primenjena na QED, baždarska simetrija je bukvalno pravila elektromagnetnu silu, jemčila održanje naelektrisanja i još jemčila (bez doplate... stvarno jeftino) zaštitu od nekih - naime, od onih najgorih - beskonačnosti. Teorije koje se odlikuju baždarskom simetrijom jesu renormalizabilne. (Uvežbavati ovu rečenicu sve dok se ne postigne gladak i brz izgovor. Posle time oduševljavati društvo za vreme ručka.) Ali baždarske teorije podrazumevaju postojanje baždarskih čestica. Koje bi to mogle biti? Za QED, to su fotoni-glasnici; koje bi druge? Za slabu silu to su  $W^+$  i  $W^-$ . A za jaku silu? Pa, gluoni, dabome.

Neki od najboljih i najpametnijih teoretičara radili su na slaboj sili. Za ovo su imali dva, ne, tri razloga. Razlog broj jedan jeste taj što je u slaboj sili sve vrvelo od tih beskonačnosti; nije bilo jasno kako je prevesti u dohvat neke baždarske teorije. Drugi razlog: želja za unifikacijom, dakle objedinjenjem svih sila; Ajnštajn je toliko veličao i hvalio to usmerenje, a i ova grupa mladih teoretičara imala je to na umu. Naročito su se usredsredili na objedinjavanje slabe sa elektromagnetnom silom, a to je bio zastrašujući zadatak zato što je slaba sila ogromno slabija od električne, ima mnogo, mnogo kraći doseg i krši neke simetrije - na primer, parnost. A u svemu drugom te dve sile su savršeno jednake!

Treći razlog bio je taj što se znalo da velika slava i bogatstvo čekaju tipa koji reši tu zagonetku. Vodeći učesnici u trci bili su Stiven Vajnberg, koji je tada bio na Prinstonu; Šeldon Glešou, koji je sa Vajnbergom išao u istu naučnu sekciju u školi; Abdus Salam, pakistanski genije zaposlen u Imperijalnom koledžu u Engleskoj; Martinus Veldman u gradu Utrehtu u Holandiji; i Veldmanov student Žerar t'Huift. Neki matori teoretičari (preko trideset godina starosti) pripremili su pozornicu: Švinger, Gel-Man, Fajnmen. Okolo su se motali još neki; a bitne deonice na pikolo frulicama svirali su Džefri Goldston i Piter Higs.

Preskočićemo sve pojedinosti o teorijskim nadvikivanjima koja su trajala jedno petnaest godina, približno od 1960. do 1975, i preći ćemo pravo na ishod: renormalizabilna teorija slabe sile konačno je postignuta. U isto vreme nađeno je da brak slabe sa elektromagnetnom silom, to jest veza sa QED teorijom, sada izgleda kao prirodnija mogućnost nego ranije. Ali da bi se postiglo sve to, morala se sastaviti jedna zajednička porodica čestica-glasnika koje će prenositi (pazite) 'elektroslabu' silu. Tu objedinjenu porodicu čine  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  i foton. (Ali izgledaju kao ona mešovita porodica u kojoj polubrača i polusestre iz raznih ranijih brakova pokušavaju da žive u istom stanu, iako se niko ni sa kim ne slaže, a svi moraju da koriste isto kupatilo.) Nova teška čestica,  $Z^0$ , pomogla je da se zadovolje zahtevi baždarske teorije. Ta četvoročlana grupica zadovoljila je i sve zahteve koji proističu iz kršenja parnosti, ali i očiglednu slabost slabe sile. Čestice  $W$  i  $Z$  su predskazane još pre 1970. godine - dakle, u vreme kad ih još niko nije video niti je iko znao kakve bi reakcije  $Z^0$  mogla proizvesti.

Ali kako možemo govoriti o objedinjenoj elektroslaboj sili, kad svako dete u laboratoriji ume da pokaže ogromne razlike u ponašanju te dve - elektromagnetne i slabe?

Jedan problem sa kojim su se ovi stručnjaci suočili, svako u svojoj samoći, u nekoj kancelariji ili kod kuće ili na avionskom sedištu, bio je taj što su slaboj sili, zato što je kratkodometna, potrebni teški prenosioci sile. Ali teški glasnici (prenosioci) nisu ono što je baždarska teorija predvidela; osim toga, na pobunu su se digle i one beskonačnosti, zabijajući se kao oštar čelik u intelektualnu utrobu teoretičara. Osim toga, kako je moguće da tri teškaša,  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$ , postoje u srećnoj porodici sa fotonom koji masu uopšte i nema?

Piter Higs sa Mančesterskog univerziteta u Engleskoj dao nam je ključ - još jednu česticu, o kojoj ćemo uskoro više - a taj ključ je uzeo i iskoristio Stiven Vajnberg, koji je tad radio na Harvardu, a sad je u Teksasu. Naravno, mi vodoinstalateri koji tumaramo po laboratorijama nismo videli nikakvu simetriju slabe i elektromagnetne sile. To su

teoretičari dobro znali, ali su očajnički želeli da u osnovnim jednačinama ona iskrсне. Zato su nama nabacili zadatak da nađemo neki način da tu simetriju uvedemo, ali i da je prekršimo čim oni stignu da svojim jednačinama predskazuju kako će se koji naš opit završiti. Ovaj svet je savršen kad se gleda malo šire, apstraktno, vidite, samo kad se spustimo na nivo nekih tamo sitnica i začkoljica, onda postaje nesavršen, je l' tako? E, polako! Nisam ja smislio da to tako bude.

Evo kako stvar 'hoda'.

Vajnberg je, koristeći Higsov rad, otkrio mehanizam pomoću koga jedna grupa čestica-devica, koje nemaju nijedna nikakvu masu, a sve služe kao glasnice i sve zastupaju elektroslabu silu, mogu ipak da se ugoje (ali sad već govorim vrlo poetski) tako što će da žderu i prožderu izvesne neželjene sastojke iste ove Vajnbergove teorije. U redu? Nije u redu? Pa, shvatite - pomoću Higsove zamisli mi uništimo simetriju, i gle čuda! Obe W čestice i Z čestica dobiju masu, foton ostane ista ona devica kao što je i bio, a u pepelu uništene objedinjene teorije pojave se slaba sila i elektromagnetna sila. Masivne W i Z čestice gegaju se oko nas i izazivaju radioaktivne pojave i neke reakcije koje ponekad stanu na put neutrinu u njegovome preletu kroz čitavu Vaseljenu; za to vreme fotoni-glasnici dovode do pojave elektriciteta, a to je jedna pojava koju svi dobro poznajemo, mnogo volimo, a, bogami, i plaćamo. Eto. Radioaktivnost (slaba sila) i svetlost (elektromagnetizam) uredno (?) su povezane jedna sa drugom. Higsova zamisao ipak nije stvarno uništila nego je samo prikrila simetriju.

Samo jedno pitanje je ostalo. Zašto bi iko poverovao u sve te matematičke pričancije? Evo zašto. I 'Malecki' Veltman, kako ga zovu (a nije mali, naprotiv), i Žerar t'Huft dali su se na posao da okopaju istu tu baštu, možda malo temeljitije nego ovi pre njih, i uspeali su pokazati da ako izvedemo (još tajanstven) Higsov trik i razbijemo simetriju, nestaju i sve one beskonačnosti koje su toliko ranjavale teoriju, pa teorija izlazi kao nova, sasvim lepa i čista, renormalizovana.

Matematički gledano, u jednačinama se pojavio niz termina koji su imali takve predznake da su mogli i morali poništiti one druge, one neželjene termine koji su dovodili do beskonačnosti. Ali ne samo nekoliko, nego mnoštvo tih termina! Da bi se sistematično izborio sa svima njima, t'Huft je seo i napisao kompjuterski program, a onda je, jednog julskog dana godine 1971, gledao kako izlaze rezultati. Računar je ispisao neke složene integrale, a onda počeo od njih da oduzima neke druge složene integrale. Svaki od tih integrala, kad bi se razmatrao sam za sebe, odlutao bi do beskonačno velikih rezultata. Ali kad su oduzeti jedan od drugog, pojavio se ukupan rezultat: 0. Tako za prvi termin, tako za drugi, i redom, uvek nula. Sve one beskonačnosti su nestale. To je bila t'Huftova doktorska teza, koja mora, kao i De Brojlijeva, da se smatra za jednu od teza koje su izmenile istoriju.

## **NAĐITE ZE NULA**

Toliko o teoriji. Da je zamršena - jeste. Ali mi ćemo joj se vratiti kasnije, a jedno čvrsto pedagoško saznanje koje sam stekao tokom četrdeset godina nastavničkog rada (sa učenicima u rasponu od bruća do mladih doktora fizike) glasi: čak i ako pri prvom pokušaju učenja đaci 97 posto gradiva ne uspeju da shvate, u drugom pokušaju gradivo će im biti ipak, nekako, malčice poznato.

Kakve je posledice imala sva ova teorija po stvarni svet? One veličanstvene implikacije moraće da sačekaju na osmo poglavlje. Neposredna posledica, godine 1970, za eksperimentatore bila je ta da mora postojati čestica Z0 da bi sve moglo da dejstvuje. Ako je Z0 čestica, moramo je naći; tako smo rekli sebi. Naravno, Z0 je električno neutralna, nije ni pozitivna ni negativna; po tome je kao njena polusestra, foton. Ali za razliku od fotona, koji nema masu, Z0 bi morala biti veoma teška, kao njena dva brata, blizanci W. Zadatak je pred nama bio jasan: tragaj za nečim što liči na foton, ali težak.

U mnogim opitima, pa i nekim mojim, tragalo se za W česticama. Zavirivali smo u sudare neutrina i nismo videli ništa, ali smo taj neuspeh pripisali uverenju da je masa W veća od 2 GeV. Da je W lakši od toga, morao bi 'pokazati nos' već u našem drugom nizu neutrinskih opita u Brukhejvenu. Zavirivali smo u sudare protona. Nema W. Znači, masa

im mora biti veća i od 5 GeV. Teoretičari su takođe imali neka mišljenja o odlikama W i pominjali su stalno sve veću masu; kasno u sedamdesetim godinama počeli su nagađati da bi masa W čestice morala biti negde oko 70 GeV. A to je bilo daleko previsoko za mašine onoga doba.

Nego, da se vratimo čestici Z<sup>0</sup>. Neutrino udari u jezgro nekog atoma i 'prospe se'. Ako iz sebe izbacijednu W<sup>+</sup> česticu, pretvori se u muon. (Antineutrino će iz sebe da izbacijednu W<sup>-</sup> česticu.) Ali ako bi mogao iz sebe izbacijednu Z<sup>0</sup>, ostao bi neutrino. Kao što smo pomenuli, pošto pratimo ove izmene leptona, a nigde u njima ne vidimo promenu naelektrisanja, kažemo da su ovo neutralne struje.

Pravi opit za otkrivanje neutralnih struja nije lak. Potpis je jedan nevidljivi neutrino koji ulazi, kao i jedan nevidljivi neutrino koji izlazi, zajedno sa pregršt hadrona iz pogođenog nukleona. I šta vidiš na detektoru, samo tu hrpicu hadrona, a to nije osobito impresivno. Jer, isti učinak bio bi i ako je zalutao neki neutron iz pozadine. U CERN-u je jedna divovska mehurna komora nazvana Gargamel počela da radi pod udarom neutrinskog zraka godine 1971. Akcelerator je bio PS, mašina od 30 GeV koja je proizvodila neutrine od oko 1 GeV. Već 1972. godine ova CERN-ova grupa bila je uveliko na tragu događaja bez muona. U isto vreme, nova Fermilabova mašina slala je neutrine od 50 GeV prema masivnom detektoru elektronskih neutrina. Detektorom su upravljali Dejvid Klajn (David Cline) sa Viskonsinskog univerziteta, Alfred Man (Alfred Mann) sa Pensilvanijskog univerziteta i Karlo Rubija (sa Harvarda, CERN-a, iz severne Italije, Alitalije...).

Ne možemo toj priči posvetiti onoliko prostora koliko ona zaslužuje. Puna je juriša i zahuktalosti, dirljivih ljudskih privatnih okolnosti, kao i sociopolitike nauke. Preskačemo sve to skupa i naprosto kažemo da je grupa sa Gargamela objavila godine 1973, mada ne baš kategorično, da je primetila neutralne struje. I u Fermilabu je ekipa Klajn-Man-Rubija imala neke podatke koji su bili 'ni tamo ni ovamo'. Pozadinski šum koji je ometao posmatranje bio je vrlo jak, a dobijeni signali nisu bili baš neki 'nokauteri'. Ta trojica su zaključila da su možda našla neutralne struje, ali su onda povukla tu izjavu. Onda su povukla povlačenje. Ovo njihovo hoću-neću jedan neozbiljan čovek opisao je kao 'naizmeničnu neutralnu struju'.

Doguralo se nekako do godine 1974. i do konferencije u Londonu zvane 'Ročester' (održava se svake druge godine: bijenale fizike). Stvar je bila raščišćena: cernovci su imali opažene neutralne struje, fermilabovci uverljive dokaze o svom signalu. Ti dokazi su kazivali da 'nešto nalik na Z<sup>0</sup>' mora postojati. Ali ako ćemo govoriti strogo po pravilima, to nešto je stvarno otkriveno tek devet godina kasnije. Slava za ovo otišla je CERN-u, godine 1983. Tamo je Z<sup>0</sup> opažen neposredno. Masa? Čestica Z<sup>0</sup> bila je uistinu teška: 91 GeV.

Uzgred rečeno, do sredine 1992. godina LEP mašina u CERN-u registrovala je više od dva miliona čestica Z<sup>0</sup>. Podaci su prikupljeni u četiri džinovska detektora. Na proučavanju čestica Z<sup>0</sup>, njihovog nastajanja i kasnijeg raspadanja, o čemu se tamo pribavlja pravo bogatstvo podataka, zaposleno je sada nekih 1.400 fizičara. Setite se kako je Ernest Raderford otkrio alfa-čestice, objasnio ih i odmah se dao na posao da pomoću njih otkriva jezgro. Mi smo isto učinili sa neutrinima; neutrinski zraci su danas, vidite, industrija pomoću koje pronalazimo čestice-glasnike, proučavamo kvarkove i radimo još neke korisne stvari. Jučerašnja fantazija je današnje otkriće i sutrašnja alatka.

## **JAKOJ SILI PONOVO U POHODE: GLUONI**

Bilo nam je u sedamdesetim godinama potrebno još jedno otkriće da bismo upotpunili standardni model. Imali smo kvarkove, ali oni se tako jako vezuju jedan za drugoga da slobodni kvark uopšte ne postoji. Koji je mehanizam tog vezivanja? Odgovor smo potražili u kvantnoj teoriji, ali uzalud. Bjorken je objasnio one rezultate ranih opita u Stenfordu u kojima se elektroni odbijaju od pojedinih kvarkova u protonu kada ih pogode. Način na koji se tada elektroni rasipaju pokazivao je da, kakva god to da je sila, ona drži kvarkove iznanađujuće slabo kada su jedan drugome blizu.

Ovo je bio uzbudljiv rezultat zato što smo želeli da primenimo baždarsku simetriju i ovde. Baždarske (to jest, 'gejdž') teorije uspevale su da predvide kontraintuitivnu zamisao da neke sile deluju iz blizine vrlo nejasno, ali zato sve jače i jače kad čestice počnu da se udaljavaju. Taj proces su otkrili neki klinici, deca praktično, Dejvid Policer (David Politzer) sa Harvarda i Dejvid Gros (David Gross) i Frenk Vilček sa Prinstona, a dali su mu naziv na kome bi pozavideo svaki političar: asimptotska sloboda. Reč 'asimptotski' znači otprilike 'ono što prilazi sve bliže i bliže, i zauvek tako, ali nikada neće dodirnuti'. Kvarkovi imaju asimptotsku slobodu da zamalo odu napolje. Kad se jedan kvark približava drugom kvarku, slaba sila između njih postaje sve slabija i slabija. Ovo znači, paradoksalno, da kad su veoma blizu jedan drugome, kvarkovi mogu da se ponašaju maltene kao da su slobodni. Ali kad se stanu jedan od drugog da udaljavaju, sila koja ih vezuje postaje sve jača... Manja udaljenja trebalo bi da budu znak visokih energija, što bi značilo da jaka sila postaje slabija pri višim energijama. Po tome je ona potpuno suprotna električnoj sili. (Stvari postaju sve čudnoludnije, reče Alisa.) Što je još važnije, i jakoj sili treba čestica-prenosilac, kao i drugim silama. Neko se negde setio da toj čestici nalepi naziv gluon. Ali jedno je nadenuti nečemu naziv, a drugo je to i poznavati.

Jedna druga zamisao, koja je odavno zveketala (kao zrno graška u praznoj kanti) po teorijskoj literaturi, postala je sada relevantna. Naziv joj je dao Gel-Man. Zove se boja, što mi u Americi pišemo color, a oni tamo u Evropi sa jednim slovom više, colour. Ali, dabome, nema ni najblaže veze sa bojom u onom normalnom smislu reči - to jest, sa onim što ti i ja mislimo kad u svakodnevnom životu kažemo 'boja'. To je naprosto način da se objasne neki rezultati opita i da se predvide drugi. Na primer, boja objašnjava kako to proton može da ima dva kvarka gore i jedan dole, kad Paulijevo načelo izričito zabranjuje dva jednaka objekta u istom stanju. Ako je jedan od kvarkova gore plav, a drugi zelen, smirili smo i Paulijevo načelo. Boja daje jakoj sili svojevrsnu podelu, nalik na ono kako je elektricitet podeljen na plus i minus.

Moraju postojati tri boje, proglasio je Gel-Man, a za njim i drugi koji su obdelavali taj vrt. Pamtim kako su Faradej i Ben Frenklin zaključili da elektricitet dolazi u dva 'stila' i da se jedan stil ima zvati plus, a drugi minus. Kvarku su potrebna tri 'stila'. Zato sad svi kvarkovi, bez izuzetka, jesu neke boje. Možda je ova zamisao o bojama ukradena sa slikarske palete zato što postoje samo tri osnovne boje. Bolja bi analogija mogla biti ova: da zamislimo električni naboj kao da je nešto jednodimenziono - dakle, linija po kojoj se može ići u plus smeru ili u minus smeru, a da je kvarkovska boja nešto 'trodimenziono', to jest da tu postoji koordinatni sistem sa tri ose od kojih je jedna crvena, druga plava i treća zelena. Boje objašnjavaju zbog čega kvarkovi ne mogu da se pojave u prirodi ni u kakvim drugim kombinacijama osim jedan kvark plus jedan antikvark (tako su sagrađeni mezon) ili tri kvarka zajedno (barioni). Evo zašto: samo te kombinacije ne pokazuju boju. 'Kvarkovitost' iščezne sa vidika kad zurimo u mezon ili u barion. Crveni kvark se udruži sa anticrvenim antikvarkom i proizvede mezon, koji je bezbojan zato što se crveno i anticrveno međusobno poništavaju. Slično tome, crveno, plavo i zeleno - pokušajte da obojite trećinu jednog točka u crveno, trećinu u plavo i trećinu u zeleno pa da ga jako zavrtite i biće vam jasno - kad se izmešaju daju belo. A belo znači, opet, da nema boje.

Iako postoje ti fini razlozi za upotrebu reči 'boja', ta reč ovde nema nikakvo bukvalno značenje. Nisu to nikakve stvarne boje, mi to samo opisujemo još jednu apstraktnu odliku koju su teoretičari pripisali kvarkovima da bi objasnili stalno rastuće količine podataka. Mogli smo nazvati te tri odlike Tom, Dik i Hari, a ne crveno, plavo i zeleno; ili smo ih mogli nazvati A, B i C, sasvim svejedno. Ali nekome se, valjda, učinilo da je 'boja' lepša (živopisnija?) kao metafora. Završilo se tako da boje, baš kao i kvarkovi i gluoni, ostaju (čini se) za večita vremena u crnoj kutijici; to su apstraktni entiteti koji nikada neće navesti nijedan Gajgerov brojač da se oglasi onim svojim zvukom "klik!" - neće nikada ostaviti trag ni u jednoj mehurastoj komori, neće nikada zagolicati nijednu žičicu ni u jednom elektronskom detektoru.

Predstava da jaka sila postaje sve slabija dok se jedan kvark drugome približava bila je uzbudljiva sa stanovišta daljeg objedinjavanja sila. Dok se razdaljina između dve čestice smanjuje, povećava se njihova relativna energija (mala razdaljina znači veliku energiju). Ova asimptotska sloboda implicira da jaka sila postaje pri sve višim



energijama sve slabija. Tragači za objedinjenjem tako su dobili nadu da bi, pri dovoljno visokoj energiji, snaga jake sile mogla da se smanji toliko da postane bliska elektroslaboj sili.

A čestice-prenosioci? Kako da opišemo česticu koja nosi i silu i boju? Ispostavilo se da svaki gluon nosi dve boje, i to jednu boju i njenu antiboju; kada neki kvark emituje iz sebe gluon, ili kada ga apsorbuje, tom prilikom se promeni boja tog kvarka. Na primer, crveno-antiplavi gluon preokrene crveni kvark u antiplavi. Ova razmena je izvoriste jake sile, pa je Marej Glavni Imenovatelj celoj teoriji dao naziv kvantna hromodinamika (quantum chromodynamics, QCD), što je lep naziv, u rezonanciji sa kvantnom elektrodinamikom - QED. Zadatak menjanja boja znači da moramo imati pri ruci dovoljno gluona za sve moguće kombinacije. Pokazalo se da je osam gluona dovoljno. Ako pitate teoretičara "Zašto osam?" - on će prozboriti mudro: "Zato što je osam devet manje jedan."

Naša nelagodnost zbog činjenice da niko nikada nije video nijedan kvark izvan nekog hadrona bila je samo malo ublažena fizičkom slikom koja objašnjava razloge za takvo neprestano zatočeništvo. Kad su jedan drugome blizu, kvarkovi deluju srazmerno slabo jedan na drugoga. Tu su prostori slave za teoretičare, jer oni u tim prostorima mogu da izračunavaju odlike kvarkovskog stanja i uticaje kvarkova na opite sa sudarima. Međutim, kad kvarkovi počnu da se razmiču, sila postaje sve jača, a energija potrebna za dalje razmicanje naglo se povećava; mnogo pre nego što bismo uspeli stvarno da otrgnemo jedan kvark od drugog, toliki priliv energije dovešće do stvaranja novog para kvark-antikvark. Ova čudnovata odlika proishodi iz činjenice da gluoni nisu jednostavni, glupi prenosiooci poruka. Oni i jedan na drugoga deluju silom. U tome se QCD razlikuje od QED jer fotoni jedni druge prenebrejavaju.

Ipak, postoje i mnoge bliske analogije između QED i QCD, naročito na području visokih energija. Uspesi teorije QCD dolazili su lagano, malo-pomalo, ali postojano. Pošto proračuni za onaj nejasni dalekometni deo jake sile nisu nikad sasvim tačni, mnogi opiti su zaključeni prilično mutnim saopštenjem da "naši rezultati jesu saglasni sa predviđanjima QCD".

Kakva nam je to uopšte teorija kad nikad, ni za celu večnost, nećemo videti ni jedan jedini slobodan kvark? Umemo da izvodimo opite da osetimo prisustvo pojedinih elektrona i da ih izmerimo, i to na različite načine, čak i kad su vezani u atomima. Možemo li tako isto sa kvarkovima i gluonima? Bjorken i Fajnmen su predložili da u veoma tvrdim sudarima čestica može da se dogodi da kvark kome je dodato obilje energije pojuri napolje, ka slobodi, i upravo pre nego što bi se otrgao uticaju svojih ortaka, drugih kvarkova, uspe da se maskira (da se preruši) u uzani mlaz hadrona - tri ili četiri ili osam piona, na primer, možda uz dodatak ponekog kaona ili čak nukleona. Sve te čestice poletele bi pravo napred, onom putanjom kojom je kvark-roditelj želeo da pođe. Ovoj pojavi dat je naziv 'mlazevi' i potraga je krenula.

Sa mašinama iz sedamdesetih godina, ove mlazeve nije bilo lako razlikovati od drugih čestica zato što smo mogli da proizvodimo samo kvarkove koji su prilično spori, iz kojih onda izleti slabo zbijen, 'raširen' mlaz, a u tom mlazu samo mali broj hadrona. Želeli smo guste, zbijene mlazeve. Prvi uspeh u ovome postigla je jedna žena, eksperimentatorka Geil Hanson (Geil Hanson), doktor fizike sa MIT-a, koja je tad radila na SLAC-u. Njena pomna statistička analiza pokazala je da se jedna korelacija hadrona zaista pojavljuje u kršu i lomu posle 3 GeV sudara  $e^+ e^-$  u SPEAR-u. Hansonovoj je pomogla činjenica da su u sudar uletala samo dva elektrona, a iz sudara izletali samo jedan kvark i jedan antikvark spregnuti 'leđa uz leđa' da bi očuvali impuls. Korelacija mlazeva pokazala se samo malo, ali dovoljno da to bude odlučujuće u analizama Hansonove. Dok smo Demokrit i ja onomad sedeli u kontrolnoj sali CDF-a, na velikom ekranu je svakih nekoliko minuta blesnula po jedna takva pojava: dva iglasta mlaza sa po desetak hadrona, jedan mlaz usmeren na jednu stranu, a drugi 180 stepeni otklonjen od toga, to jest sasvim suprotno. Nema razloga da se pojavi takva struktura, osim ako je svaki takav mlaz zbačen sa po jednog kvarka koji je imao vrlo visoku energiju i vrlo veliki impuls i želeo da se lepo obuče za izlazak.

Ali glavno otkriće do koga je u sedamdesetim godinama došlo u vezi sa ovim stvarima postignuto je na  $e^+ e^-$  mašini PETRA u Hamburgu, u Nemačkoj. Ta mašina, koja postiže

sudare sa ukupnom energijom 30 GeV, pokazala je takođe, bez potrebe za ikakvom statističkom analizom, ovu dvomlaznu strukturu. Čovek je u tim podacima mogao maltene da vidi i same kvarkove. Međutim, primećeno je još nešto.

Jedan od četiri detektora u mašini PETRA imao je svoj skraćeni naziv TASSO (Two-Armed Solenoidal Spectrometer). Tasovci su tragali za događajima u kojima bi se pojavila tri mlaza hadrona. Jedna od posledica teorije QCD jeste ta da kad se  $e^+$  i  $e^-$  anihiliraju i stvore jedan kvark i jedan antikvark, postoji i razumna verovatnoća da će jedan od ta dva kvarka koji izlaze iz te reakcije izračiti i jednu česticu-prenosioca, gluon. Tu ima dovoljno energije da se 'virtuelni' gluon pretvori u stvarni gluon. Gluoni su stidljiva stvorenja, kao i kvarkovi, i zato se kao i kvarkovi obuku u znatnu količinu odeće u trenutku kad nameravaju da iziđu iz crne kutijice, kako nazivamo prostor u kome se sudar dešava. Ta količina odeće poleti napred... Eto trećeg uzanog mlaza hadrona. Ali za ovo je potrebno više energije.

Tokom 1987. pokušaji na mašini PETRA sa ukupnom energijom od 13 i od 17 GeV nisu dali ništa, ali na 27 GeV nešto se desilo. Ovu analizu vodila je takođe jedna žena, Sau Lan Vu (Sau Lan Wu), koja je profesor na Viskonsinskom univerzitetu. Njen program ubrzo je otkrio više od četrdeset događaja u kojima su se pojavila po tri mlaza hadrona. Broj tragova (to jest, čestica) u svakom od ta tri mlaza bio je između tri i deset. Prostorni raspored tri mlaza bio je kao onaj ukras na haubi automobila mercedes.

Ona druga grupa petrijevac ukrcala se uskoro na ova kola uspeha. Pregledali su i oni iz početka sve svoje podatke i našli tromlazne događaje. Godinu dana kasnije broj snimljenih tromlaznih događaja popeo se na hiljade. Tako je gluon 'viđen'. Obrazac tragova prvo je izračunao teoretičar Džon Elis (John Ellis) na CERN-u, oslanjajući se na QCD; treba priznati da je Elis u dobroj meri zaslužan za podsticanje eksperimentatora da se ovim tromlazezima pozabave. Saopštenje da je gluon otkriven dato je na konferenciji u Fermilabu, u leto 1979, a meni je dopala dužnost da na televizijskom šou Fila Donahjua u Čikagu objasnim otkriće. Ja odem tamo i utrošim više energije da objasnim da oni bizoni na livadama iznad nas nisu mehanizam za rano upozoravanje na opasnost od zračenja. Ali fiziци su važnija vest bili, ipak, gluoni, koji su bozoni, a ne bizoni.

I tako sada imamo sve čestice-prenosiocе, ili baždarske ('gejdž') bozone, kako se to eruditskije kaže. (Da 'gejdž' dolazi od gejdž simetrije, to sam već objasnio, a reč 'bozon' izvedena je iz imena indijskog fizičara S. N. Bozea /S. N. Bose/ koji je opisao tu klasu čestica sa celobrojnim vrednostima spina.) Sve čestice materije imaju spin 1/2 i zovu se fermioni, a sve čestice-prenosioci imaju spin 1 i zovu se bozoni. Mi smo neke pojedinosti preskočili. Na primer, Ajnštajn je 1905. predvideo postojanje fotona, a Artur Kompton je 1923. i opazio foton pomoću rendgenskih zraka koji su se sudarali sa atomskim elektronima i rasipali se. Neutralne struje otkrivene su sredinom sedamdesetih godina, ali su čestice W i Z neposredno opažene tek školske 1983/84, kada su otkrivene u CERN-ovom hadronskom kolajderu. Kao što sam pomenuo, gluoni su pouzdano opaženi 1979.

U ovoj dugoj raspravi o jakoj sili trebalo bi da istaknemo da jaku silu određujemo kao silu koja deluje između kvarkova (to jest, to je sila kvark-kvark), a prenose je gluoni. A gde nam se izgubila ona 'stara' jaka sila koja je dejstvovala između neutrona i protona? Sada je razumemo kao preostalo dejstvo gluona, koji malo, kao, cure iz neutrona i protona i time spajaju atomsko jezgro u jednu celinu. Stara jaka sila koja je bila dobro opisana kao razmena piona sada je sagledana kao posledica izvesnih složenih događanja između kvarkova i gluona.

## **NEMA DALJE?**

Ulazeći u osamdesete godine, sagledali smo sve čestice materije (kvarkove i leptone), a prilično čvrsto smo zgrabili u šake i čestice-prenosiocе (baždarske bozone) triju sila - svih sila osim gravitacije. Kad česticama materije pridodate i čestice sila, imate potpun standardni model, skraćeno nazvan SM. Dakle, 'tajna Vaseljene' je pred vama, izvolite pa je pročitajte:

MATERIJA

prvo  
pokolenje drugo  
pokolenje treće  
pokolenje

KVARKOVI  
u c (t)(?)  
d s b

LEPTONI  
ne nm nt  
e m t

SILE  
BAŽDARSKI BOZONI  
elektromagnetizam foton g  
slaba sila W+ W- Z0  
jaka sila osam gluona

Znamo da je svaki kvark u nekoj od tri moguće kvarkovske boje. Znači, ako baš hoćemo da budemo zli, možemo da nabrojimo osamnaest kvarkova, pa tek posle toga šest leptona. Zatim prelazimo na silu i nabrajamo dvanaest čestica-prenosioca, koje prenose silu - a one su baždarski bozoni. Međutim, za onaj gornji deo tablice, onaj na koji se odnosi reč MATERIJA, postoji i antitablica, to jest tablica sa antičesticama svih tih čestica. Zbir svega toga jeste: šezdeset čestica. Ali držite se vi ove tablice koju vidite ispred sebe; sasvim je dovoljno da znate toliko. Uvereni smo da konačno imamo Demokritove a-tome. To su kvarkovi i leptoni. A tri sile i njihove čestice-prenosioci daju ono Demokritovo 'stalno silovito kretanje'.

Mogao bi neko kazati da je s naše strane nadmeno što pokušavamo da sažmemo celu Vaseljenu na jednu tablicu. (Koja nije baš ni sređena kako treba.) Ali izgleda da ljudska bića imaju jaku potrebu da prave takve sinteze; u istoriji Zapada stalno iskrsavaju nekakvi 'standardni modeli'. Ovaj sadašnji standardni model dobio je taj naziv tek u sedamdesetim godinama, i to je jedini takav naziv u istoriji fizike novog doba. Ali bez sumnje, u ranijim epohama bilo je standardnih modela, i te kako. Na sledeće dve stranice videćete nekoliko njih.

Zašto je naš standardni model nepotpun? Jedna očigledna rupa u njemu jeste kvark vrh (t) koji još nije opažen. Drugi zjapeći nedostatak jeste taj što u modelu nema sile gravitacije. Niko zasad ne zna kako da ugradimo tu veličanstvenu staru silu u ovaj model. Estetski gledano, model je ružan zato što nije dovoljno jednostavan - trebalo bi da više liči na ono Empedoklovo: zemlja, vazduh, vatra i voda, plus ljubav i borba. U ovom standardnom modelu ima previše parametara, previše obrtnih prekidača koje možemo da zavrćemo levo, desno, levo, desno...

Ovo ne znači da standardni model nije jedno od velikih dostignuća nauke. On je ishod rada mnogih momaka (i devojaka) koji su rmbali do kasno u noć. Ima on svoju lepotu i svoj široki obuhvat, mora se priznati; pa ipak, ostaje nam osećanje da 'to nije to', da bi trebalo naći nešto jednostavnije, nešto što bi oduševilo i drevne Grke.

Slušajte: čujete li kako iz vakuuma dopire smeh?

STANDARDNI MODEL: ubrzana istorija

Neimari Datumi Čestice Sile Ocena Komentari

Tales iz Mileta 600. pre Hrista voda ne pominje B- Prvi koji je objasnio svet pomoću prirodnih sila, a ne bogova. Zamenio mitologiju logikom.

Empedokle iz Akragana 460. pre Hrista zemlja, vazduh, vatra i voda ljubav i borba B+ Došao na zamisao da ima nekoliko različitih vrsta 'čestica' koje se kombinuju i tako daju sve vrsta materije.

Demokrit iz Abdere 430. pre Hrista nevidljivi, nedeljivi atomos, dakle a-tom stalno silovito kretanje A Iako je njegov model predvideo preveliki broj različitih vrsta čestica, pri čemu bi se svaka vrsta odlikovala svojim oblikom, ipak je Demokritova osnovna zamisao, o a-tomu koji ne može nikad biti presečen, i do danas ostala kao definicija elementarne čestice.

Isak Njutn iz Engleske 1687. neprobojni tvrdi atomi koji imaju masu u kosmosu gravitacija, u atomima nepoznate sile C Voleo je atome, ali nije doprineo istraživanju o njima. Njegova gravitacija sada, godine 1993, zadaje velike glavobolje velikim momcima.

Ruđer Josip Bošković iz Dalmacije 1760. 'tačke sile', nedeljive, bez oblika i dimenzija privlačne i odbojne sile koje deluju između tih tačaka B+ Njegova teorija bila je nepotpuna i ograničena, ali zamisao o česticama koje će imati poluprečnik jednak nuli i izgledati kao tačka, a ipak stvarati oko sebe 'polja sila', ključ je za celokupnu modernu fiziku.

Džon Dalton iz Engleske 1808. atomi kao osnovni delići svakog hemijskog elementa: atom ugljenika, atom kiseonika i tako dalje sile privlačenja između tih atoma C+ Nerazumno se zaletio upotrebljavajući baš tu reč, 'atom' za nešto što, ipak, nije nedeljivo. Ali, barem je vretio tu Demokritovu reč u život. Osim toga, dao je dobar nagoveštaj za dalja istraživanja time što je rekao da se atomi razlikuju po težini, a ne kao što je Demokrit mislio, po obliku.

Majkl Faradej iz Engleske 1820. električni naboji elektromagnetizam (plus gravitacija) B Primenio je atomističko učenje na elektricitet, tako što je nagađao da 'telašca elektriciteta' (elektroni) sačinjavaju električnu struju.

Dmitrij Ivanovič Mendeljejev iz Sibira 1870. periodna tablica hemijskih elemenata nije se bavio spekulacijama o silama B Prihvatio je Daltonov koncept i organizovao sve poznate hemijske elemente u jedan periodni sistem koji je snažno ukazivao na to da postoji neka dublja, osmišljena struktura.

Ernest Radeford sa Novog Zelanda 1911. nuklearna (jaka) sila plus elektromagnetizam plus gravitacija nuklearna (jaka) sila plus elektromagnetizam plus gravitacija A- Otkrivši jezgro, otkrio je i jednu novu jednostavnost u svim Daltonovim atomima.

Bjorke, Fermi, Fridman, Gel Man, Glenšou, Kendal, Lederman, Perl, Rihter, Švarc, Stajnberger, Tejlor, Ting, i glumački ansambl sastavljen od još mnogo hiljada drugih 1992. šest kvarkova (ali svaki postoji u tri razne boje) i šest leptona. Ali i antičestice tih pomenutih dvanaest elektromagnetizam, jaka sila, slaba sila: dvanaest čestica prenosioca sile, plus gravitacija nema ocene, nisu završili 'Guffao' (Smeje se.) Ko se smeje? Pa, Demokrit iz Abdere.

## 8. KONAČNO - BOŽIJA ČESTICA

I Boginja dole pogleda, na svet svoj, i bi zadivljena lepotom njegovom - jer tu lepote beše toliko da se Ona rasplaka. To svet sa samo jednom vrstom čestica beše i samo jednom silom prenošenom pomoću samo jedne čestice-nosioca, koja je, u božanskoj jednostavnosti, ujedno i ta pomenuta, jedina čestica bila.

I vide Boginja da je taj svet predivotni koji je stvorila pomalo i dosadan. Zato poče Ona izračunavati i smeškati se, i dozvoli Svojoj Vaseljenu da se raširi i počne hladiti. I gle, ohladi se toliko Vaseljenu da u njoj proradi Boginjin agent verni i oprobani, Higsovo polje, koje pre hlađenja ne mogaše izdržati neverovatnu vrelinu Postanja. A pod uticajem Higsu, čestice počeše usisavati energiju iz okolnog polja i tako energijom napunjene, masivne postajati. Svaka je čestica rasla na svoj način, ne sve isto. Neke dobiše neverovatno veliku masu, neke samo malenu, a neke ni najmanju. I dok je ranije samo jedna čestica bila, sad ih dvanaest nastade, i dok su ranije nosilac i čestica bili isto, sad se razdvojiše u različite, i dok ranije samo jedan prenosnik sile i samo jedna sila beše, sad se pojaviše četiri sile i dvanaest prenosilaca, i dok ranije beše divota bez kraja, ali i bez smisla, sada se Demokratska stranka i Republikanska pojavi.

Pogleda Boginja šta je od njenog sveta ispalo i obuze je smeh nezadrživ i neodoljiv. Pozva Ona Higsu, uzbilji se malo, pa mu strogo prozbori:

"Što uništi simetriju sveta, grešniče?"

A Higs, užasnut i najmanjim nagoveštajem neodobravanja Njenog, poče se braniti rečima ovakvim:

"O, Gospodarice moja, simetriju ne uništih nego samo postigoh da bude prikrivena umetnošću trošenja energije. To čineći, stvorih svet zaista zamršen.

Ko je predvideti mogao da iz jednog dosadnog niza istovetnih tela atomska će nastati jezgra i atomi celi i molekuli, planete, zvezde čak?

Ko znadijaše da zalasci Sunca će nastati i okeani i okeanske razne ljige od mešanja svih tih odvratnih molekula uzdrmanih munjama i vrućinama?

Ko je predskazati mogao evoluciju i ove fizičare koji sada čačkaju i preturaju i zaviruju ne bi li našli ono što sam ja, u službi Tvojoj, tako pomno skrio?"

A Boginja, jedva se uzdržavajući od novog smeha, znak dade da oprašta Higsu, i dade mu, štaviše, i lepu povišicu plate.

Vrlo novi zavet, 3, 1

Naš će zadatak biti u ovom poglavlju da pretvorimo pesništvo(?) Vrlo novog zaveta u čvrsto naučno znanje, i to iz oblasti kosmologije čestica. Ali ne možemo se odlepiti baš sad od naše rasprave o standardnom modelu. Još ne. Izviruje još nekoliko končića koje nismo povezali... a neke, baš, i ne možemo da povežemo. I jedni i drugi su važni za priču o standardnom modelu i o svemu što postoji s one strane standardnog modela, a ja prvo moram da prepričam još nekoliko trijumfa vršenja opita koji su čvrsto utemeljili naše sadašnje znanje o mikrosvetu. To su možda pojedinosti, ali dočaravaju snagu (premda i ograničenosti) standardnog modela.

Dve vrste nedostataka muče nas u standardnom modelu. Prva je nepotpunost. Evo, počela je i godina 1993, a kvarka vrh još nema. Pa, i jedan neutrino (tau) nije još otkriven neposredno. Štaviše, mnogi brojevi koji su nam potrebni poznati su netačno. Na primer, ne znamo da li neutriini imaju ili ipak nemaju i neku masu mirovanja. Želimo da znamo na koji način narušavanja CP-simetrije - a ona su bila deo procesa nastanka sveukupne materije - ulaze u ovaj sistem. Najvažnije od svega: potrebno nam je da u standardni model uvedemo novu pojavu, kojoj smo dali naziv 'Higsovo polje', da bi se očuvala matematička suvislost našeg standardnog modela. Druga vrsta nedostataka čisto je estetska. Standardni model je toliko zamršen, da mnogima izgleda kao samo jedna stanica na putu ka nekom jednostavnijem viđenju sveta. Higsova zamisao, i čestica koja uz nju ide, a to je Higsov bozon, bitna je za sve ovo što upravo nabrojismo, toliko bitna da smo njoj u čast ovoj knjizi dali naslov: Božija čestica.

**JEDAN ODLOMAK CRNIH MUKA OKO STANDARDNOG MODELA**

Razmatramo neutrino.

"Koji neutrino?"

Nije bitno koji. Ajd', nek bude elektronov neutrino, onaj najobičniji, iz prvog pokolenja; on ima najnižu masu. (Osim, naravno, ako su mase svih neutrina jednake nuli.)

"Važi. Ajd', nek bude."

Neutrino... nema električni naboj.

Nema jaku silu, a ni elektromagnetnu.

Nema veličinu, uopšte ne zauzima nikakav prostor. Njegov poluprečnik je jednak nuli.

Moguće je da nema ni masu.

Ništa na svetu (iz ovoga izuzimam dekane i rektore fakulteta i univerziteta i političare) nema tako malo osobina kao neutrino. Njegovo prisustvo je manje od šapata.

Kao klinci, recitovali smo:

Muvica na zidu

imam te u vidu

Nemaš tatu? Nemaš mamu?

Puj, puj, puj, gaduro!

A ja sada recitujem:

Neutrinče, mali prinče

svetom letiš brz k'o svetlost

masu nemaš, napon jok

ni veličinu, to je šok.

Kvariš nam uobičajeni

misaoni tok.

Pa ipak, neutrino postoji. Ima nekakvo mesto - ima putanju; uvek hita u nekom pravcu i drži se toga pravca, a brzina mu je bliska (ili jednaka) svetlosnoj. Neutrino ima spin, ali ako se drznete da pitate "Šta se to vrti?" - time ćete samo izložiti sebe kritici da ste osoba koja još nije očistila svoj um od prljavog prekvantnog načina mišljenja. Sam pojam 'čestica' pretpostavlja da ona ima spin; e, sad, ako je neutrinova masa zaista jednaka nuli, a neutrino se ipak kreće postojano u istom pravcu brzinom svetlosti - te osobine se kombinuju i nastaje jedna nova, jedinstvena osobina, koju ima samo i jedino neutrino i niko drugi. Ta nova osobina zove se hiralnost (chirality). Hiralnost za večita vremena vezuje smer spina (u smeru kretanja kazaljki na satu ili u suprotnom smeru) sa smerom neutrinovog kretanja. Neutrino može da ima desnoruku hiralnost, što znači da kad leti tamo gde pokazuje ispriženi palac desne ruke, 'spinuje' kako pokazuju savijeni prsti te iste desne ruke. Neutrino može da ima i levoruku hiralnost, što znači da, dok leti napred, 'spinuje' kao što bi pokazivali svijeni prsti leve šake. U ovome leži jedna divna simetrija. Baždarska teorija najviše voli da sve čestice imaju masu nula i jedinstvenu hiralnu simetriju. Evo nas opet kod te reči: simetrija.

Hiralna simetrija je jedna od onih elegantnih simetrija koje opisuju ranu Vaseljenu - ona je obrazac koji se ponavlja, i ponavlja, i ponavlja, kao šare na zidnim tapetima, ali bez ikakvih zidova i hodnika, vrata ili uglova - do beskraj. Nikakvo čudo što je to i samoj Boginji dosadilo, pa je naručila Higsovo polje da bi predmeti dobili masu, a hiralna simetrija bila narušena. Zašto masa mora da pokvari hiralnu simetriju? Zato što čestica, ako ima masu, može da putuje samo brzinama manjim od brzine svetlosti. To opet znači da ti, posmatrač, možeš i da je prestigneš. Ako ti pojuriš brže od nje i počneš da je prestižeš, to znači da je ona u odnosu na tebe promenila svoj smer kretanja, dakle ona se sad 'odmiče unazad', ali spin nije promenila, što znači da po tvom viđenju sada ima suprotan spin nego po viđenju nekih drugih posmatrača koji nastavljaju da je gledaju. Ali postoje neutriini, koji su možda preživeli borci iz nekog rata zbog hiralne simetrije.

Neutrino je uvek levoruk, antineutrino je uvek desnoruk. Ta 'rukost' (handedness) jedna je od vrlo malog broja odlika koje naš jadni, mali neutron uopšte ima.

Ah, da, neutrino ima još jednu odliku, slabu silu. Neutrini izleću iz onih procesa u kojima deluje slaba sila, a koji su stvarno ludo spori (ponekad traju čak celu jednu mikrosekundu). Kao što smo videli, neutrini se mogu sudarati sa drugim česticama. Za takav sudar potreban je dodir tako blizak, prisnost tako duboka, da se to izuzetno retko dešava. Kad neutrino proleće kroz čeličnu ploču debelu dva i po centimetra, verovatnoća da se sudari sa nečim jednaka je otprilike verovatnoći da, kad zagnjuriš čašu u Atlantski okean i izvučeš je punu vode - u čaši nađeš i neki mali dragi kamen koji se baš tu našao zato što su ga talasi odnekud doneli. Pa ipak, iako je toliko siromašan brojem osobina, neutrino u ogromnoj meri utiče na mnoge događaje. Na primer, kad neutrini u mnoštvu pojure iz jezgra neke zvezde, nastojeći da iziđu u okolni prostor, zvezdu to navede da eksplodira, a kad ona to uradi, ujedno rasipa po kosmosu teže elemente koji su u njenoj unutrašnjosti nedavno 'skuvani'. Smeće iz takvih eksplozija pokatkad se zgrudva, i tako nastanu planete, otud je u njima i silicijum i gvožđe i sve ovo dobro što nalazimo u našim planetama.

U poslednje vreme preduzimaju se veliki naponi da se otkrije (ako uopšte postoji) masa neutrina. Ta tri neutrina koja su deo našeg standardnog modela jesu kandidati za takozvanu 'tamnu materiju'. Tako astronomi nazivaju materijal koji se ne vidi, ali, kažu oni, prožima celu Vaseljenu, pa čak daje glavninu gravitacije koja će odlučiti o daljem razvoju Vaseljene. Mi zasad znamo samo to da bi neutrini mogli da imaju neku malu, malecku masu... ili nultu, nikakvu masu. Ali nula je tako poseban broj, da bi čak i stvarno vrlo sićušna masa, recimo milioniti deo elektronove, imala ogroman teorijski značaj. Kao deo standardnog modela, neutrini sa tom svojom masom ili odsustvom mase jesu jedno krupno otvoreno pitanje.

### **SKRIVENA JEDNOSTAVNOST: STANDARDNOME MODELU NAJVEĆA RADOST**

Kad se neki naučnik, na primer neki Britanac, stvarno strašno naljuti na nekoga i kad potegne teške reči, procediće kroz zube: "Aristotelovče jedan gnusni." To su reči kojima se otpočinje tuča; jer, kazati nekome da je aristotelovac... teško je zamisliti težu uvredu. Aristotelu se uglavnom pripisuje (mada čovek verovatno nije baš toliko kriv) da je 2.000 godina sprečavao napredak nauke, sve do dana kad je Galilej stisnuo petlju i 'pozvao' ga na dvoboj. Pred gomilama navijača potukao je Galilej i obrukao učenike Aristotelove na trgu zvanom Pjaca del Duomo, tamo gde i danas toranj nahereni stoji, a Italijani prodaju turistima pice i sladoled.

Razmatrali smo tu priču o predmetima koji padaju sa krivih tornjeva - perce lelujanjem laganim, čelične kugle sunovratom naglim. To je Aristotelu izgledalo baš kako treba, pa je proglasio: "Teške stvari brzo padaju, a lake polako." Intuitivno, savršeno intuitivno. Osim toga, ako zakotrljaš kuglu, ona se posle nekog vremena zaustavi. Pošto je tako, proglašava stari Ari, mirovanje je "prirodno i priroda ga više voli, dok kretanje zahteva da neka sila navaljuje da bi se nastavljalo". Jasno da jasnije ne može biti, i potvrđeno svakidašnjim iskustvom našim, pa ipak... pogrešno. Galilej je posle pobede obasuo prezirom ne Aristotela nego ona silna pokolenja filozofa koji su se klanjali u Aristotelovom hramu i prihvatili Aristotelova uverenja, a nisu se zapitali.

Ono što je Galilej video bila je duboka jednostavnost u zakonima kretanja, jednostavnost koja se ispolji čim uspemo da uklonimo razne ometajuće stvari kao što su otpor vazduha i trenje, stvari koje su i te kako deo našeg stvarnog sveta, ali koje prikrivaju tu jednostavnost. Galilej je video matematiku - parabole, kvadratne jednačine - i shvatio da je to ono kakav svet mora biti. Nil Armstrong (Neil Armstrong), prvi astronaut na Mesecu, ispustio je iz ruku, na Mesečevoj bezvazdušnoj površini, jedno perce i svoj čekić, i tako pokazao svim gledaocima sveta još jednom ono isto što i Galilej na Krivom tornju u Pizi. Bez otpora vazduha, oba ta predmeta padaju istom brzinom. A kugla zakotrljana po vodoravnoj površini kotrljala bi se, zaista, celu večnost tako, ukoliko ne bi naišla ni na kakav otpor. Na odlično uglačanoj drvenoj površini otkotrljaće se dalje, a na klizavom ledu ili na vazdušnom jastuku još mnogo dalje. Potrebno je imati

sposobnost da se misli apstraktno, da se zamisli kretanje bez vazduha, pa i bez trenja koje nastaje između kugle i podloge; a kad to uspeš, za nagradu dobiješ jedan novi uvid u zakone kretanja, prostora i vremena.

Od te davne priče koja srce zagreva, pa do danas, naučili smo poprilično o skrivenoj jednostavnosti. Ume priroda da prikriva simetriju, jednostavnost i lepotu, a matematika, međutim, koja je apstraktna, ume te tri stvari da opiše. Sad ne vidimo pred sobom Galilejev otpor vazduha i trenje (niti političke probleme koje je on imao, a koji su bili ravni tome), nego naš standardni model. Da bismo sa ovom idejom dogurali do devedesetih godina ovog veka, moramo se vratiti onoj priči o teškim česticama-nosiocima koje prenose slabu silu.

### **MODEL STANDARDNI, GODINA 1980.**

Na samom početku te decenije među teoretičarima je vladalo poprilično zadovoljstvo postignutim. Standardni model se čvrsto namestio na presto i sedi: model koji je devičanski čisti rezime tri veka fizike čestica. Sedi, ali izaziva eksperimentatore, koji samo treba da 'popune još neke praznine'. Čestice  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$  još neopažene, a ni kvark vrh nije opažen. Ni tau neutrino; za njega je potreban opit sa tri neutrina, neki takvi opiti su i predloženi, ali pripreme bi bile dozlaboga zapetljane, a izgledi za uspeh mali. Zato ti opiti nisu ni odobreni. Opiti sa naelektrisanim tau leptonom snažno nagoveštavaju da tau neutrino mora postojati.

Na svim mašinama u toku su istraživanja usmerenaka kvarku vrh: i na elektron-pozitron kolajderima, i na 'protonkama'. U Japanu se gradi mašina koja će se zvati Tristan (kakav naziv - Tristan; postoji li neka duboka veza između japanske kulture i tevtonske mitologije?). Tristan će biti  $e^+e^-$  mašina koja će moći da proizvede i česticu 'kvark vrh plus kvark antivrh' ( $t\bar{t}$ ) ukoliko masa kvarka vrh nije veća od 35 GeV, a to bi značilo sedam puta teža od kvarka dno (koji je kvarku vrh rođak, samo sa drugačijim ukusom, a ima masu od 5 GeV). A, zapravo, taj opit, i sve što se u tom pogledu očekuje od Tristana, unapred je osuđeno na propast. Kvark vrh je težak.

### **HIMERA OBJEDINJENJA**

U traganje za česticom  $W$  Evropljani su se bacili svim silama, rešeni da pokažu svetu da su i oni ovladali jednim poslom. Da bi neko pronašao  $W$ , mora da ima mašinu dovoljno moćnu da proizvede tu česticu. Koliko je energije potrebno? Zavisi od toga koliko je  $W$  težak. Prihvatajući uporno i snažno insistiranje Karla Rubije, a i njegove argumente, godine 1978. CERN kreće da sagradi proton-antiproton kolajder, zasnovan na njihovoj protonskoj mašini od 400 GeV.

U to vreme, pred kraj sedamdesetih godina, teoretičari su procenjivali da su  $W$  i  $Z$  'sto puta teži od protona'. (A masa mirovanja protona je, setićete se, baš zgodna za pamćenje, bliska je iznosu od 1 GeV.) Sa toliko samopouzdanja je procenjena masa  $W$  i  $Z$ , da je CERN bio voljan da investira 100 miliona dolara, ili više, u taj 'siguran posao', u akcelerator koji bi trebalo da bude u stanju da isporuči (u sudarima) toliko energije da se  $W$  i  $Z$  mogu napraviti, ali i u detektore koji će biti dovoljno usavršeni i skupi da takve sudare opaze. Odakle im tako ohola samouverenost?

Vladala je svojevrsna euforija, zasnovana na uverenju da je objedinjena teorija, naš konačni cilj, već na dohvat. I to ne model sa šest kvarkova, šest leptona i četiri sile, nego model sa možda samo jednom klasom čestica i jednom velikom - ijaoj, koliko velikom - objedinjenom silom. To će valjda biti ostvarenje drevnog grčkog pogleda na stvari, onog istog cilja ka kome nadiremo još od onog njihovog: voda, pa zatim zemlja, vazduh i vatra.

Objedinjenje, pronalaženje teorije koja bi bila jednostavna, a sveobuhvatna, naš je Sveti gral. Još 1901. godine Ajnštajn je (tada momak od 22 godine) pisao o vezama između molekularnih (električnih) sila i gravitacije. Od 1925. pa sve do svoje smrti, 1955. godine, tragao je uzaludno za objedinjenom elektromagnetno-gravitacionom silom.



Ovaj ogroman napor jednog od najvećih fizičara našeg vremena (i svih vremena) ostao je bez uspeha. Sada znamo da postoje još dve sile, slaba i jaka. Bez te dve, Ajnštajn nije imao nikakvih izgleda da uspe u objedinjavanju. To je bio prvi razlog njegovog neuspeha, a drugi je bio taj što se 'razveo' od središnjeg dostignuća sveukupne fizike dvadesetog veka - od kvantne teorije. (Iako joj je baš on dao ogromne doprinose u danima kada je bila u fazi stvaranja.) Nikada Ajnštajn nije prihvatio radikalne, revolucionarne stvari koje je kvantna teorija govorila, stvari koje su, zapravo, bile okvir za objedinjavanje svih sila. U šezdesetim godinama, čak tri od te četiri sile formulisane su u terminima kvantne teorije polja i istančane do te mere da je 'objedinjenje' naprosto molilo da ga postignemo.

Svi veliki teoretičari jurili su za njim. Pamtim jedan seminar na Kolumbiji početkom pedesetih godina kad su Hajzenberg i Pauli izložili svoju novu, objedinjenu teoriju elementarnih čestica. Bilo je to u prostoriji broj 301 - koja se zove Pupinova dvorana. Gužva u sali bila je poprilična. U prvom redu sede Nils Bor, I. I. Rabi, Čarls Tauns, T. D. Li, Polikarp Kuš, Vilis Lemb i Džejms Reinvoter (James Rainwater) - kontingent onih koji su već dobili i onih koji će dobiti Nobelovu nagradu. Mladi doktori, oni koji su bili dovoljno uticajni da budu pozvani, krše sva pravila protivpožarne zaštite. Postdiplomci vise sa posebnih kuka pozabadenih u krovne grede. Gužva, brate. Teorija je nadmašila moju moć da je pratim u tom trenutku; ali činjenica ja da nešto ne razumem nije dokaz da je to nešto tačno. Kad je rekao sve što je imao, Pauli je završio priznanjem: "Daaa, ovo je jedna luda teorija." Iz publike se oglasi Nils Bor (i to su reči koje zapamtiše svi): "Nevolja sa ovom teorijom jeste u tome što ona nije dovoljno luda." Kasnije je ta teorija iščezla, zaboravljena je, zajedno sa nebrojenim drugim hrabrim pokušajima. Znači, Bor je i tom prilikom bio, opet, u pravu.

Valjana teorija sila mora da zadovolji dva merila: to mora biti jedna kvantna teorija polja koja će u sebe da uključi posebnu teoriju relativnosti i baždarsku simetriju. Ova druga odlika, baždarska simetrija, jedino je što nam jemči (zasad nemamo nijednu drugu jemstvo za to) da će teorija biti matematički usaglašena, renormalizabilna. Ali ima još mnogo drugih razloga; ceo taj posao sa baždarskom simetrijom ima duboku estetsku privlačnost. Za divno čudo, zamisao baždarske simetrije izvukli smo upravo iz one sile koju jedinu još nismo uspeli kvantno da formulišemo, a to je gravitacija. Ajnštajnova gravitacija (za razliku od Njutnove) proističe iz želje da zakoni fizike budu isti za sve posmatrača, kako za one koji miruju tako i za one koji se nalaze u raznim ubrzanim sistemima, pa i u prisustvu gravitacionih polja - recimo, na površini Zemlje. (A površina Zemlje rotira na polutaru brzinom od oko 1.670 kilometara na sat.) Kad radimo u laboratoriji koja se tako ludo kovitla, trebalo bi da se pojavljuju sile zbog kojih će opiti da daje sasvim drugačije rezultate nego u nekim laboratorijama koje se kreću glatko i ujednačeno (dakle, u neubrzanim). Ajnštajn je tragao za zakonima koji će izgledati svim posmatračima isto. Ta osobina zove se invarijantnost. Ajnštajn je u svojoj opštoj teoriji relativnosti (iz 1915. godine) postavio prirodni zahtev da bude u svojim zakonima fizike invarijantna, a ovo je nužno zahtevalo da sila gravitacije mora da postoji. Ja ovo sad kažem tako brzo, a toliko sam grdno rada i truda uložio dok sam to i sam shvatio! Teorija relativnosti sadrži u sebi jednu ugrađenu simetriju koja pretpostavlja da mora postojati jedna određena sila u prirodi - sila gravitacije.

Analogno tome, baždarska simetrija, što podrazumeva jednu apstraktniju invarijantnost koja biva nametnuta relevantnim jednačinama, proizvodi kod jednih jednačina slabu silu, kod drugih jednačina jaku silu, a kod trećih jednačina elektromagnetnu silu.

## **BAŽD...**

Sad već stupamo na onaj privatni pristupni put za automobile koji vodi do rezidencije u kojoj stanuje Božija čestica. Moramo da razmotrimo nekoliko zamisli. Jedna je u vezi sa materijalnim česticama: kvarkovima i leptonima. Sve one imaju spin, koji se u čudnovatoj kvantnoj mernoj jedinici za spin izražava razlomkom  $1/2$ . Dakle, imaju 'spin jedna polovina'. Drugo su polja sila. Ova polja takođe možemo da predstavimo kao

čestice: kao kvante tih polja. Te čestice sve imaju celobrojni spin - a to je 1. (Dakle, 'spin jedan'.) Koje su to čestice? Pa, one iste o kojima smo već toliko puta govorili, naime čestice-prenosioci, a to znači baždarski bozoni: foton, W čestice i Z čestice, i gluoni. Sve te čestice su otkrivene, a njihove mase izmerene. Da bi se našao neki smisao u ovom bogatom rasponu ponuđenih komadića materije i komadića sile, hajde da još jednom preispitamo pojmove invarijantnosti i simetrije.

Dosad smo skakutali vešto svuda ukруг oko baždarske simetrije nastojeći da ne nagazimo na nju zato što ju je teško, a možda i nemoguće, objasniti u celosti. Problem se sastoji u tome što ovu knjigu pišem na engleskom jeziku, dok je, međutim, jezik baždarske teorije matematika. U engleskom jeziku moramo se oslanjati na metafore. Biće tu još stepovanja, ali možda će biti i neke koristi.

Primer: kugla ima savršenu simetriju, u smislu da je možemo zaokrenuti za bilo koji ugao, oko bilo koje ose, bez izazivanja ma i najmanje promene u sistemu. Čin rotiranja može se opisati matematički; kuglu pre rotiranja možemo opisati izvesnim jednačinama, i tu istu kuglu posle bilo kog i bilo kakvog rotiranja možemo opisati drugim jednačinama koje će biti potpuno istovetne sa prvim. Dakle, simetričnost kugle dovela je do jedne posledice: do invarijantnosti jednačina koje kuglu opisuju, i to invarijantnosti u odnosu na rotaciju.

Ali koga je briga za savršene kugle? Postoji još nešto što je, u istoj meri kao kugla, invarijantno u odnosu na svaku i bilo koju rotaciju. To je prazan prostor. Iz ovog razloga i jednačine u fizici moraju biti rotaciono invarijantne. Matematički, to znači da ako rotiramo jedan koordinatni sistem x-y-z u bilo kojoj meri, dakle za bilo koji ugao zaokretanja, u odnosu na bilo koju osu rotacije, taj ugao zaokretanja neće iskrsnuti nigde, baš nigde u jednačini. Već smo raspravljali o drugim takvim simetrijama. Jedna je bila ova: postavimo jedan predmet na ravnu, vodoravnu, beskonačnu površinu. Pomaknemo ga ma koliko daleko, u ma kom pravcu. Nastala situacija je potpuno ista kao i pre tog pomaka, sistem je ostao istovetan - isti kao što je i bio; zato kažemo da je taj sistem invarijantan u odnosu na pomicanje predmeta po ravni. Pomicanje od A do B zove se translacija. Verujemo da je i prazan prostor takođe invarijantan na translaciju: ako svim udaljenostima nekih stvari od jedne tačke dodamo pomak od 12 metara na istu stranu, tih 12 metara će iščeznuti, naprosto 'ispasti' iz jednačina. Prema tome, nastavljamo našu litaniju: jednačine fizike moraju da ispolje translacionu invarijantnost. Da bi se nastavila i priča o simetriji/očuvanju, imamo i zakon o očuvanju energije. Čudnovata stvar: taj zakon je u vezi sa jednom simetrijom koja se odnosi na vreme - naime, u vezi sa simetrijom koja kaže da su zakoni fizike invarijantni na translaciju u vremenu. To znači da u fizici, ako dodamo jednačinama jedan isti vremenski razmak, recimo 15 sekundi, svuda gde se u njima vreme pojavljuje, ta dodavanja će se međusobno oprati i isprati i neće od njih ostati ništa, nigde u sistemu. Jednačine, dakle, ostaju invarijantne na vremenski pomak.

E, sad ono glavno. Simetrija govori i neke nove stvari o prirodi prostora. Pominjao sam već gospođu Emi Neder. Doprinos koji je ona 1918. godine dala nauci bio je sledeći: za svaku simetriju (koja se pokazuje kao nesposobnost osnovnih jednačina da opaze rotacije i translacije u prostoru i translaciju u vremenu) postoji i po jedan odgovarajući zakon očuvanja! A zakone očuvanja, vidite, možemo opitno da proveravamo. Njen rad povezao je translacionu invarijantnost sa dobro oprobanim zakonom o očuvanju impulsa; rotacionu invarijantnost sa očuvanjem momenta impulsa; a invarijantnost na pomak kroz vreme sa očuvanjem energije. Dakle, ovi zakoni o očuvanju energije, koji su opitima toliko već dokazani da ih više niko ne može da napada, kažu svima nama (kad ih gledamo i onda upotrebimo istu, dosadašnju logiku unatraške) da vreme i prostor poštuju određene simetrije.

Očuvanje parnosti, o čemu smo raspravljali u Međugri C, jeste primer diskretne simetrije koja se primenjuje na kvantne, mikroskopski sitne prostore. Ogljedalska simetrija isto je što i bukvalno odražavanje svih koordinata jednog fizičkog sistema u nekom ogledalu. Matematički, ogledalska simetrija znači da sve z koordinate pretvorimo u z- koordinate, pri čemu je z koordinatna osa uperena pravo, u ogledalo. Kao što smo videli, jaka sila i elektromagnetna sila poštuju ovu simetriju, ali slaba sila je ne poštuje, što nam je, naravno, donelo ogromnu radost godine, davne, 1957.

Ovo što sam dosad ispričao bilo je uglavnom sažet pregled starog, već pređenog gradiva, i odeljenje dobro kapira. (Osećam ja to.) U sedmom poglavlju videli smo da mogu postojati i apstraktnije simetrije koje nisu u vezi sa geometrijom (prethodni primeri bili su geometrijski). Za našu najbolju kvantnu teoriju polja, QED, ispostavilo se da je invarijantna u odnosu na nešto što izgleda kao dramatična promena u matematičkom opisivanju. To 'nešto' nije geometrijska rotacija, ni translacija, ni refleksija (u ogledalu), nego je jedna daleko apstraktnija promena u načinu opisivanja polja. Ona se zove: baždarska transformacija. Nikakvo dalje opisivanje baždarske transformacije neću ni pokušati, jer to ne ide bez matematike; bol koji biste vi pretrpeli u suočenju sa matematikom daleko je veći nego dobitak koji bismo postigli. Zato neka bude dovoljno da samo kažemo da su jednačine kvantne elektrodinamike (QED-a) invarijantne na baždarsku transformaciju. Ovo je veoma moćna simetrija zato što iz nje same možemo dobiti sve odlike elektromagnetne sile! Doduše, nije to tim redom stvarno rađeno, u istoriji nauke, ali se danas u nekim udžbenicima za postdiplomce izlaže tim redom. Ova simetrija jemči da prenosilac elektromagnetne sile, foton, mora biti bez mase i jeste bez mase. Pošto je ovo odsustvo mase povezano sa baždarskom simetrijom, za foton se kaže da je 'baždarski bozon'. (Pamtite da je bozon svaka čestica - u mnogim slučajevima čestica-prenosilac - koja ima spin izražen celim prirodnim brojem.) Pošto je pokazano da QED, jaka sila i slaba sila jesu opisani jednačinama koje ispoljavaju baždarsku simetriju, kaže se za sve prenosiocce sile - dakle za fotone, W i Z čestice i gluone - da su baždarski bozoni.

Ajnštajnovih trideset godina uzaludnog napora da se nađe objedinjena teorija prevaziđeno je kad su pred kraj šezdesetih godina Glešou, Vajnberg i Salam uspeali da objedine slabu sa elektromagnetnom silom. Glavna implikacija njihove teorije bila je da moraju postojati četiri čestice-prenosioci koje će činiti jednu porodicu: foton, W+, W- i Z0.

Sad uvodimo temu Božije čestice. Kako možemo imati teške W i Z čestice u jednoj baždarskoj teoriji? Kako je moguće da predmeti koji su međusobno tako neskladni kao što su to foton bez mase i vrlo masivni W i Z budu ista porodica? Upravo njihove ogromne razlike u masi objašnjavaju zbog čega je toliko različito ponašanje elektromagnetne i slabe sile.

Vratićemo se ovom izazivnom uvodu kasnije; tako mnogo teorije zamara moj duh. Osim toga, pre nego što se teoretičari raspičaju ne bi li dali nekakav odgovor na prethodna pitanja, moramo da nađemo W. Doduše, oni ne čekaju na to, ali mi naš posao moramo da obavimo.

## **NAĆI W**

Tako je CERN položio lov na sto (tačnije, prepustio je te pare Karlu Rubiji) i potraga za W česticama je krenula. Vredi zapaziti da ako je masa W čestice oko 100 GeV, u sudar treba uložiti energiju znatno veću od toga. Proton sa 400 GeV energije koji naleti na neki nepomičan proton neće postići uspeh jer će od 400 ostati samo 27 GeV za pravljenje novih čestica. Ostatak energije istroši se na impuls. Zato je Rubija predložio kolajderski pristup. Njegova zamisao bila je da se napravi izvor antiprotona, pi-minus (pi-bara, kažemo mi Amerikanci). Dobijeni antiprotoni bi se ubacili u CERN-ov super protonski sinhrotron (SPS) od 400 GeV. Kad se nakupi dovoljna količina antiprotona, čuva se u magnetnom prstenu, manje-više onako kako smo objasnili u šestom poglavlju.

Za razliku od kasnijeg Tevatrona, SPS nije bio superprovodan. To znači da je njegova maksimalna energija bila skromnija nego što bi čovek pomislio. Na prvi pogled, ako ubrzamo antiprotone do 400 GeV, a onda njima u susret ispalimo protone takođe ubrzane do 400 GeV, trebalo bi da dobijemo ukupnu energiju od 800 GeV, zar ne? Međutim, doneta je odluka da ni protonski ni antiprotonski zrak ne pređu 270 GeV. Zašto tako malo? Pre svega zato što će magneti morati, u tom opitu, da propuštaju vrlo jake struje tokom vrlo dugog vremena - više sati - dok sudari traju. CERN-ovi magneti nisu sazđani za takve poslove; počće da se pregrevaju. Drugo, zadržavanje vrlo jakih polja tokom dužeg vremena je skupo. Magnetni SPS-a planirani su da dostignu svojih

maksimalnih 400 GeV, nekoliko sekundi gađaju metu (nepokretnu) zracima te snage, a onda da se njihovo polje svede na nulu. Rubijina zamisao o sudaranju dva zraka bila je genijalna, ali je Rubijin osnovni problem bio u tome što njegova mašina uopšte nije sagrađena da radi kao kolajder.

Vlasti u CERN-u i Rubija behu saglasni u tome da će po 270 GeV u svakom zraku (ukupna energija, dakle, 540 GeV) biti verovatno dovoljno za pravljenje W čestica, koje imaju 'težinu' od stotinak GeV. Projekat je odobren i odgovarajuća količina švajcarskih franaka zašustala je 1978. godine. Rubija je okupio dve ekipe. U prvoj su bili akceleratori geniji - Francuzi, Italijani, Holandjani, Englezi, Norvežani i pogdekoji Jenki koji navrati u posetu. Ti ljudi su engleski govorili veoma smandrljano, ali akceleratori bez greške. Druga ekipa: eksperimentalni fizičari kojima je palo u deo da sgrade ogroman detektor (neko mu je, u nastupu poetske imaginacije, dao naziv UA-1). Naravno, detektor bi posmatrao sudare protona i antiprotona.

U akceleratorskoj grupi našao se jedan holandski inženjer, Simon Van der Mer (Simon Van der Meer) koji je izmislio novi način da se antiprotoni sabiju u veoma uzan zrak u magnetnom prstenu gde se taj skupoceni antiproizvod čuva. Taj Merov pronalazak, nazvan 'stohastičko hlađenje', bio je od presudnog značaja u prisiljavanju dovoljne količine antiprotona da se stvarno zabijaju u nailazeće protone, tako da je postignut poštovanja dostojan broj sudara, negde oko 50.000 u sekundi. Rubija, velemajstor tehnike, stalno je požurivao svoju grupu, izgrađivao 'politički' položaj svog opita, širio marketing i propagandu, odazivao se na telefonske pozive. Njegova tehnika: bude govor hoće priča. Na predavanjima je govorio kao iz mitraljeza, zasipao rečima i slikama (po pet slajdova u minutu), bio je promotivan, virtuozan, bombastičan, ali je ipak govorio i istinu.

## **KARLO I GORILA**

Mnogima koji prate fiziku čini se da je Karlo Rubija naučnik-div herojsko-atletskog stila. Jedanput mi je zapala dužnost da mu dam reč na banketu gde je trebalo da on održi govor. Bilo je to na jednom dobro posećenom međunarodnom okupljanju u Santa Feu. (Posle Nobelove nagrade koju je dobio za otkriće W i Z čestica.) Tom prilikom ispričao sam jednu priču.

Na Nobelovim svečanostima u Stokholmu, kralj Olaf pozove Karla Rubiju da popričaju nešto malo po strani od ostalih. Nastao je, zbog neke greške, tehnički problem, kaže kralj. Zbog toga će ove godine moći da se dodeli samo jedna medalja. Da bi se odredilo koji laureat će dobiti zlato, kralj je postavio tri zadatka za junake. Svaki podvig treba izvesti u po jednom šatoru, na polju koje je izloženo pogledima cele mase gledalaca. U prvom šatoru, kaže kralj Karlu, naći će četiri litra šljivovice, pića koje je dobrim delom doprinelo propasti države Bugarske. To sve treba popiti za 20 sekundi! U drugom šatoru je gorila koji nije dobio ništa za jelo već četiri dana i koga boli urastao umnjak. Zadatak: izvaditi mu zub. Vreme: 40 sekundi. U trećem šatoru je najiskusnija žena za zabavu iračke vojske. Zadatak: zadovoljiti tu kurtizanu potpuno. Raspoloživo vreme: 60 sekundi.

Začuje se pucanj startnog pištolja, i Karlo krupnim skokovima hrli u šator broj jedan. Svi čuju zvuk: klok, klo-klo-klok... Posle 18,6 sekundi svi vide četiri trijumfalno podignute litarske boce šljivovice. Prazne.

Ne gubeći vreme, Karlo, čovek-legenda, srlja koracima dosta klimavim u drugi šator; sad cela publika čuje da se iz šatora razležu grdni, divovski urlici. Zatim tišina. Posle 39,1 sekunde, Karlo se iztutura iz šatora, nesigurno priđe mikrofonu i pita: "Dobro, gd-gde je t-taj gorila koga b-boli zub?"

Publika je počela da se smeje na sav glas, možda i zato što je konferencijsko vino točeno koliko god je ko hteo. Najzad dam Karlu reč, a on, dok smo se mimoilazili (jer je sad on dolazio na govorničko mesto) prošapuće: "Nisam razumeo. Objasni kasnije."

Rubija nije imao strpljenja sa budalama, bio je vrlo strog direktor, a to je izazivalo i određene otpore. Neko vreme pošto je Rubija dobio Nobelovu nagradu, Gari Taubs je napisao njegovu biografiju, Nobelovi snovi, koja nije mnogo laskava. Jednom kad sam bio na nekom zimskom seminaru, a Karlo sedeo u publici, saopštim da su prodana prava

za ekranizaciju te knjige i da će glavnu ulogu igrati glumac Sidni Grinstit (taj je bio otprilike jednak u obimu struka kao Karlo). Neko iz publike se javi i kaže da je Grinstit umro, ali da je u svakom drugom pogledu to dobar izbor. Na jednoj drugoj, ali letnjoj konferenciji, na Long Ajlendu, neko je na plaži zabio transparent: "Ne kupajte se, Karlo koristi plažu."

Rubija je u potrazi za W česticama gonio svoje trupe vrlo silovito na svim frontovima. Neprestano je saletao graditelje detektora da požure. Oni su postavljali ogromne magnete koji će otkriti i ispitati događaje u kojima po pedeset, pa i šezdeset čestica proistekne odjednom iz čeonog sudara jednog protona sa energijom od 270 GeV i jednog antiprotona sa istom tolikom energijom. Rubija je ispoljio slično znanje i aktivnost i u pravljenju akumulatora antiprotona, to jest AA prstena - dakle, sprave u kojoj je trebalo da bude primenjena zamisao Van der Mera: mlaz antiprotona bio bi najpre veoma stisnut, da bi tek onda bio ušprican u SPS prsten i tamo ubrzavan. Ovaj prsten morao je da ima i svoje radio-frekventne šupljine, vodeno hlađenje sa ubrzanim protokom, i posebno opremljenu dvoranu za međudejstva u kojoj će biti montiran taj pametno nazvani detektor UA-1. Naknadno su vlasti u CERN-u odlučile da izgrade i dodatni detektor kome je dat naziv, šta bi drugo, UA-2, da bi se pripazilo da li Rubija sve pošteno prijavljuje, kao i da bi bilo pri ruci i nešto 'za svaki slučaj'. Taj detektor UA-2 bio je stvarno Avis ove situacije, ali grupa koja ga je gradila bila je mlada i puna poleta. Pošto su bili sputani znatno manjim budžetom, sagradili su sasvim drugačiji detektor.

Rubijin treći front bio je da podgreva entuzijazam kod onih koji upravljaju CERN-om, da održava napetost i u svetskoj javnosti i da priprema pozornicu za veliki W opit. Cela Evropa je navijala da oni uspeju, jer bi to značilo da je Evropa konačno sazrela za najkrupniji naučni rad. Jedan novinar je napisao da će u slučaju neuspeha opita "popadati premijeri i pape".

Opit je otpočeo 1981. godine. Sve je bilo na svom mestu - UA-1, UA-2, AA prsten... sve provereno i spremno. Prvi pokušaji, smišljeni više kao test ispravnosti sistema, bili su razumno uspešni. Ovde curi, tamo greška, poneki udes... ali, posle izvesnog vremena, podaci! Svi na jednom novom nivou složenosti. Konferencija 'Ročester' za godinu 1982. trebalo je da se održi u Parizu, pa je CERN dao sve od sebe da na vreme pribavi neke podatke sa kojima bi se pred 'Ročester' moglo izići.

Ironijom slučaja, prvi uspeh postigao je onaj drugi, pomoćni detektor, UA-2. Snimio je mlazeve, one uzane svežnjeve hadrona koji su potpis kvarkova. Za to vreme UA-1, tek u fazi učenja kako posao valja raditi, nije postigao nikakvo otkriće. Kad god mali David potuče velikog Golijata, raduju se svi osim Golijata. Rubija strašno mrzi poraze; u ovom slučaju morao je priznati da opažanje mlazeva jeste pravi trijumf CERN-a. Nije zalud uloženo toliko novca i truda u mašine, detektore, softver... Pribavljen je jak pokazatelj. Krenulo je. Ako ima tih mlazeva, ni W čestice ne mogu biti daleko.

## **VOŽNJA NA DVADESET DEVETKI**

Možda pomoću jednog fantastičnog putovanja možemo najbolje da ilustrujemo kako detektori rade. Za ovo ću se prebaciti u detektorsku građevinu CDF u Fermilabu, jer je modernija od UA-1. Doduše osnovna zamisao 'četiri pi' im je ista. (To 'četiri pi' -  $4\pi$  - znači da detektor sa svih strana obuhvata tačku sudara.) Zapamtili ste, kad se proton i antiproton sudare, svakojake čestice nastanu i rasprše se u svim pravcima. Od svih tih čestica, u proseku oko jedna trećina njih budu neutralne, a dve trećine naelektrisane. Zadatak je ustanoviti tačno kuda svaka čestica odlazi i šta tačno radi. Kao i kod svih osmatranja u fizici, postiže se samo delimičan uspeh.

Hajde da se provozamo na jednoj čestici. Recimo da je to trag broj 29. Naša čestica izleće pod nekim uglom u odnosu na pravac sudaranja, nailazi na tanki metalni zid vakuumske posude (dakle, cevi u kojoj je i nastala), proleti veoma lako kroz njega i sledećih, otprilike, pola metra juri kroz gas u kome se nalazi ogroman broj veoma tankih zlatnih žica. Iako nigde tako ne piše, ovo je Čarpakova teritorija. Naša čestica će proleteti pokraj nekih četrdeset ili pedeset žica, a onda će stići do kraja ove žičane komore. Ako je čestica naelektrisana, svaka obližnja žica će opaziti njen prolazak i omogućiti procenu

koliko je blizu žice čestica proletela. Informacije prikupljene od svih žica odrediće putanju čestice. Pošto se žičana komora nalazi u jakom magnetnom polju, putanja naelektrisane čestice biće povijena na jednu stranu; merenje ovog otklona, izračunato na obližnjem ugrađenom kompjuteru, daće fizičarima podatak o impulsu ove čestice, naše dvadeset devetke na kojoj se vozimo.

Dvadeset devetka jezdi dalje. Proleće kroz valjkasti zid kojim je obuhvaćena žičana komora i uleće u 'kalorimetrijski odeljak' gde se meri energija čestice. Kako će se čestica dalje ponašati, zavisi od toga šta jeste. Ako je elektron, razlupaće se o niz tankih listova olova, koji su postavljeni jedan drugome vrlo blizu; u tom procesu, predaće celokupnu svoju energiju vrlo osetljivim detektorima koji su kao meso u ovim olovnim sendvičima. Kompjuter primećuje da je nadiranje čestice broj 29 prestalo posle samo desetak-petnaest centimetara 'svrdlanja' kroz olovne sendviče i zaključuje: elektron! Međutim, ako je broj 29 hadron, probiće se kroz dvadeset pet, možda i pedeset centimetara kalorimetrijskog materijala i tek onda će sasvim posustati. U oba slučaja energija se meri i upoređuje sa impulsom koji je već izmeren kad je čestica pod uticajem magneta morala do neke mere da povije svoju putanju. Ali kompjuter će, kao fini gosopodin, prepustiti fizičarima da izvuku zaključak.

Ako je dvadeset devetka neutralna, prošibaće kroz žičanu komoru sasvim neprimećana. Kad iskrsne u kalorimetru, ponašaće se u suštini isto kao naelektrisane čestice. Naime, udaraće u jezgra atoma kalorimetrijskog materijala, a ono što iz tih sudara izleti sudaraće se dalje sa nečim, sve dok celokupna energija koju je čestica donela ne bude iscrpena. Tako uspevamo da snimimo i izmerimo i neutralne čestice, ali ne možemo im snimiti impuls, a netačno je i naše praćenje pravca njihovog kretanja zato što u žičanoj komori ne bude opaženo ništa. Jednu neutralnu česticu, a to je foton, lako ćemo prepoznati po tome što olovo srazmerno brzo apsorbuje fotone, baš kao i elektrone. Druga jedna neutralna čestica, neutrino, proleteće kroz ceo naš detektor i odneće svoju energiju i svoj impuls, a neće ostaviti za sobom ni nagoveštaj svoga 'parfema'. Muon će se, opet, kretati kroz kalorimetar, ali će ostavljati malu količinu energije (muon ne ulazi u jake nuklearne sudare). Kad se probije kroz olovne sendviče, muon naiđe na zid od gvožđa, debeo nekih 75 do 150 centimetara. Prošiša i kroz to, samo da bi upao u detektor muona - a to su opet žičane komore ili scintilacioni brojači. Tako znamo da je ta čestica muon.

Ovo isto mora da se uradi za svih 47 ili koliko je već čestica rođeno u ovom opitu. Sistem snima podatke i čuva ih, približno po jedan milion bita (a to vam je kao knjiga od sto strana) za svaki događaj. Ali dok to radi sistem mora hitro da donese odluku da li nešto vredi da se čuva ili nije zanimljivo; mora mnoge događaje da odbaci, neke da snimi, neke da pomeri u privremenu memoriju, a onda da očisti sebe, spremi se za sledeći događaj. A taj sledeći naiđe otprilike jedan milioniti deo sekunde kasnije, ako mašina radi veoma dobro. U najnovijem temeljitom istraživanju u Tevatronu (školske 1990-91. godine), ukupna količina događaja snimljenih na magnetnu traku CDF detektora bila je jednaka tekstu milion romana ili pet hiljada kompleta Enciklopedije britanike.

Među tim česticama koje izleću iz sudara ima i nekih čiji je životni vek veoma kratak. One se odmaknu možda samo koji milimetar od tačke sudara u vakuumskoj cevi i već se spontano raspadaju. Čestice W i Z žive tako kratko da je ukupna dužina koju one prelete nemerljivo kratka, pa čovek mora njihovo postojanje da ustanovi posredno, po česticama koje nastaju nestankom W i Z. A te se često kriju među razbacanim smećem koje izleće iz svakog sudara. Pošto je W masivna čestica, proizvodi njenog raspadanja imaju energiju višu od uobičajene, a to nam pomaže da ih otkrijemo. Egzotične stvari kao što je kvark vrh ili Higsova čestica imaće svaka svoj skup očekivanih načina raspada, što će morati nekako da se razabere u opštem rasulu mnogih drugih čestica.

Proces pretvaranja ogromnog broja bitova elektronskih podataka u zaključke o prirodi sudara koji su se dogodili zahteva da uložimo velike napore. Desetine hiljada signala mora se proveriti i kalibrirati; desetine hiljada linija kodiranih podataka treba pregledati i potvrditi posmatranjem događaja koji moraju biti 'suvisli'. Nikakvo čudo, dakle, da je potrebno angažovati čitav bataljon visoko osposobljenih i motivisanih profesionalaca (bez obzira na to što su neki od njih službeno klasifikovani kao samo postdiplomci ili samo

mladi doktori) i staviti im na raspolaganje moćne 'radne stanice' i odlično pripremljene, izoštrene analitičke kodove, i što i oni, tako opremljeni, moraju da rade dve ili tri godine da bi zadovoljavajuće dobro proučili podatke prikupljene u jednoj seriji Tevatronovih sudara.

## **TRIJUMF!**

U CERN-u, gde je kolajderska fizika i rođena, sve je uspevalo, čime se pokazalo da su planovi bili valjani. Januara 1983, Rubija je objavio da je pronašao W čestice. U ovo je bio siguran na osnovu pet, samo pet jasno snimljenih događaja koji se nisu mogli tumačiti nikako drugačije nego kao proizvodnja, a onda i raspad W čestice.

Dan-dva kasnije, oni sa UA-2 objave da su i oni snimili četiri takva događaja. U oba slučaja eksperimentatori su morali da odbace po, otprilike, milion nezanimljivih događaja da bi izdvojili jedan pravi. Kako ubediti samoga sebe, a kako tek mnogobrojne skeptike? Od svih mogućih načina da se W čestica raspadne, način najpovoljniji za otkrivanje jeste ovaj:  $W^+ \rightarrow e^+ + \text{neutrino}$ , ili,  $W^- \rightarrow e^- + \text{antineutrino}$ . U podrobnoj analizi događaja takve vrste moraš potvrditi da, prvo, onaj jedan jedini trag koji si snimio jeste elektron, a nije bilo šta drugo, i, drugo, da energija tog elektrona iznosi otprilike polovinu mase W. Takozvani 'nedostajući impuls' (odneo ga je nevidljivi neutrino) može biti izveden na taj način što se saberu svi impulsi viđeni u događaju i uporede sa 'nulom', a to je impuls koji su sudarene čestice imale na samom početku sudara. Otkriće je bilo uveliko olakšano time što su (pukom srećom) sudarni parametri u CERN-u proizveli W čestice koje su manje-više mirovale. Da bi se otkrila jedna čestica, mora se zadovoljiti mnogo ograničavajućih uslova. Jadan od važnih takvih uslova jeste da svi događaji-kandidati daju tačno istu vrednost (uzimajući u obzir dopustive greške u merenju) za masu W čestice.

Rubiji je pripala čast da izloži svoje rezultate CERN-ovoj zajednici naučnika; tom prilikom bio je, nesvojstveno njemu, nervozan. Osam godina rada bilo je uloženo u ovo. Održao je spektakularan govor. Imao je potrebnu 'robu' u dovoljnoj količini, ali bio je i majstor-šoumen, sposoban da robu prodaje sa strastvenom logikom(!). Klicali su čak i oni koji su ga mrzeli. Evropa je sada imala svoga nobelovca. Već 1985, Rubija i Van der Mer su zajednički dobili Nobelovu nagradu.

Nekih šest meseci posle uspeha vezanog za W, pojavili su se prvi dokazi da postoji i neutralni ortak te družine, ze-nula. Pošto joj je električni naboj jednak nuli, ova čestica se raspada (između mnogih drugih mogućnosti) i na jedan  $e^+$  i jedan  $e^-$  (ili na par muona,  $m^+$  i  $m^-$ ). Zašto? Za one koji su zaspali tokom prethodnog poglavlja, evo zašto: zato što je Z neutralna čestica, pa proizvodi njenog raspada moraju da se, kad ih saberete, električno poništavaju; dakle, logično je da to moraju biti dve čestice sa suprotnim električnim predznakom. Pošto umemo tačno da izmerimo i par elektrona i par muona, Z je čak i lakše prepoznati nego W. Nevolja je u tome što je Z teže od W, iz čega proističe da se ređe stvara. Pa ipak, pred kraj 1983. godine, Z0 je otkrivena u oba detektora, UA-1 i UA-2. Sad kada su obe W i ze nula pronađene i kad se pokazalo da sve imaju baš onu masu koja je predviđena, elektroslaba teorija - koja objedinjuje elektromagnetizam i slabu silu - uverljivo je potvrđena.

## **DOPUNITI STANDARDNI MODEL DO RUBA ČAŠE**

Do početka godine 1992. snimljeno je nekoliko desetina hiljada W čestica na UA-1, UA-2 i kod novog momka u družini, u detektorskoj zgradi CDF pri Fermilabovom Tevatronu. Sada je znano da masa W iznosi oko 79,31 GeV. Nekih dva miliona Z0 prikupljeno je u CERN-ovoj 'ze-nula fabrici', LEP-u, elektronskom akceleratoru čiji je obim dvadeset sedam kilometara. Izmereno je da masa Z0 iznosi 91,175 GeV.

Neki akceleratori se tako pretvore u fabrike čestica. Prve takve fabrike - u Los Alamosu, Vankuveru i Cirihi - proizvele su pione. Kanada sad sprema izgradnju fabrike kaona. Španija želi fabriku tau-šarma. Postoje tri-četiri predloga za fabrike kvarka dno

(lepote). Dok ovo pišem, u godini 1992, CERN-ova Z0 fabrika hukće punom snagom. U SLAC-u se sprema jedan manji Z0 projekat koji bi trebalo nazvati pre dućan ili butik nego fabrika.

Šta će nam fabrike? U njima proizvodni proces može da se proučava veoma detaljno. Osim toga, kod mnogih čestica, a naročito kod onih masivnijih, ima mnogo načina raspadanja. Želimo da pribavimo po nekoliko hiljada uzoraka za svaki od tih načina. U slučaju masivne čestice Z0, postoji ogroman broj mogućnosti, a proučavanjem svih njih naučićemo mnogo o slaboj i elektroslaboj sili. Čovek uči i iz onoga što se uopšte ne pojavljuje. Na primer, ako bi masa kvarka vrh bila manja od pola mase Z0, onda bismo hteli-ne hteli morali da gledamo i raspade Z0 → kvark vrh + kvark antivrh. Ovo znači da bi se Z0 mogao raspasti, mada retko, u mezon sagrađen od kvarka vrh koji bi bio 'privezan' za kvark antivrh. Naravno, mnogo je veća verovatnoća da će se Z0 raspasti u par elektron-pozitron ili muon-antimuon, kao što smo objasnili. Uspeh koji je teorija postigla u objašnjavanju tih parova ohrabruje nas da verujemo da je i raspad Z0 u kvark vrh i kvark antivrh predvidiv. Znači, ako proizvedemo dovoljno Z0, onda, po verovatnoćama kvantne teorije, treba da vidimo bar neki dokaz i za postojanje kvarka vrh. Pa ipak, među tolikim milionima proizvedenih Z0 čestica, u CERN-u, Fermilabu i drugde, ne nađe se baš nijedan takav raspad. Ovo nam govori nešto važno o kvarku vrh. Kaže nam da njegova masa mora biti veća od polovine mase Z0. Eto zašto Z0 ne uspeva da proizvede par vrh/antivrh kvark.

## **O ČEMU PRIČAMO?**

Teoretičari su, hodajući svakojakim, raznim stazicama prema hipotetičnom ujedinjenju, predložili veoma široku lepezu različitih hipotetičnih čestica. Obično su sve odlike takve neke čestice, osim njene mase, oštro određene modelom. Pošto nikako ne vidimo te 'egzotične', znamo koja im je donja granica mase, u skladu sa pravilom da što je veća masa nečega, teže je to nešto proizvesti.

Ovde ima posla za teoriju. Teoretičar Li kaže: sudar proton-antiprotone proizvešće jednu česticu, zasad hipotetičnu - hajde nek se ona zove recimo li-on - ukoliko je u sudar ušla dovoljna količina energije. Međutim, verovatnoća ili relativna učestanost proizvodnje tog li-ona zavisi od li-onove mase. Što je li-on teži, slučaj njegovog nastanka je ređi. Teoretičar hita da nam ponudi grafikon koji dovodi u vezu moguću dnevnu proizvodnju li-ona i moguću masu li-ona. Na primer: kad bi li-onova masa bila 20 GeV, mogli bismo da ih pravimo hiljadu na dan (to je da ti pamet stane - tako mnogo!). Ako je 30 GeV, dobijali bismo 2 li-ona na dan. Ako je 50 GeV, dobijali bismo hiljadinku dnevno; drugim rečima, trebalo bi da akcelerator radi punom snagom hiljadu dana da bi proizveo najzad jedan li-on. Međutim, eksperimentatori obično tvrde da opit ne može biti smatran uspešnim ako nemaju snimljeno bar deset događaja, jer postoje i razni drugi problemi, u vezi sa delotvornošću i pozadinskim smetnjama. Znači, sad eksperimentatori izvedu jedan niz opita od recimo 150 dana (godišnji niz), i ne nađu nijedan događaj sa li-onom. Bacimo pogled na krivu i pratimo je pogledom do mesta na njoj gde piše da je trebalo da bude proizvedeno, recimo, deset događaja. To odgovara, na primer, masi od 40 GeV. Konzervativna procena kaže da se pola događaja moglo i prevideti. Znači, kriva linija nam kaže: kad bi masa li-ona bila 40 GeV, videli bismo bar pet događaja, što bi bio prilično slab, ali ipak nekakav uspeh. Međutim, nismo videli ništa. Zaključak: masa li-ona mora biti veća od 40 GeV.

Šta bi bilo sledeće? Ako taj zamišljeni li-on, ili Higsova čestica, ili kvark vrh vrede da u njih dalje ulažemo pare i materijal, pred nama su tri moguće strategije za nastavak rada. Prvo, krenuti sa dužim nizovima, ali to je težak put. Drugo, postići veći broj sudara u sekundi - dakle, povećati luminoznost. Odlično! Upravo to Fermilab čini u devedesetim godinama, a cilj je da se luminoznost poveća otprilike stostruko. Pod uslovom da u sudare ulazi dovoljno energije (a 1,8 TeV je obilje energije), povećavanje luminoznosti će pomoći. Treća strategija jeste povećanje energije mašine, čime se povećava i verovatnoća da budu proizvedene sve teške čestice. To je put superkolajdera.



Otkrićem W i Z, identifikovali smo ukupno šest kvarkova, šest leptona i dvanaest baždarskih bozona (čestica-glasnika). Postoji u standardnom modelu još nešto sa čime se dosad nismo suočili, ali pre nego što pređemo na tu tajnu, trebalo bi da se još malo zadržimo na nekim drugim stvarima. Pisati model tako da bude razdeljen u tri pokolenja, što sad radimo, daje bar neki utisak sredenosti. Ali mi zapažamo i neke druge obrasce. Svako sledeće pokolenje ima sve veću težinu, što je krupna stvar u našem hladnom svetu danas, ali ne bi bilo mnogo značajno u doba kad je svet bio mlad i veoma vruć. Sve čestice u veoma mladoj Vaseljeni imale su ogromne energije - milijarde i milijarde TeV, tako da neka mala razlika između mase mirovanja kvarka dno i kvarka vrh ne bi mnogo značila. Svi kvarkovi, leptoni i tako dalje imali su u to davno doba otprilike jednaku snagu, bili su ravnopravni. Iz nekog razloga, Boginji su svi bili potrebni i ona ih je sve volela. Zato i mi moramo sve njih da shvatimo ozbiljno.

Podaci o Z0 u CERN-u nalažu još jedan zaključak: veoma je slaba verovatnoća da postoji četvrto ili peto pokolenje čestica. Šta kažete o takvom zaključku? Kako su mogli ti naučnici koji rade tamo u Švajcarskoj, gde snegom pokriveni planinski vrhovi, ledeno hladna duboka jezera i veličanstveni restorani mame pogled putnika namernika, doći to tako ograničavajućeg zaključka?

Fino su mogli. Argumentacija ide ovako. Čestica Z0 ima mnogo mogućih načina da se raspadne, a što ih više ima, to joj je kraći životni vek. Pa i ljudski život je kraći ako haraju bolesti, ako je odasvud puno neprijatelja i opasnosti. Doduše, to je pomalo bolesna analogija. Kod čestice Z0, svaka pojedina mogućnost raspadanja otvara još jedan put do nestanka. Zbir svih tih mogućnosti određuje koliko dugo će čestica poživeti. Hajde da zapazimo da nemaju sve čestice Z0 istu masu. Kvantna teorija nam kaže da ako je jedna čestica nestabilna - a to znači: ako ne živi večno - onda i njena masa mora da bude do neke mere neodređena. Hajzenbergove relacije govore nam kako vek čestice utiče na njenu distribuciju mase: dug život znači uzanu, a kratak život veliku raširenost u raspodeli mase. Drugim rečima, što je kraći život jedne čestice, to će biti nejasnije određena njena masa, a raspon njenih mogućih iznosa (vrednosti) mase širi. Teoretičari će biti presrećni da nam daju formulu za ovu povezanost. Raširenost raspodele mase lako je izmeriti kad imaš na raspolaganju milione Z0 čestica i stotinak miliona švajcarskih franaka za izgradnju detektora.

Ako namestimo energiju mašine tako da elektron i pozitron unose u svoj sudar znatno manje od prosečne mase Z0 koja iznosi 91,175 GeV, neće biti proizvedena nijedna Z0 čestica. Sad operater koji upravlja poslom kaže: pojačajte to malo. Pa još malo, i još, sve dok u detektorima ne počnemo da primećujemo pogdekoji Z0. Ako još pojačamo energiju sudara, i prinos željenih Z0 biće povećan. Tu, zapravo, ponavljamo onaj opit sa džej-psi-jem koji je izveden u SLAC-u, ali ovde je ustanovljena širina od čak 2,5 GeV. Naime, vrhunski prinos je na 91,175 GeV, a ako se energija snizi na 89,9 GeV ili poveća na 92,4 GeV, prinosi će opasti otprilike na polovinu. To je raspon od dva i po GeV tamo-amo. (Sećate se da je kod džej-psi čestice raspon mnogo uži: oko 0,05 MeV.) Zvonasta Gausova kriva normalne statističke distribucije daje nam širinu koja je u suštini ujedno i životni vek čestice Z0. Svaki pojedini mogući način da se Z0 raspadne oduzima toj čestici još oko 0,20 GeV života.

Kakve veze to ima sa četvrtim pokolenjem? Zapažamo da sva tri pokolenja imaju svoje neutrine koji su vrlo malene mase ili sasvim bez mase. Ako postoji i četvrto pokolenje sa neutrinom vrlo malene mase, onda za česticu Z0 mora postojati, kao jedna mogućnost raspadanja, i raspad na par neutrino-antineutrino tog novog pokolenja, četvrtog, što bi se pisalo  $\nu_x$  i  $\bar{\nu}_x$ . Ova mogućnost dodala bi širini masene raspodele čestice Z0 nekih 0,17 GeV. Iz ovog razloga, mi smo distribuciju mase Z0 proučili veoma pomno. I pokazalo se da je ona tačno, baš tačno ono što predviđa model u kome postoje samo tri pokolenja, a četvrto ne. Podaci o raširenosti Z0 takvi su da isključuju postojanje nekakvog neutrina niske mase četvrtog pokolenja. Sva četiri dosadašnja opita na LEP-u uklopila su se izvrsno i iz svih proističe čvrst zaključak da postoje samo tri para neutrina. Dakle, kažem još jednom: podaci dobijeni proizvodnjom Z0 isključuju mogućnost da postoji četvrto pokolenje čestica strukturisano jednako, sa nekim svojim neutrinom bez mase ili vrlo niske mase.

Gle čuda, isto ovo su nekoliko godina pre nas rekli i kosmolozi. Oni su svoje zaključivanje zasnovali na načinu na koji su se neutroni i protoni povezali i obrazovali hemijske elemente tokom ranog razdoblja širenja i hlađenja Vaseljene posle Velikog praska. Koliko će se u tim trenucima proizvesti vodonika, a koliko helijuma, to zavisi (neću objašnjavati) od toga koliko vrsta neutrina postoji; podaci o izobilju vodonika i drugog u kosmosu nalažu da postoje samo tri vrste neutrina. Tako je ispalo da uz pomoć LEP-a prošlost Vaseljene biva bolje shvaćena.

Eto, vidite, naš standardni model jeste, uistinu, maltene dovršen. Samo nam još kvark vrh nedostaje. Pa, dobro, nedostaje i tau neutrino, ali to, kao što smo videli, nije ni približno tako ozbiljno. Gravitaciju moramo da odložimo dok je teoretičari ne shvate bolje, ali, naravno, nedostaje i Higsova čestica, Božija čestica.

## **TRAGANJE ZA VRHOM**

Jedna TV emisija na kanalu 'NOVA', nazvana 'Trka prema vrhu', prikazana je godine 1990, kad su i CERN-ov proton-antiproton kolajder i Fermilabov CDF još radili. Naš CDF imao je prednost - bio je tri puta jači - naime, imao je tri puta višu energiju, 1,8 TeV u poređenju sa CERN-ovih 620 GeV. Cernovci su počeli da hlade svoje bakarne namotaje malo bolje, pa su zato uspeli da povećaju energiju i jednog i drugog svog zraka sa 270 GeV na 310 GeV. Upinjali su se da iscede i poslednju trunčicu snage iz svoje mašine da bi ostali u trci. Pa ipak, ostali su tripot slabiji... a taj 'činilac tri' veoma boli. Na strani CERN-a bile su i neke prednosti, devet godina duže iskustvo, razvijen softver, uhodanost u analizi podataka. Oni su i preuredili svoj izvor antiprotona, koristeći zamisli koje je objavio Fermilab. Zbog svega toga postizali su nešto malo više sudara nego mi. Tokom školske 1989-90. godine, detektor UA-1 povučen je u 'penziju'. Novi generalni direktor CERN-a bio je sad Karlo Rubija, a on je okrenuo pogled ka budućnosti svoje laboratorije; zadatak traganja za kvarkom vrh prepustio je detektoru UA-2. Usputni cilj bio je da se masa  $W$  čestica izmeri tačnije, jer ona je jedan od ključnih parametara standardnog modela.

Pomenuta televizijska emisija odradila je svoje i poslata je na spavanje, a ni fermijevci ni cernovci još nisu pronašli ni najmanji trag kvarka vrh. U stvari, kad je emitovanje emisije počelo, 'trka' je već bila završena, jer se CERN uveliko spremao da ispadne iz nje. I jedna i druga grupa istraživača tumačila je svoj neuspeh (odsustvo signala) masom neuhvaćene čestice. Kao što smo videli, kad jednu česticu ne uspevaš nikako da nađeš, to ti govori nešto o njenoj masi. Teoretičari su već znali sve o mogućoj proizvodnji kvarka vrh i o nekim 'kanalima' njegovog raspada, sve osim njegove mase. A verovatnoća da će biti proizveden zavisi, presudno, baš od njegove mase. I Fermilab i CERN odredili su istu donju granicu: masa kvarka vrh mora biti veća od 60 GeV.

Fermilab je 'trku' nastavio sam i malo-pomalo snaga naše mašine počela je da donosi plodove. Naš niz opita potrajao je još jedanaest meseci; za to vreme videli smo više od sto milijardi (10<sup>11</sup>) sudara - a nijedan kvark vrh. Sad je naša analiza dala novu donju granicu: masa tog kvarka ne može biti manja od 91 GeV. To znači da bi kvark vrh morao biti bar osamnaest puta teži od kvarka dno. Ovaj iznenađujući rezultat uznemirio je mnoge teoretičare koji su radili na objedinjenim teorijama, naročito one koji su se usmerili na elektroslabu silu. Jer, u tim modelima kvark vrh trebalo bi da ima mnogo manju masu; upravo zato su ga neki teoretičari posmatrali sa posebnim zanimanjem. Čak i sam koncept mase nekako je spojen sa Higsovom česticom. Da li ova velika težina kvarka vrh predstavlja ključ za nešto? Dok ne pronađemo kvark vrh, dok ne izmerimo njegovu masu i, sve u svemu, dok ga ne preslišamo do besvesti i nazad, nećemo znati.

Teoretičari su se vratili proračunima. Standardni model, zapravo, još nije bio narušen, nimalo. On u sebe može da primi kvark vrh koji bi bio težak čak i 250 GeV, smatrali su teoretičari, ali išta teže od toga značilo bi da postoji neka greška u samim temeljima standardnog modela. Eksperimentatori su tek sad rešili, čvršće nego ikad, da se bace u juriš ka kvarku vrh. Ali taj ima masu veću od 91 GeV; prema tome, CERN nije u igri. Mašine sa  $e^+$  i  $e^-$  imaju premalenu energiju - dakle - ništa od njih. I tako ostade na celome svetu Fermilab sam, jedini koji ima priliku da napravi kvark vrh. Samo treba bar

petostruko, pa ako je moguće i pedesetostruko, povećati broj sudara. To je izazov za devedesete godine.

## **STANDARDNI MODEL, KLIMAVA PLATFORMA**

Imam slajd sa slikom, meni vrlo dragom, na kojoj se vidi božanstvo odeveno u belu togu i sa oreolom iznad glave. Božanstvo stoji i gleda mašinu na kojoj piše: 'Mašina za proizvodnju vasseljena'. Na mašini postoji dvadeset poluga, svaka napravljena tako da je moguće pomeriti je do nekog određenog broja; tu je i jedno dugme na kome piše: 'Pritisni da dobiješ vasseljenu'. (Tu zamisao sam dobio od nekog studenta koji je iznad mašine za sušenje ruku u WC-u okačio natpis: 'Pritisni da dobiješ poruku od dekana'.) Zamisao je da onaj ko hoće da napravi jedan kosmos mora prvo da odredi nekih dvadesetak brojeva. Koji su to brojevi (ili parametri, kako se to kaže u svetu fizike)? Pa, evo, treba nam dvanaest brojeva da bismo precizirali mase kvarkova i leptona. Zatim tri broja koji će specifikovati snagu triju sila. Četvrta sila, gravitacija, nije stvarno deo standardnog modela, barem ne za sad.) Potrebni su nam neki brojevi i da bismo pokazali u kakvim je vezama jedna sila sa drugom. Onda jedan broj za način na koji narušavanje CP-simetrije ulazi u ovo, kao i jedan broj za masu Higsove čestice, i tako to... još poneko zgodno brojčano određenje.

Ako imamo tih dvadesetak osnovnih brojeva, sve ostale parametre možemo izvesti iz njih - na primer, onu dvojku u zakonu o obrnutoj srazmernosti kvadratu rastojanja, masu protona, veličinu vodonikovog atoma, strukturu H<sub>2</sub>O i dvostruke heliks-spirale (DNK), temperaturu na kojoj će se voda zamrzavati, kao i bruto-proizvod albanske privrede u godini 1995. Većinu tih izvedenih brojeva ja ne bih umeo da izračunam, ne bih znao ni kako da počnem, ali imamo ogromne računare, pa...

Težnja ka jednostavnosti nagoni nas da veoma ironično posmatramo potrebu da se odredi dvadeset parametara. Nijedan Bog koji drži do svog ugleda ne bi tako organizovao mašinu za pravljenje Vasseljena. Trebalo bi da mu je dovoljan jedan parametar, možda dva. Alternativni način da ovo isto kažemo bio bi sledeći: naše iskustvo sa prirodnim svetom navodi nas da očekujemo elegantniju organizaciju. Eto šta je, kao što smo se već požalili, stvarni problem kod našeg standardnog modela. Naravno da je pred nama još ogroman posao koji treba dovršiti da bi se parametri ustanovili tačno. Ali ne valja nam estetika: šest kvarkova, šest leptona, dvanaest baždarskih čestica koje prenose silu, a kvarkovi u tri razne boje, pa onda još i antičestice. I povrh svega sila teže koja tek čeka da stupi na pozornicu. Gde je Tales, sad kad nam je potreban?

A zašto je gravitacija izostavljena? Zato što još niko nije uspeo da prisili gravitaciju - dakle, opštu teoriju relativnosti - da se podvrgne kvantnoj teoriji. Ova tema, kvantna gravitacija, jeste jedno od graničnih područja na kojima se radi u naučnom istraživanju u devedesetim godinama. Da bismo opisali Vasseljenu u njenim sadašnjim velikim razmerama, kvantna teorija nije nam ni potrebna. Ali u jedno davno, staro vreme, cela Vasseljena bila je malena, ne veća od jednog današnjeg atoma - štaviše, i mnogo manja. Izuzetno slaba sila gravitacije bila je pojačana ogromnom energijom čestica od kojih su kasnije nastale sve planete, sve zvezde, sve ove milijarde galaksija sa milijardama zvezda u svakoj; sva ta masa bila je zbijena u nešto što je 'čiodina glava čiodine glave', nešto majušno u poređenju čak i sa jednim atomom. Zakoni kvantne fizike morali bi važiti i tu, u toj praiskonskoj gravitacionoj oluji, a mi ne znamo kako da to izvedemo! Među teoretičarima danas vlada uverenje da je središnji problem sveukupne savremene fizike upravo taj: kako sklopiti brak između opšte relativnosti i kvantne teorije. Teorijski napor koji se čine duž tih linija dobili su nazive 'supergravitacija', ili 'supersimetrija', ili 'superstrune', ili čak 'teorija svega' ('Theory of Everything' - TOE).

Ovde imamo egzotičnu matematiku pred kojom se upliću u čvor obrve čak i najboljih matematičara na ovome svetu. Priča se tu o deset dimenzija: o devet prostornih i o jednoj vremenskoj. Živimo u četiri dimenzije: tri su prostorne (istok-zapad, sever-jug i gore-dole), a vremenska je samo jedna. U svojoj intuiciji ne možemo nikako da doživimo više od tri prostorne dimenzije. "Nema problema", kažu nam. Onih dodatnih šest

dimenzija je navodno 'sabijeno', one su svijene i smotane u nešto nezamislivo maleno, tako da se ne primećuju u svetu koji je nama poznat.

Današnji teoretičari imaju jedan hrabar cilj: tragaju za teorijom koja će opisati devičansku jednostavnost u vrlo žestokoj vrelini vrlo rane Vaseljene, za teorijom koja neće da ima nijedan parametar. Sve mora da proistekne iz jedne, osnovne jednačine; svi parametri moraju da se rode iz te teorije. Problem je u tome što jedina teorija koja je, za sada, kandidat za tu ulogu nema nikakve veze sa svetom koji možemo da posmatramo; ili, barem, još nema. Ta teorija raspolaže samo jednim vrlo kratkim trenutkom u kome je bila primenljiva. Bilo je to u imaginarnom području za koje stručnjaci imaju naziv 'Plankova masa'; u tom vilajetu, sve čestice u Vaseljenu imale su energije milion milijardi puta veće od onoga što bismo mogli da domašimo pomoću superkolajdera. Koliko je bio kratak taj trenutak uzvišene slave? Bio je to milijarditi deo milijarditog dela milijarditog dela sekunde. Ubrzo posle toga, teorija postaje zbrkana - mogućnosti ima previše, ne postoji nikakva vidljiva putanja koja bi značila da na osnovu nečega može biti predskazan nastanak nas, ljudi, i planeta, i galaksija.

Sredinom osamdesetih godina TOE je bila fantastično privlačna za mlade fizičare naklonjene teoriji. Rizik je bio veliki da će uložiti duge godine rada, a da će rezultat biti možda vrlo malen ili nikakav; pa ipak su krenuli za svojim vođama (kao leminzi, rekao bi neko) prema Plankovoj masi. Mi koji smo ostali kod kuće, u Fermilabu i CERN-u, nismo od njih dobili nijednu razglednicu, nijedan telegram. Posle nekog vremena počelo je da se širi razočaranje. Neki od najzvezdanijih boraca za TOE najzad su rekli "Dosta!" i odustali. Zatim su se iz pravca Plankove mase počeli vraćati puni autobusi osujećenih teoretičara u potrazi za nečim stvarnim što bi moglo da se izračuna. Nije ta pustolovina još okončana, ali jeste usporena, sad se odvija smirenije; za to vreme ljudi pokušavaju da napreduju drugim, tradicionalnijim putevima ka objedinjenju.

Ti popularniji drumovi ka potpunom, vrhunskom načelu imaju otmene, moderne nazive. Nabrojaću samo nekoliko: grandiozno ujedinjenje, supersimetrija, tehnikolor. Svi pate od istog problema: nemaju podatke! Svejedno, zakuvali su gustu čorbu od predviđanja. Supersimetrija, za koju je, iz milošte, smišljen i nadimak 'Suzi', i koja je danas verovatno najpopularnija (pobedila bi kad bi teoretičari glasali, ali oni to ne čine), predskazuje ni manje ni više nego udvostručenje sada poznatog broja čestica. Kao što sam objasnio, kvarkovi i leptoni, za koje se zajedno kaže da su fermioni, svi imaju pola jedinice spina, dok čestice-prenosioci, zbirno nazvane 'bozoni', sve imaju po jednu celu jedinicu spina. Kod Suzi je ova asimetrija ispravljena ovako: tvrdi se da svaki bozon ima svog fermionskog partnera i svaki fermion svog bozonskog partnera. A što su lepe nazive dobile te čestice! Prelepe. Supersimetrični ortak elektrona zvao bi se 'selektron', a partneri svih leptona imali bi zbirni naziv 'sleptoni'. Drugari naših kvarkova zvali bi se 'skvarkovi'. Svaki bozon, imajući spin 1, dobio bi partnera sa spinom 1/2 i sa nazivom koji bi se pravio dodavanjem sufiksa 'ino' - na primer, partner gluona bio bi 'gluino', fotona 'fotino', čestice W 'vino', a uz Z bi došao 'zino'. Sve je to baš slađano, ali šarmantna privlačnost ne čini teoriju. Ipak, popularno je.

Traganje za skvarkovima i vinoima će se nastaviti na Tevatronu koji će tokom devedesetih godina postepeno pojačavati svoju moć, a počće i na onim mašinama koje će od 2000. godine proraditi. Superkolajder, koji se gradi u Teksasu, omogućiće istraživanje 'masenog područja' sve do, približno, 2 TeV. Definicija šta je to 'maseno područje' vrlo je labava i zavisi od pojedinosti reakcije u kojoj se neka nova čestica stvara. Međutim, jedan znak moći superkolajdera jeste i to što, ako u toj mašini ne bude nađena nijedna čestica Suzi, većina zastupnika teorije Suzi pristaje da napusti tu teoriju, i to na svečanosti na kojoj će svi oni javno polomiti sve svoje drvene olovke.

Ali superprovodni superkolajder (SSC) ima i jedan neposredniji cilj, a to je da ulovi plen koji je mnogo hitniji i bitniji od svih skvarkova i sleptona. Standardni model, kao sažetak svega što znamo, ima dva glavna nedostatka, i to jedan estetski, a drugi konkretan. Naše estetsko čulo kaže nam da ima previše čestica, previše sila. Što je još gore, mnoge čestice (i to kvarkovi i leptoni) razlikuju se između sebe isključivo po svojim masama, koje kao da su im sasvim nasumce 'date'. Čak se i sile između sebe razlikuju uglavnom zbog različitih masa koje su 'pripisane' česticama-nosiocima. Onaj konkretni problem jeste problem neusaglašenosti. Uzmemo naše teorije o poljima sila, teorije koje

se upečatljivo slažu sa svim podacima, i zatražimo od njih da predvide kakvi će biti rezultati opita koje tek treba izvesti, na vrlo visokim energijama; i šta dobijemo? Dobijemo gomilu besmislica, koje fizika ne može prihvatiti. I jedan i drugi problem mogu biti bolje osvetljeni, a možda i razrešeni, ako postoji jedan predmet, i jedna sila, koje bismo mogli obazrivo da ugradimo u standardni model. Taj predmet i ta sila imaju isti naziv: Higs.

## **I KONAČNO...**

Svi vidljivi predmeti, i čovek, samo su kao kartonske maske. Ali u svim događajima... neka sila razumna, a nepoznata, iza maske nerazumne, oblikuje masku, crte joj daje. Ako ćeš udariti kao čovek, udri kroz masku!

### Kapetan Ahab

Jedan od najfinijih romana u američkoj književnosti jeste *Mobi Dik* Hermana Melvila (Herman Melville). To je takođe jedan od romana najviše razočaravajućih - bar za glavnog junaka, kapetana Ahaba. Stotinama stranica slušamo kako se Ahab upinje da harpunom probode velikog okeanskog sisara po imenu *Mobi Dik*. Ahab je besan, smatra da je zeznut. Taj kit mu je odgrizao nogu. Ahab hoće osvetu. Neki kritičari nagoveštavaju da je u tom ugrizu kita Ahab izgubio i još nešto uz nogu; to bi kudikamo bolje objasnilo zašto on baš toliko mrzi *Mobija Dika*. Svome pomoćniku, koji se zove *Starbak*, Ahab objašnjava da *Mobi Dik* nije samo kit, nego i nešto više. *Mobi Dik* je kartonska maska; *Mobi Dik* samo zastupa jednu silu prirode, a sa tom silom se Ahab mora suočiti. I tako, Ahab i njegova posada stotinama stranica jurcaju po okeanu, doživljavaju svakojake pustolovine i nevolje, usput ubijaju mnoge manje kitove različitih masa. Konačno, povik "Eno, duva!" Ugledaju velikog belog kita. Zatim se sve razreši u brzom sledu događaja: kit udavi Ahaba, pobije i sve ostale harpunere, i još im, za dobru meru, potopi lađu. Kraj priče. Ta priča ima tužan kraj. Možda je Ahab mogao da uspe da je imao veći harpun, ali nije mogao da ga nabavi zbog budžetskih ograničenja u devetnaestom veku. Hajde da se to ne dogodi nama. *Mobi čestica* je na domašaju harpuna.

O našem standardnom modelu svakako moramo da postavimo ovo pitanje: da li je samo kartonska maska? Kako može jedna ista teorija da bude u punoj saglasnosti sa podacima prikupljenim na niskoj energiji, a da predviđa kojekakve gluposti za visoke energije? Odgovor je taj da je nešto izostavljeno iz teorije, neka nova pojava; ali pojava koja će, kad bude jednog dana ugrađena u našu teoriju, neznatno uticati na podatke koji se prikupljaju pri, recimo, Fermilabovim energijama, tako da saglasnost sa onim što je dosad opitno ustanovljeno neće biti pokvarena. Mogla bi to biti, na primer, neka nova čestica, ili promena u ponašanju neke sile. Ove postulisane nove pojave morale bi da deluju zanemarljivo malo pri niskim energijama, ali vrlo jako pri energijama superkolajdera. Kad u jednoj teoriji nedostaju takve odrednice (jer ih još ne znamo), onda teorija, dabome, daje matematički neprimerene rezultate za visoke energije.

Ovo donekle liči na njutnovsku fiziku, koja radi izvrsno za obične pojave, ali kaže da bilo koji predmet možemo da ubrzavamo i ubrzavamo do beskonačno velikih brzina; ova slabo verovatna posledica pada i biva zauvek onemogućena čim se u Njutnovu teoriju ugradi Ajnštajnova posebna teorija relativnosti. Relativnost ima nemerljivo mali uticaj na ponašanje puščanih metaka i lansiranih raketa. Ali kad se neki predmet počne ozbiljno da se bliži brzini svetlosti, pojavljuje se jedno novo dejstvo: masa tog brzog i sve bržeg predmeta povećava se. Beskonačna brzina je nedostupna. Desilo se, eto, da se posebna teorija relativnosti stapa sa njutnovskim rezultatima pri brzinama koje su u odnosu na brzinu svetlosti vrlo skromne. Slabost ovog primera sastoji se u tome što koncept beskonačne brzine, iako je možda uznemiravao neke njutnovce, nije ni približno onako traumatičan kao ono što se nama dogodi kad pokušamo da primenimo standardni model na visoke energije. Vratićemo se ovom razmatranju uskoro.

## **KRIZA MASE**

Nagoveštavao sam da bi svrha Higsove čestice mogla biti da daje masu česticama koje masu nemaju, i time da prikriva istinsku simetriju sveta. Ovo je jedna nova, bizarna zamisao. Dosad je, kao što smo videli u našoj mitskoj istoriji, jednostavnost pronalazena tako što su ispod izvesnih struktura otkrivane druge, niže - dakle, supstrukture. To je u skladu sa Demokritovom idejom o atomosu. Tako smo mi putovali od molekula do hemijskog atoma, odatle do jezgra, pa do protona i neutrona (i njihove mnogobrojne grčke rodbine), i najzad do kvarkova. Istorija bi nas navela na očekivanje da ćemo sad pronaći u kvarkovima neke male momke; ovo se i te kako može još dogoditi. Ali mi ne verujemo stvarno da će na taj način biti dostignuta dugo očekivana potpuna teorija sveta. Možda stvar više liči na spravicu koju sam ranije pominjao, kaleidoskop, u kome nekoliko ogledala dobacuje svetlost tamo-amo na takav način da nekoliko komadića obojenog stakla dobije privid složenih pravilnih šara. Konačni smisao postojanja Higsa (ovo više nije nauka, ovo je sad filozofija) mogao bi biti da stvori jedan zabavniji, složeniji svet, u skladu sa kitolovačkom alegorijom koju sam dao kao moto ovom potpoglavlju.

Ta nova zamisao kaže da sav prostor sadrži u sebi jedno polje, Higsovo polje, koje prožima sav vakuum i koje je prisutno svuda. Ovo znači da kad u vedroj noći podigneš pogled ka zvezdama, vidiš ih kroz Higsovo polje. Čestice pod dejstvom tog polja dobijaju masu. Ovo samo po sebi ne bi bilo ništa naročito zato što čestice već dobijaju energiju od (baždarskih) polja koja smo pominjali - naime, od gravitacionog ili elektromagnetnog. Na primer, ako uzmeš jedan blok olova i izneseš ga na vrh Ajfelove kule, taj komad materijala stiče potencijalnu energiju zato što je promenio mesto u Zemljinom gravitacionom polju. Pošto je  $E = mc^2$ , ovo povećanje potencijalne energije ravno je povećanju mase, u ovom slučaju mase sistema olovni blok-Zemlja. Ovde moramo nežno da pridodamo jednu malu složenost Ajnštajnovoj staroj, sedoj jednačini. Ta masa,  $m$ , sastoji se, zapravo, iz dva dela. Jedno je masa mirovanja,  $m_0$ , ona koju merimo u laboratoriji kad neka čestica miruje. Drugi deo mase je onaj koji čestica 'stiče' svojim kretanjem (recimo, protoni u našem Tevatronu) ili svojom potencijalnom energijom u nekom polju. Sličnu dinamiku vidimo kod atomskih jezgara. Na primer, ako počneš da razdvajaš proton i neutron koji sačinjavaju jedno jezgro deuterijuma, zbir njihovih masa počne da se povećava.

Ali potencijalna energija izvedena iz Higsa razlikuje se na nekoliko načina od delovanja onih polja koja su nam bolje znana. Masa koju Higs daje upravo je masa mirovanja. Zapravo, u jednoj verziji (možda najizazovnijoj) Higsove teorije, svu masu stvara Higsovo polje. Druga razlika sastoji se u tome što razne čestice usisaju, upiju u sebe, različite količine mase. Teoretičari kažu da mase čestica u našem standardnom modelu jesu mera koliko su jako te čestice spojene sa Higsovim poljem.

Higsov uticaj na mase kvarkova i leptona podseća nas na otkriće Pitera Zemana (Pieter Zeeman) iz 1896. godine; tada je on otkrio da energetski nivo jednog elektrona u jednom atomu može biti 'rascepljen' na više nivoa kad se na taj atom primeni magnetno polje. To polje (koje ovde igra Higsovu ulogu) razbije simetriju prostora u kojoj je elektron dotad uživao. Na primer, pod uticajem magneteta jedan energetski nivo rascepi se na tri nivoa: nivo A dobija energiju od tog magnetnog polja, nivo B gubi energiju, a nivo C se uopšte ne izmeni. Naravno, danas u potpunosti razumemo kako se to dešava. To je jednostavan kvantni elektromagnetizam.

Zasad pojma nemamo kakva pravila kontrolišu higsovsko uvećanje mase. Ali gricka nas pitanje: zašto samo te mase - mase  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$ , šest kvarkova (gore, dole, šarma, čudnog, vrha i dna) i leptona - mase kod kojih se ne primećuje nikakav pravilan međusobni odnos, obrazac? To su mase u rasponu od elektronove, koja iznosi samo 0,0005 GeV, do mase kvarka vrh, koja bi morala biti veća od 91 GeV. Treba da se prisetime da je ova bizarna zamisao - Higsova - upotrebljena sa velikim uspehom u formulisanju elektroslabe teorije. Tu je, naime, Higsovo polje bilo predloženo kao ono koje prikriva jedinstvo elektromagnetne i slabe sile. U jedinstvu, postoje četiri čestice-prenosioca bez mase -  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  i foton - i sve one prenose elektroslabu silu. Nailazi Higsovo polje i, gle čuda, obe  $W$  i  $Z$  upijaju u sebe esenciju Higsa i postaju teške; a foton

ostaje nedirnut. Zato se elektroslaba razlomi na slabu (koja i mora biti slaba kad su joj nosioci tako debeli) i elektromagnetnu, čije odlike određuje foton, koji masu nema. Ova simetrija slomila se spontano, kažu teoretičari. Meni se više dopada opis koji kaže da Higs, pomoću svoje sposobnosti pridavanja mase, prikriva simetriju. Mase obe W čestice i Z čestice uspešno su predskazane, izvedene iz parametara elektroslabe teorije. Osim toga, nehajni osmesi teoretičara podsećaju nas na to da su t'Huft i Veltman ustanovili da u elektroslaboj teoriji nema onih beskonačnosti.

Ja se toliko zadržavam na ovom pitanju mase između ostalog i zato što me je ono pratilo tokom celog mog profesionalnog života. U četrdesetim godinama ovog veka činilo se da je pitanje jasno fokusirano. Imali smo dve čestice koje su odlično simbolizovale zagonetku mase: elektron i muon. Izgledalo je da su istovetne u svakom pogledu, osim što je muon dvesta puta teži od svog perolakog srodnika. Činjenica da su to leptoni, koji prenebregavaju jaku silu, činila je ovu stvar još izazovnijom. Mene je taj problem opsedao, i zato je muon bio moj najomiljeniji predmet proučavanja. Cilj je bio naći još neku razliku (osim mase) između elektrona i muona, možda neku razliku u njihovom ponašanju koja bi dala ključ za shvatanje mehanizma koji je doveo do njihove različitosti u masi.

Dešava se da neki elektron uleti u neko jezgro i tu ostane zarobljen, a posledica je da izleti jedan neutrino, a jezgro da odskoči unazad pod udarom elektrona. Može li i muon ovo? Izmerimo mi proces ovakvog hvatanja muona - i, gle, ista stvar! Pa onda: visokoenergetski zrak elektrona rasipa protone. (Ova reakcija je proučavana na Stenfordu.) Izmerimo istu reakciju u Brukhejvenu sa muonima. Pokazala se neka mala razlika koja nas je godinama vukla za nos i od koje nakraju nije bilo ništa. Čak smo otkrili da elektron i muon imaju različite neutrinske partnere. U ovoj knjizi je već bilo govora o supertačnom opitu g minus 2, u kome je magnetizam muona meren i poređen sa magnetizmom elektrona. Izuzev dejstva dodatne muonove mase, našosmo da je magnetizam sasvim jednak.

Svi naponi da se pronađe neki nagoveštaj o poreklu mase propali su. Negde usput Fajnmen je zapisao svoje čuveno pitanje: "Zašto muon teži?" Sad imamo makar i delimičan odgovor. Jedan stentorski moćan glas viče nam: "Zbog Higsa!" Već pedeset i više godina iščuđavamo se otkud masa, a sad nam Higsovo polje izlaže to isto pitanje u novom kontekstu: nije reč više samo o muonu. Higsovo polje daje nam, ako ništa drugo, ono bar zajednički izvor svake mase i svih masa. Novo fajnmenovsko pitanje glasilo bi: kako Higsovo polje određuje ovu prividno nesređenu množinu svakojakih masa koje se pojavljuju kod materijalnih čestica?

Promena mase sa promenama kretanja tela, zatim promena mase pri raznim konfiguracijama sistema i, najzad, činjenica da neke čestice (foton svakako, a neutrino možda) imaju nultu masu mirovanja - to su tri stvari koje bacaju sumnju na uverenje da je masa osnovna odlika materije. A ne smemo baš sasvim zaboraviti ni ona izračunavanja mase koja su dala beskonačno velike rezultate; mi to nikada nismo rešili, samo smo sklonili i zabašurili pomoću 'renormalizacije'. Imajući u vidu ovu pozadinu, suočavamo se sa problemom kvarkova, leptona i prenosilaca sile - dakle, čestica koje se međusobno razlikuju po svojim masama. Zato naša priča o Higsu postaje branjiva - priča da masa nije unutrašnja odlika čestica samih, nego da je odlika koja se rađa iz međudelovanja čestice i njene okoline. Naelektrisanje je unutrašnja odlika čestice same, a i spin je to; pomisao da masa to nije postaje nam još verovatnija kad zamislimo idiličnu sliku po kojoj je masa svih kvarkova i svih leptona jednaka nuli. Ako bi tako bilo, oni bi imali jednu zadovoljavajuću simetriju, hiralnu, u kojoj bi njihovi spinovi bili za većita vremena spojeni sa njihovim pravcem kretanja. Ali ovu idilu prikriva fenomen Higs.

Ah, da, još nešto. Govorili smo o baždarskim bozonima i njihovom spinu 1; takođe o fermionima, koji su čestice materije i koji imaju spin 1/2. Koja rasa mačora je Higs? Bozon sa nultim spinom. Reč spin podrazumeva neku usmerenost u prostoru, dok, međutim, Higsovo polje daje masu predmetima na svim mestima, i to bez ikakvog usmeravanja. Zato se ponekad kaže da je Higs 'skalarni bozon'.

## **KRIZA JEDINSTVENOSTI**

Iako nas ovo polje veoma 'golica' tom svojom sposobnošću da daje masu, jedan od mojih omiljenih teoretičara, Tim Veltman, kaže da je to Higsova dužnost koja je daleko manje značajna od one glavne - naime, od dužnosti da se (ništa manje!) naš standardni model učini unutarnje doslednim. Jer, bez Higsa model pada na jednom jednostavnom testu unutarnje doslednosti.

Evo kako. Puno smo pričali o sudarima. Hajde da uzmemo, recimo, sto čestica i pomoću njih gađamo određenu metu - na primer, parče gvožđa čija je površina jedan kvadratni centimetar. Teoretičar, čak i onaj skromnih sposobnosti, može da izračuna kolika je verovatnoća (sećate se, kvantna teorija nam dopušta samo da izračunavamo verovatnoće) da će se dogoditi rasipanje. Teorija može predvideti, recimo, verovatnoću od deset posto, što bi značilo da će se, od tih stotinu čestica ispaljenih na gvožđe, deset čestica razasuti. E, sad, mnoge teorije predviđaju da će verovatnoća rasipanja zavisiti od energije upotrebljenog zraka. Pri niskoj energiji, sve nama poznate teorije sila - jake, slabe i elektromagnetne - predskazuju verovatnoće koje su u skladu sa onim što smo opitima ustanovili. Međutim, kod slabe sile verovatnoća se pojačava sa energijom, tako da već pri nekoj osrednjoj energiji dostiže 40 posto. Ali kad teorija kaže da će verovatnoća rasipanja biti veća od 100 posto, onda, jasno, ta teorija više ne valja. Nešto je u njoj svakako pogrešno, jer verovatnoća veća od 100 posto je besmislica, značila bi, bukvalno, da se sa gvozdene površine rasipa više čestica nego što je ispaljeno. Kad se ovo desi, kažemo da je teorija pogazila jedinstvenost - naime, nadmašila je verovatnoću 1 (stopostotnu).

U našoj istoriji, zagonetka se sastojala u tome što je teorija slabe sile bila u dobroj saglasnosti sa opitnim podacima pri niskoj energiji, ali je za visoke energije predviđala gluposti. Ova kriza otkrivena je u vreme kad je energija pri kojoj je nastupala ta katastrofa u predviđanju bila, još, izvan dohvata postojećih akceleratora. Ovaj neuspeh teorije nagovestio je da je nešto iz nje izostavljeno, neki novi proces ili možda neka nova čestica, i da bismo mogli, možda, kad bismo samo znali šta je to izostavljeno, da sprečio ovo povećanje verovatnoća do besmislenih procentnih vrednosti. Slabu silu je, to ste zapamtili, izmislio Fermi da bi nekako objasnio radioaktivni raspad jezgara. Takvi raspadu su u osnovi niskoenergetski događaji; Fermijeva teorija se razvila i počela veoma tačno da predviđa ogroman broj raznih procesa u energetskom rasponu do 100 MeV. Jedna od naših pobuda za opit sa dva neutrina bila je i ta da proverimo Fermijevu teoriju pri višim energijama, jer se očekivalo da će kriza jedinstvenosti nastupiti već oko 300 GeV. Naš opit, izveden na samo nekoliko GeV, potvrdio je da se teorija kreće prema krizi. Ispostavilo se da je ovo pokazatelj da su teoretičari izostavili iz teorije jednu W česticu mase približno 100 GeV. Prvobitna Fermijeva teorija, u kojoj nije bilo nikakvih W čestica, bila je matematički ravna upotrebi jednog beskonačno masivnog prenosioca sile, a 100 GeV je tako ogromno veće od energije upotrebljene u ranim opitima (ispod 100 MeV) da je i takva teorija radila dobro. Ali kad smo pitali tu teoriju šta će da urade neutriini od 100 GeV, morali smo da uračunamo i W česticu od 100 GeV da bismo izbegli krizu jedinstvenosti... ali to nije sve. Još nešto je potrebno.

Pa, eto, ovaj pregled ranijih događaja služi naprosto kao pomoć da objasnimo da naš standardni model danas boluje od bolesti jedinstvenosti, i to u najvirulentnijem obliku. Katastrofa se sada dešava pri energijama od oko 1 TeV. Predmet koji bi omogućio da se ta katastrofa izbegne - kad bi postojao - jeste jedna neutralna teška čestica sa posebnim odlikama. Nazivamo je, pogodili ste, Higsova čestica. (Ranije smo govorili o Higsovom polju, ali vi pamтите da su i polja kvantna, a kvanti polja su čestice - jedan određeni niz čestica.) Mogao bi to biti isti onaj objekt koji dovodi do nastanka različitih masa, ili već neki sličan. Moguće je da postoji samo jedna Higsova čestica, ili porodica Higsovih čestica.



## **HIGSOVA KRIZA**

Na mnoga pitanja mogao bi se naći odgovor. Koje su osobine Higsovih čestica i, najvažnije od svega, kolika je njihova masa? Kako ćemo prepoznati Higsovu česticu ako je vidimo u nekom sudaru? Koliko tipova Higsove čestice postoji? Da li Higs stvara sve mase, ili samo do neke mere povećava mase? Kako da saznamo više o ovome? Pošto je to Njena čestica, možemo naprosto da čekamo, pa ako budemo vodili primeran život, saznaćemo kad se vaznesemo u Njeno carstvo. Druga nam je mogućnost da potrošimo osam milijardi dolara i sagradimo taj superkolajder u mestu Vaksahači u Teksasu, koje je predviđeno kao pogon za proizvodnju Higsovih čestica.

I kosmologe očarava Higsova zamisao jer su se oni, manje-više, spotakli o potrebu da imaju i skalarna polja koja bi učestvovala u veoma složenom procesu širenja Vaseljene. Time su povećali teret koji Higs mora da nosi. O ovome će biti više reči u devetom poglavlju.

Higsovo polje, kako ga sada zamišljamo, može biti uništeno visokim energijama (ili visokim temperaturama) zato što one dovode do kvantnih fluktuacija koje ga neutrališu. Prema tome, ujedinjena čestično-kosmološka slika rane Vaseljene, čista i zasenjujuće simetrična, prevruća je za Higsu. Ali čim temperatura spadne ispod 1015 stepeni Kelvina ili 100 GeV, Higs digne nos i uradi to svoje sa masom. Tako, na primer, pre Higsu imamo W i Z čestice i fotone bez mase, kao i objedinjenu elektroslabu silu. Vaseljena se širi i hladi i, gle, pojavljuje se Higs, W i Z se ugoje - ali Higs iz nekog razloga prenebregne fotone - a posledica toga jeste slom elektroslabe simetrije. Dobijemo zasebnu slabu silu, čiji prenosioci jesu masivne čestice W+, W- i Z0, kao i zasebnu elektromagnetnu silu koju prenose fotoni. Stvar dejstvuje kao da je za neke čestice Higsovo polje kao gusto ulje, kroz koje se te čestice protiskuju tromo, pa zato izgledaju kao da su masivne. Za neke druge čestice Higsovo polje je kao voda, one se kroz njega kreću lakše. A za neke čestice, kao što su fotoni i možda neutrini, Higsovo polje je nevidljivo.

Trebalo bi, valjda, da dam jedan kratak pregled nastanka Higsove zamisli; malo sam se, dosad, ustručavao da pustim tu mačku iz vreće. Higsova zamisao još se naziva 'skrivena simetrija', odnosno 'spontano slamanje simetrije'. U fiziku čestica uveo ju je Piter Higs sa Univerziteta Edinburg. Onda su je upotrebili teoretičari Stiven Vajnberg i Abdus Salam, radeći nezavisno jedan od drugoga, i pomoću nje objasnili kako se to može jedna objedinjena i simetrična elektroslaba sila, koju prenosi srećna porodica sačinjena od četiri čestice-glasnika bez ikakve mase, preobratiti u dve veoma različite sile: u QED (kvantnu elektrodinamičku) sa fotonom koji ostaje bez mase, i u slabu silu koju prenose masivne čestice W+, W- i Z0. Vajnberg i Šalam su gradili na ranijem radu Šeldona Glešoua, koji je, idući stopama Džulijana Švingera, naprosto znao da mora postojati jedna unutarnje dosledna, objedinjena elektroslaba teorija, ali nije baš složio sve pojedinosti u jednu celinu. Radili su na ovoj stvari i Džefri Goldstoun, Martinus Veltman i Žerar t'Huft. Bilo je i drugih i trebalo bi da ih pomenem, ali, eto, to vam je život. Uostalom, koliko teoretičara treba uključiti da bi proradila jedna sijalica?

Drugi način da gledamo Higsu jeste iz perspektive simetrije. Pri visokim temperaturama simetrija se otkriva našem vidu - kraljevska simetrija, čista jednostavnost. Pri nižim temperaturama ona biva skršena. Vreme je da upotrebim još alegorija.

Razmišljajte o jednom magnetu. Magnet je magnet zato što pri niskim temperaturama njegovi atomi, koji su magnetčići, ostaju postrojeni. Magnet ima jedan svoj poseban pravac, svoju osovinu sever-jug. Prema tome, propala mu je ona simetrija koju je imao dok je bio parče nemagnetnog gvožđa kod kojega su svi prostorni pravci jednako 'vredni'. Ovo možemo da 'popravimo'. Zagrevamo magnet sve dok se ne pretvori opet u nemagnetno gvožđe. Vrelina prinuđuje molekule na uzrujano kretanje tamo-amo, tako da magnetčići (atomi) napuste svoj paradni poredak i okrenu se kud koji. Eto nama čistije simetrije. Postoji još jedna metafora za ovo: meksikanski šešir. On je jedna simetrična kupola okružena simetričnim podvrnutim obodom. Stavite kliker na vrh kupole. Rotaciona simetrija savršena, stabilnosti nema. Kliker se skotrlja niz kupolu i zaustavi se u stabilnijem položaju (sa nižom energijom) negde na obodu, to jest u obodu šešira. I sad je simetrija upropašćena iako osnovna struktura ostaje simetrična.

Evo i trećeg poređenja. Zamišljamo savršenu kuglu ispunjenu vodenom parom na vrlo visokoj temperaturi. Simetrija savršena. Ako dopustimo da se sistem hladi, posle nekog vremena imaćemo baru vode po kojoj će ploviti i nešto leda, a iznad toga ostaće ipak i malo zaostale vodene pare. Simetrija je sasvim upropašćena najjednostavnijim hlađenjem, koje je dopustilo da se ispolji dejstvo sile teže. Međutim, u raj simetrije ova kugla se ipak može vratiti tako što ćemo je, naprosto, zagrejati.

Dakle: pre Higs, simetrija i sve dosadno. Posle Higs, složenost i uzbuđenje. Kad sledeći put dignete pogled ka noćnom nebu, trebalo bi da budete svesni da je sav prostor ispunjen tim tajnovitim Higsovim uticajem koji je, kaže nam teorija, doveo do sve ove složenosti sveta koji nam je poznat i koji volimo.

Sad zamislite formule (puuuuh...) koje daju tačna predviđanja i potvrde odlika raznih čestica i sila izmerenih u Fermilabu i drugim laboratorijama u devedesetim godinama. Kad u te formule uguramo vrednosti za reakcije koje tek treba obaviti, pri mnogo višim energijama, dobijemo gomilu koještarija. Ali - aha! Ako uračunamo i Higsovo polje, time menjamo teoriju dovoljno da se dobiju razumni rezultati i pri 1 TeV. Higs spasava stvar, spasava nam standardni model i sve vrline njegove. Da li sve ovo dokazuje da je standardni model istina? Ma, ne. On je naprosto najbolje što su teoretičari u stanju da urade. Boginja je lukavija.

## **DIGRESIJA NI O ČEMU**

Tačnije, o ničemu. U starim danima, u Maksvelovo doba, fizičarima se činilo da moraju imati neki medijum kojim bi sav prostor bio prožet; kroz taj medijum bi se prostirali talasi svetlosti i druga elektromagnetna talasanja. Nadenuli su mu naziv eter i odredili su koje odlike mora da ima da bi mogao obavljati svoj posao. Eter je ujedno dao i jedan apsolutni koordinatni sistem naspram koga je bilo moguće izmeriti brzinu svetlosti. Ajnštajnu je 'sinulo' da je eter nepotreban tovar koji samo opterećuje Vaseljenu. Sad se već kačimo sa jednim mnogo obožavanim, starim konceptom, a to je ona 'praznina', ono 'ništa' koje je izmislio (ili otkrio) Demokrit. Danas je praznina, za koju se koristi naziv 'vakuumsko stanje', u prednjem i u srednjem delu nauke.

Vakuumsko stanje sastoji se od onih oblasti kosmosa gde nema baš nikakve materije i gde nema nikakve energije, a ni impulsa. Ono je 'ništa, baš ništa'. Džejms Bjorken, govoreći o tom stanju, kaže da je bio u iskušenju da uradi u fizici ono što je Džon Kejdž (John Cage) uradio u muzici: da publici odsvira četiri minuta i dvadeset dve sekunde... ničega. Tišine. Odustao je samo zato što se plašio kako će reagovati predsedavajući na toj konferenciji. Jest da je taj Bjorken stručnjak za vakuumsko stanje, o čijim odlikama mnogo zna, ali ni blizu nije t'Huftu, koji o baš ničemu zna još mnogo više.

Tužni deo priče jeste to što je devičanska celovitost vakuumnog stanja (kao koncepta) tako teško zabrljana (čekajte samo dok to doznaju ekolozi...) radom teoretičara u dvadesetom veku, da sad tu vlada strašna gužva, neopisivo složenija nego što beše odbačeni eter devetnaestoga veka. Ne govorim tu samo o onim avetima virtuelnih čestica, kojih ima tako mnogo, nego i o Higsovom polju, čije pune razmere još ne znamo. Da bi Higsovo polje radilo svoj posao, mora da postoji (i da se u opitima pokaže) bar jedna Higsova čestica, električno neutralna. Ona bi mogla biti samo vrh ledenog brega; mogao bi postojati čitav jedan zoološki vrt Higsovih bozonskih kvanta, i tek svi oni zajedno dovršili bi opis ovog novog etera. Očigledno, ovde su na delu nove sile i novi procesi. Ono malo što znamo, možemo rezimirati ovako: bar neke od čestica koje predstavljaju Higsov eter moraju imati spin jednak nuli, moraju biti blisko, ali tajanstveno povezane sa masom, i moraju se ispoljiti na temperaturama koje su ravne energiji manjoj od 1 TeV. Ima nesuglasica oko moguće strukture Higs. Jedna škola mišljenja kaže da je Higs temeljna čestica. Ali neki drugi ljudi misle da je Higs sagrađen od nekih novih predmeta, nalik na kvarkove, koji bi jednog dana takođe mogli biti viđeni u laboratoriji. Treći tabor je zaintrigiran ogromnom masom kvarka vrh i misli da bi Higs mogao biti sagrađen od jednog kvarka vrh i jednog kvarka antidno koji su u vezanom stanju. Tek će nam podaci reći ko je u pravu. U međuvremenu, ostaje nam da se zaprepašćujemo kako to uopšte uspevamo da vidimo ijednu zvezdu.

Novi eter je, dakle, referentni okvir za energiju, u ovom slučaju potencijalnu energiju. Sam Higs ne može da objasni i druge krhotine i razno teorijsko smeće koje je istovareno u vakuum. Baždarske teorije izručuju u vakuum razne svoje zahteve, kosmolozi iskorišćavaju 'lažnu energiju vakuuma', a tokom razvoja Vaseljene taj isti vakuum uspeva i da se rasteže i širi.

Čovek naprosto čezne da se pojavi neki novi Ajnštajn koji bi, u jednom nadahnutom uviđanju, dokučio istinu i vratio nam ono naše divno ništa.

## **PRONAĆI HIGSA!**

Znači, Higs je nešto veoma dobro. Pa zašto onda nije i opšteprihvaćen? Piter Higs, koji je toj čestici pozajmio svoje prezime (ne svojom voljom), sad radi na drugim stvarima. Veltman, jedan od arhitekata Higsove čestice, kaže da je ona tepih pod koji nastojimo da pometemo sva svoja neznanja. Glešou je još neugodniji, on kaže da je Higsova čestica klozet u koji mi bacamo sve što je u našim teorijama neusaglašeno, a onda povučemo vodu. Postoji i još jedna primedbica, možda jača od svih tih ostalih kritika: nije nađen još nijedan, baš ni najmanji dokaz o postojanju Higsove čestice.

Kako bi čovek mogao dokazati da to polje postoji? Higs, baš kao i QED, QCD, ili slaba sila, ima svoju česticu-nosioca, a to je Higsov bozon. Dokazati da Higs postoji? Pa, dovoljno je pronaći taj bozon. Standardni model prikladno je snažan da nam kaže da od svih Higsovih čestica koje možda postoje (a možda postoje mnoge), ona sa najnižom masom mora da ima 'težinu' manju od 1 TeV. Zašto? Zato što, ako bi ta težina iznosila 1 TeV ili više, standardni model bi postao neusaglašen, pao bi u krizu jedinstvenosti.

Higsovo polje, standardni model i naša predstava o tome kako je Boginja napravila Vaseljenu, sve te tri stvari zavise od otkrivanja Higsovog bozona. Nažalost, na planeti Zemlji ne postoji nijedan akcelerator koji bi imao dovoljno energije da napravi česticu tešku 1 TeV.

Vi biste, međutim, mogli da izgradite jedan takav akcelerator.

## **PUSTINJATRON**

Godine 1981. mi u Fermilabu bili smo do guše zauzeti poslovima oko izgradnje Tevatrona i kolajdera proton/antiproton. Naravno da smo izvesnu pažnju posvećivali i događajima u ostalom svetu, a naročito smo pazili na CERN-ovu potragu za W česticama. U pozno proleće te godine već smo počinjali sa pouzdanjem verovati da će naši superprovodni magneti uspevati u svome radu i da ih je moguće masovno proizvoditi, tako da svaki pojedini odgovara vrlo strogim specifikacijama. Zato smo počeli verovati, ili bar 90% verovati, da bi i energije u blizini 1 TeV, koje su terra incognita. Bilo je stoga već tada razumno upustiti se u razmišljanje o 'sledećoj mašini', ko zna kojoj - naime, o nekoj koja bi mogla biti izgrađena posle našeg Tevatrona. Ona bi imala još veći prsten sačinjen od superprovodnih magneta. Ali godine 1981, budućnost daljeg istraživanja na polju elementarnih čestica u ovoj zemlji bila je pod hipotekom, sva ubačena u borbu da opstane jedna mašina u laboratoriji u Brukhejvenu. Bio je to naš projekt 'Izabela', kolajder proton-proton, koji je trebalo da proradi još 1980. godine, ali je kasnio zbog tehničkih problema. U međuvremenu je front naučnog istraživanja u fizici otišao dalje.

Na godišnjem sastanku korisnika Fermilaba u maju 1981. ja sam se, posle obaveznog izveštaja o stanju laboratorije, odvažio i da nagađam o budućnosti našeg polja rada, osobito na 'energetskoj granici od 1 TeV'. Napomenuo sam da će Karlo Rubija, koji je već tada bio najuticajniji u CERN-u, uskoro 'popločati tunel superprovodnim magnetima LEP'. A taj LEP-ov tunel, nekih 27 kilometara u obimu, sadržao je tada samo konvencionalne magnetne, koji su služili kolajderu e+e-. Tako ogroman obim prstena bio je LEP-u potreban da bi se smanjili gubici energije elektrona. Naime, elektroni zrače energiju iz sebe kad ih magnet prisili da lete po kružnoj orbiti. (I to, zapamtite, što manji poluprečnik orbite, to žešće postaje zračenje.) Zato je CERN-ova LEP mašina koristila slaba polja, ali je imala veliki poluprečnik. Time je postala idealna i za ubrzavanje

protona, koji, zato što imaju veliku masu, zrače vrlo malo energije. Dalekovidi konstruktori LEP-a sigurno su to imali na umu kao moguću kasniju upotrebu velikog tunela. Takva mašina bi, sa superprovodnim magnetima, lako dostigla 5 TeV u jednom i 5 TeV u drugom smeru, odnosno 10 TeV u sudaru. Jedino sa čime su Sjedinjene Američke Države mogle izići na takmičenje, osim Tevatrona koji je dohvatao 2 TeV, bila je bolešljiva 'Izabela', kolajder od samo 400 GeV (to jest 0,8 TeV ukupno), mada je nudio vrlo veliki broj sudara u sekundi.

Stiglo je i leto 1982. godine. Sticao se utisak da će i Fermilabov program sa superprovodnim magnetima i CERN-ov kolajder proton-antiproton biti uspešni. Kad su se američki fizičari visokih energija okupili u Snoumesu, u Koloradu, u avgustu, da rasprave o statusu i budućnosti našeg polja, povukao sam svoj potez. Održao sam govor pod naslovom 'Mašina u pustinji' u kome sam predložio da naša zajednica ozbiljno razmisli o mogućnosti da kao svoj prvi prioritet za budućnost postavi izgradnju jednog ogromnog novog akceleratora zasnovanog na 'dokazanoj' tehnologiji supermagneta, tako da nahrupimo u oblast istraživanja masa od 1 TeV ili više. Hajde da se prisetimo: da bismo proizveli čestice čija bi masa bila 1 TeV, kvarkovi koji ulete u čeonu sudar moraju imati bar toliku energiju, a to znači da protoni, koji u sebi nose kvarkove, ali i gluone, moraju imati mnogo veću energiju. Moja je procena, godine 1982, bila da bi 10 TeV u jednom zraku i 10 TeV u suprotnom zraku trebalo da bude dovoljno. O troškovima izgradnje odvalio sam neku procenu potpuno 'od oka'; ali sam se oslonio na jedan čvrst argument - naime, da je Higs toliko privlačna stvar, da naprosto ne možemo odoleti takvom nečem.

U Snoumesu se razvila umereno živahna rasprava o 'Pustinjatronu', kako su ga odmah nazvali. Zamisao je bila da tako ogromnu mašinu možemo da izgradimo samo na nekoj teritoriji gde nema stanovništva, niti je zemljište skupo, niti ima brda i dolina. Pogrešio sam utoliko što sam ja, gradsko dete, Njujorčanin, ja koji sam praktično odrastao u metrou, sasvim zaboravio kolika je moć dubokog odlaska pod zemlju. Istorija mi je posle utrljala tu pogrešku u nos. Nemci izgradiše svoju mašinu HERA ispod gusto naseljenog grada Hamburga. Oni u CERN-u zavukoše LEP tunel pod planine Jure.

Pokušavao sam da sastavim nekakvu koaliciju svih američkih laboratorija, da bi ona podržala ovu zamisao. SLAC se uvek zalagao za ubrzanje elektrona; Brukhejven se očajno borio da održi 'Izabelu' u životu; na Kornelu je jedna živahna i vrlo nadarena družina pokušavala da uzdigne svoju mašinu za elektrone do jednog stanja kome su dali naziv CESR II. Ja sam mojoj 'pustinjskoj mašini' dao naziv 'Slermihejven II' da bih naznačio da je to projekat koji bi objedinio napore svih naših laboratorija, iako se one između sebe žestoko takmiče.

Neću nešto mnogo da pričam o politici nauke, ali evo šta je bilo: godinu dana puno raznih trauma, a onda formalna preporuka zajednice američkih fizičara da treba napustiti 'Izabelu' (koju su preimenovali u CBA, što bi bila skraćenica za akcelerator za sudaranje zraka - colliding beam accelerator), a lovu preusmeriti u Pustinjatron kome je dat novi naziv, superprovodni superkolajder, i određena snaga od po 20 TeV u oba zraka, ukupno 40 TeV. U isto vreme - u julu 1983. godine - Fermilabov novi akcelerator izišao je na prve stranice novina zato što je ubrzao protone do rekordnih 512 GeV. Posle ovoga brzo su došli i drugi uspesi, a približno godinu dana kasnije Tevatron se popeo na 900 GeV.

## **PREDSEDNIK REGAN I SUPERKOLAJDER: ISTINITA PRIČA**

Godine 1986. predlog za superkolajder bio je spreman da bude podnet predsedniku Sjedinjenih Američkih Država Ronaldu Reganu (Ronald Reagan) na odobrenje. Pošto sam bio direktor Fermilaba, jedan pomoćnik ministra za energetiku pitao me je možemo li da napravimo jednu kratku video-prezentaciju za predsednika. Taj pomoćnik je smatrao da bi desetominutno izlaganje o fizici visokih energija bilo korisno kad se o ovom predlogu bude raspravljalo na sastanku vladinog kabineta. Kako za deset minuta preneti jednom predsedniku dovoljno znanja o fizici visokih energija? Još važnije, kako to preneti ovom predsedniku? Posle popriličnih muka i dvoumica, odlučili smo se za scenario u kome neki srednjoškolci dolaze u posetu našoj laboratoriji, mi ih vodimo u obilazak da vide mašineriju, oni postavljaju mnogo pitanja i dobijaju odgovore koji su prilagođeni njima.

Predsednik će sve to slušati i gledati, pa će možda shvatiti o čemu je to u fizici visokih energija reč. Zato smo stvarno pozvali neke klince iz obližnje škole. Neke smo unapred podučili, samo malo, šta da govore, a ostale smo pustili da budu spontani. Snimili smo nekih trideset minuta filma, onda smo to skraćivali i skraćivali dok nismo izdvojili najboljih četrnaest minuta. Naš čovek za vezu u Vašingtonu upozorio nas je: ne više od deset minuta! Raspon pažnje, tako nešto. Zato smo skraćivali još i otpremili pošiljku sa deset lucidnih minuta visokoenergetske fizike za đake drugog razreda srednje škole. Dva-tri dana kasnije stigne nam reakcija: "Suviše složeno! Nije ni blizu."

Šta sad? Preuredili smo tonski zapis, na taj način što smo izbrisali sva pitanja koja su klinci postavili. Bilo je tu, znate, jakih pitanja. Onda smo pustili da se čuje glas stručnjaka snimljen naknadno, kako prepričava šta su klinci mogli da pitaju i šta bi im bilo odgovoreno da jesu pitali; a na filmskoj slici radnja je ostala ista, klinci gledaju, a naučnici ih vode kroz Fermilab i pokazuju ovo i ono. Ovog puta smo se pobrinuli da tekst bude kristalno jasan i vrlo jednostavan. Proverili smo naš film, pustili smo neke ljude koji se ne bave nikakvom naukom i tehnikom da ga odgledaju. Onda smo ga poslali. Naš tip u ministarstvu postajao je nestrpljiv.

Opet je bio ne baš oduševljen. "Ovo vam je bolje, ali je i sad suviše složeno."

Postajao sam već pomalo nervozan. Bio je u opasnosti ne samo superkolajder nego i moj direktorski položaj. Te noći sam se trgao iz sna oko 3 sata ujutro, sa blistavom idejom. Sledeći filmčić izgledaće ovako: mercedes se zaustavlja pred ulazom u laboratoriju, izlazi jedan otmeni gospodin od oko pedeset pet godina. Spiker se čuje: "Upoznajte sudiju Silvestera Metjusa iz Četrnaestog federalnog oblasnog suda; on dolazi u posetu jednoj velikoj državnoj istraživačkoj laboratoriji." Onda 'sudija' objašnjava svojim domaćinima, a to je troje naučnika, da se doselio u susedstvo i da svaki dan prolazi kolima tuda kad ide na posao, u sud. A pošto čita o našem radu u 'Čikago Tribjunu' i zna da radimo nešto sa 'voltima' i 'atomima', a fiziku nikada nije učio, radoznao je da sazna šta se to ovde radi. To rekavši, 'sudija' ulazi u zgradu i zahvaljuje domaćinima što mu posvećuju svoje vreme ovoga jutra.

Moja zamisao bila je da će se predsednik poistovetiti sa jednim inteligentnim laikom koji ima dovoljno pouzdanja u svoju ličnost da lepo kaže, jasno i glasno, da nešto ne razume. Preostaje još osam i po minuta prezentacije. Fizičari pričaju, sudija ih često prekida i traži da oni to objašnjavaju malo sporije i da razjasne ovu ili onu poentu. Kad je već istekao ceo deveti minut, 'sudija' ispruži levu ruku, pogleda na ručni časovnik i zahvali se mladim naučnicima ljubazno. Onda, sa stidljivim osmehom, kaže: "Znate, ja u stvari nisam razumeo većinu toga što ste mi pričali, ali sam osetio vaše oduševljenje i veličanstvenost vašeg traganja za znanjem. Nekako me to podseća na ono kako je istraživanje američkog Zapada moralo izgledati... jedan jahač, sam, a pred njim ogromna neispitana zemlja..." (Da, ja sam napisao to.)

Kad je ovaj filmčić dospeo u Vašington, ministrov pomoćnik bio je očaran. "Uspeli ste! Superdobro. Prava stvar, ljudi moji! Biće prikazano u Kemp Dejvidu ovog vikenda."

Sa velikim olakšanjem otišao sam, nasmešen, na spavanje, ali sam se probudio u 4 ujutro, sav u hladnom znoju. Nešto nije u redu. Nešto... Najednom sam znao šta. Nisam stigao da kažem ministrovom pomoćniku da je taj 'sudija', zapravo, samo glumac, unajmljen iz Čikaške glumačke berze rada. A baš tih dana predsednik je imao problema zato što nije uspevao da pronađe sudiju koga bi mogao da naimenuje u Vrhovni sud SAD, a da to i Kongres odobri. Šta ako on, kad vidi film... Prevrtao sam se po krevetu i preznojavao sve dok nije bilo 8 sati u Vašingtonu. Posle trećeg biranja broja, dobijem čoveka.

"Čujte, onaj naš film..."

"Ja sam vam rekao da je odličan."

"Ali moram kazati da..."

"Dobar je, ne brinite. Već je na putu prema Kemp Dejvidu."

"Čekajte!" kriknem ja. "Čujte me! Onaj sudija. Nije to pravi sudija. To je samo glumac. Šta ako predsednik poželi da razgovara s njim, da ga pozove na razgovor u Belu Kuću. Taj glumac izgleda tako pametno. Šta ako predsednik..." (Duga pauza.)

"Vrhovni sud?"

"Aha."

(Pauza, onda podsmešljivo frktanje.) "Čujte, ako ja kažem predsedniku da je to glumac, on će ga tek tada sigurno naimenovati u Vrhovni sud."

Uskoro potom, predsednik je odobrio superkolajder. Prema tvrđenju novinara-kolumniste Džordža Vila (George Will), rasprava o tom predlogu bila je kratka. Na tom sastanku kabineta predsednik je čuo šta imaju da kažu njegovi ministri, a oni su otprilike u jednakom broju bili za superkolajder i protiv njega. Onda je Regan naveo reči jednog čuvenog ragbiste: "Bacaj duboko." Svi su pretpostavili da to znači "Učinimo to". Tako je superkolajder postao nacionalna politika Amerike.

Tokom sledećih godinu dana vrlo živahno je traženo mesto za superkolajder. Oko toga su se angažovale mnoge opštine u Americi i Kanadi. Nešto u ovom projektu kao da je uzbuđivalo ljude. Zamislite kakva to mašina mora da bude kad zbog nje gradonačelnik Vaksahačija u Teksasu ustaje pred narodom, drži plameni govor i zaključuje ga rečima: "Ova nacija mora biti prva koja će naći Higsov skalarni bozon!" Čak i u televizijskoj seriji 'Dalas' pomenut je superkolajder - naime, u jednom zapletu Džej Ar Juing i drugi podlaci pokušavaju da unapred otkupe sve zemljište svuda uokolo naše lokacije.

Kad sam pomenuo ovu gradonačelnikovu rečenicu na jednom sastanku Nacionalne konferencije guvernera (bio je to jedan od mojih nekoliko miliona govora održanih u nastojanju da se 'progura' superkolajder), prekinuo me je guverner Teksasa. Ispravio je moj izgovor reči 'Vaksahači'. Izgleda da sam bio prekoračio uobičajeno odstupanje njujorškog izgovora od tekosaškog. Tog trena ukazala mi se prilika i nisam mogao da odolim. "Gospodine, stvarno sam se trudio", rekao sam. "Otišao sam ja u to mesto, ušao sam u jedan restoran u kome služe pljeskavice i zamolio kelnericu da mi kaže gde sam, ali jasno i razgovetno. A ona je izgovorila slovo po slovo: B-U-R-G-E-R K-I-N-G." Većina guvernera nasmejala se na ovo. Teksaški nije.

Godina 1987. bila je tri puta super. Prvo je opalila jedna supernova u Velikom Magelanovom oblaku; naime, ona je eksplodirala još pre 160.000 godina, ali je tek godine 1987. signal o tome stigao do naše planete. Prvi put su otkriveni neutritri čije je poreklo bilo izvan Sunčevog sistema. Drugo super bilo je otkriće superprovodljivosti pri visokim temperaturama. Svet se uzbuđio, pomišljajući na moguće tehnološke koristi. U prvi mah pobuđene su nade da ćemo uskoro imati superprovodne materijale čak i na sobnoj temperaturi. Ljudi su se upustili u vizije o jeftinijoj struji, vozovima koji lebde na magnetnom polju duž pruge i o milijardi drugih modernih čuda, ali, dabome, i o mnogo jeftinijoj izgradnji SSC-a - superprovodnog superkolajdera. Sada je jasno da su ta očekivanja bila preterano optimistična. Evo leta 1993, žustro se radi na istraživanjima u oblasti superprovodljivosti pri visokim temperaturama, ali tu se uglavnom postiže dublje razumevanje superprovodnih materijala, a do ma kakvih komercijalnih i praktičnih primena ima tek da se pređe dug put.

Treće super bilo je traganje za terenom gde bismo izgradili superkolajder. U takmičenju je učestvovao i Fermilab, uglavnom zato što bi Tevatron mogao da bude upotrebljen kao injektor za ubrizgavanje čestica u glavni prsten superkolajdera; taj glavni prsten biće tunel, dugačak ukupno 85 kilometara, povijen u ovalni, a ne kružni oblik. Posle razmatranja svih elemenata, odabrani odbor DOE opredelio se za Vaksahači. Odluka je saopštena u oktobru 1988, nedelju-dve posle onog ogromnog sastanka Fermilabovog osoblja na kome sam zabavljao društvo vicevima u vezi sa Nobelovom nagradom koju sam tad dobio. Sad smo održali sastanak potpuno drugačiji, na kome su fermilabovci natmureno slušali vesti i razmišljali o budućnosti naše laboratorije.

Da, ovo je godina 1993. i superkolajder se gradi, završiće se valjda do 2000, plus-minus godina-dve. Fermilab agresivno podiže na viši nivo svoje instalacije da bi povećao broj sudara proton/antiproton, da bi imao bolje izgleda da nađe kvark vrh i da bi istraživao niže obronke one velike planine na koju superkolajder treba da se popne.

Naravno da ni Evropljani ne sede skrštenih ruku. Karlo Rubija je proveo duže vreme u žestokim raspravama, naručivao je studije, zahtevao od konstruktora izveštaje, sazivao sastanke raznih odbora, a onda je, kao generalni direktor CERN-a, doneo odluku da 'poploča LEP-ov tunel superprovodnim magnetima'. Energiju jednog akceleratora, setićete se, određuju obim prstena i jačina magneteta. Pošto je dužina LEP tunela samo 27 kilometara, konstruktori koji rade u CERN-u bili su prinuđeni da nameste najjače magnetno polje koje su ikako mogli tehnološki da zamisle. To bi bilo 10 tesli, dakle nekih

60 posto jače od magneta predviđenih za superkolajder i dva i po puta jače od postojećih u Tevatronu. Ali strašan je tehnološki izazov pred njima: napraviti takve magnete nije lako. Biće neophodan novi nivo poboljšanja u superprovodnoj tehnologiji. Ako ti ljudi budu uspeli, Evropa će imati mašinu od 17 TeV u poređenju sa 40 TeV koliko bi superkolajder trebalo da ima kad bude dovršen.

Ukupno ulaganje novca i ljudskih resursa, ako obe ove nove mašine budu stvarno sagrađene, biće ogromno. A ogromne stvari i jesu u pitanju. Šta ako se pokaže da je Higsova zamisao pogrešna? I tad bi se izvanredno isplatilo posmatranje u 'masenom području od 1 TeV': naš standardni model mora biti ili potvrđen ili odbačen. To vam je kao kad je Kolumbo kretao da stigne u Indiju ploveći stalno na zapad. Ako i ne stigne baš u Indiju, razmišljali su tada oni koji su stvarno verovali u njega, stići će do nečeg drugog, možda još zanimljivijeg.

## 9. MIKROKOSMOS, MAKROKOSMOS I VREME PRE VREMENA

Šetaš se ti niz Pikadili,  
a cvet maka ili onaj zvani lili  
drži tvoja ruka srednjovekovna;  
ljudi te gledaju i misli svako  
dok tajnovitim putem odlaziš polako:  
Gle, ako ovaj mladi čovek zna  
stvari duboke, koje ne znam ja  
onda mora biti, ne vredi to kriti,  
stvarno izuzetno pametan.

Gilbert i Salivan, Strpljenje

U svome delu 'Obrana pesništva' engleski pesnik romantičar Persi Biš Šeli (Percy Bysshe Shelley) tvrdi da je jedan od svetih zadataka umetnika da "upije novo znanje iz nauka i da ga prihvati i privede potrebama ljudskim, oboji ljudskim strastima, pretvori u krv i kost ljudske prirode".

Nije nešto mnogo pesnika romantičara pojurilo da se odazove ovom Šelijevo izazovu; a to neodazivanje može biti deo objašnjenja za sadašnje stanje naše nacije i naše planete. Kad bi Bajroni, Kitsi i Šeliji našeg pesništva, kao i njihove kolege, koje pišu pesme na francuskom, italijanskom, urdu i drugim jezicima, pohitale da narodu objašnjavaju nauku, možda bi naučna pismenost Amerikanaca bila daleko veća nego što je sad. Ovo se, naravno, ne odnosi na tebe, jer ti više nisi samo 'dragi čitalac/draga čitateljka' nego si prijatelj i kolega koji se izborio rame uz rame sa mnim kroz čitavu ovu epopeju sve do, evo, devetog poglavlja, zbog čega kraljevskim ukazom proglašavam da si potpuno kvalifikovana i naučno pismena čitateljska ličnost.

Ljudi koji mere naučnu pismenost uveravaju nas da samo svaki treći Amerikanac zna da odredi šta je molekul ili da imenuje makar jednog jedinog živog naučnika. Običavao sam da uz ovakve turobne statistike napomenem: "A da li ste znali da samo šezdeset posto stanovništva Liverpula razume neabelijansku baždarsku teoriju?" Od dvadeset troje diplomaca nasumce odabranih na diplomskoj svečanosti na Harvardu godine 1987, samo je dvoje umelo da objasni zašto je leto toplije od zime. A odgovor, uzgred rečeno, nije 'zato što je leti Sunce bliže'. Nije bliže. Zemljina osa rotacije nagnuta je na jednu stranu, i zato je tokom jednog dela godine severna polulopta nagnuta više ka Suncu, Sunčevi zraci padaju pod uglom koji je bliži pravom uglu i zato je tada na toj polulopti letnja uživancija. Druga polulopta dobija zrake više iskosa... Zima. Šest meseci kasnije situacija bude tačno obrnuta.

Ono žalosno u činjenici o neznanju dvadeset jednog od dvadeset troje diplomiranih na Harvardu - Bože! Na Harvardu! - jeste to što oni propuštaju mnogo toga u životu. Proći će kroz život, a neće razumeti jedno od najosnovnijih ljudskih iskustava: godišnja doba. Naravno, ima i lepih trenutaka kad te neki ljudi iznenade znanjem. Pre nekoliko godina, na IRT liniji metroa ispod Menhetna jedan postariji čovek koji se preznojavao nad nekim problemom iz elementarnog računa u nekakvom udžbeniku pitao je neznanca do sebe da li zna računanje. Nepoznati čovek je klimnuo glavom i rešio dedici matematički problem. Ali, naravno, ne dešava se svaki dan da dedice sa matematičkim problemom u vagonu podzemne železnice sednu pored nobelovca, teorijskog fizičara T. D. Lija.

Imao sam i ja jedan takav doživljaj u metrou, ali se drugačije završilo. Sedeo sam u jednom prepunom vagonu prigradske linije, koji je izlazio iz Čikaga, kad se ukrcala jedna bolničarka koja je vodila grupu pacijenata iz obližnje psihijatrijske bolnice. Oni su stali svi oko mene, a bolničarka počne da ih prebrojava. "Jedan, dva, tri..." i onda pogleda mene. "A ko si ti?"

Ja joj odgovorim: "Ja sam Lion Ledermen, dobitnik Nobelove nagrade i direktor Fermilaba."



Ona uperi prst u mene i tužno kaže: "Aha. Četiri. Pet, šest, sedam..."

Ali, ozbiljno, ima dobrih razloga da se brinemo zbog naučne nepismenosti, između ostalog i zato što su sve jače veze između nauke, tehnologije i javne dobrobiti. Veoma je žalosno, dabome, i kad ljudi propuštaju onaj pogled na svet čiju promociju pokušavam da postignem kroz ove stranice. Iako je još nepotpun, to je pogled prepun veličanstvenosti, lepote i sve veće jednostavnosti. Kao što kaže Džejkob Bronovski (Jacob Bronowski):

Napredak nauke jeste otkrivanje, na svakom koraku, jednog novog poretka koji objedinjuje ono što je dugo izgledalo nesrodno. Faradej je to postigao kad je spojio elektricitet i magnetizam. Klerk Maksvel, takođe, kad je ta dva povezao sa svetlošću. Ajnštajn je spojio vreme i prostor, masu i energiju, i putanju kojom zrak svetla proleće pored Sunca, sa kretanjem ispaljenog metka; a svoje poslednje godine života utrošio je navaljujući da ovim srodnostima doda još jednu, koja bi uspostavila domišljato jedinstvo jednačina Klerka Maksvela i njegove, Ajnštajnovne, geometrije gravitacije.

Kad je Kolridž pokušavao da odredi lepotu, vraćao se uvek iznova jednoj dubokoj misli: lepota je, govorio je on, 'jedinstvo u raznovrsnosti'. Nauka nije ništa drugo do potraga za jedinstvom koje treba otkriti u neobuzdanoj raznovrsnosti prirode - ili, još tačnije, u raznovrsnosti našeg doživljavanja.

## **MIKROKOSMOS/MAKROKOSMOS**

Da bismo građevinu nauke sagledali u odgovarajućem kontekstu, moramo preduzeti izlet u astrofiziku, a ja moram objasniti zašto su astrofizika i fizika čestica u novije doba stopljene u celinu čvršću nego ikada, u spoj koji sam jednom prilikom nazvao 'veza mikrokosmosa i makrokosmosa'.

Dok smo mi mikronauti gradili sve moćnije mikroskope/akceleratora da bismo zavirivali u dubinu subnuklearnog vilajeta, naše kolege astronomi objedinjavale su podatke pribavljene pomoću sve moćnijih teleskopa; usavršavale su tehnologije za postizanje sve veće osetljivosti i sagledavanje sve sitnijih pojedinosti. Novi nagli prodor napred nastupio je kad su na kosmičke opservatorije, izvan planete Zemlje, postavljeni instrumenti koji su otkrili infracrveno, ultraljubičasto, rendgensko i gama-zračenje - dakle, ceo elektromagnetni spektar; za veliki njegov deo naša atmosfera je prepreka, neprovidna i treperava.

Sinteza svih saznanja postignutih u poslednjih sto godina kosmologije jeste 'standardni kosmološki model'. On kaže da je Vaseljena započela kao jedno vrelo, zbijeno stanje pre oko 15 milijardi godina. Tada je bila beskonačno ili gotovo beskonačno gusta, kao i beskonačno ili gotovo beskonačno vruća. Kad se u jednom opisu ovako upotrebi reč 'beskonačno', to fizičarima nimalo ne prija; ona reč 'gotovo' koju stavimo ispred prideva 'beskonačno', a i razne druge reči kojima ublažavamo ili uslovljavamo tu 'beskonačnost', jesu ishod uticaja jedne opšte 'mutnoće' kojom se odlikuje kvantna teorija. Iz nekog razloga, koji nama može ostati za sva vremena sasvim nepoznat, Vaseljena je eksplodirala. Od tada pa sve do danas ona se širi i hladi.

Kako su, za ime svega, kosmolozi saznali da je to tako bilo? Model zvani Veliki prasak nastao je tridesetih godina, posle otkrića da galaksije, koje su zvezdane skupine sa po stotinak milijardi zvezda u svakoj, sve beže od jednog čoveka koji se zvao Edvin Habl (Edwin Hubble). Taj tip se zadesio na pravom mestu da počne meriti njihove radijalne brzine godine 1929. Habl je morao da prikupi dovoljno svetlosti da bi video spektralne linije pojedinih hemijskih elemenata. Kad je u tome uspeo, uporedio ih je sa spektralnim linijama tih istih elemenata na Zemlji. Primetio je da se sve linije sistematski pomiču ka crvenom. Bilo je poznato da bi tačno to nastupilo ukoliko bi se izvor svetlosti odmicao od posmatrača. Ovaj 'crveni pomak' bio je, zapravo, mera relativne brzine izvora u odnosu na posmatrača. Tokom godina, Habl je ustanovio da sve galaksije beže od njega, u svim pravcima. Pošto se on redovno tuširao, nije postojalo ništa što bi galaksije imale protiv njega lično; bilo je to naprosto ispoljavanje činjenice da se kosmos širi. Pošto širenje kosmosa povećava rastojanja između svih galaksija, astronom Hedvina Knabl, koja bi situaciju osmatrala sa planete Tvajlozuse u galaksiji Andromeda, videla bi isto: sve

galaksije hitaju da se što više udalje od nje. Zapravo, što je galaksija udaljenija, brže se udaljava. To vam je suština Hablovog zakona. Znači, ako sad pustite film unazad, one najudaljenije galaksije najbrže će se strmeknuti ka onima koje su bliže, a onda će se ceo galimatijas skrkati i sabiti u jednu vrlo, vrlo malenu zapreminu, gde je i bio pre (po sadašnjim procenama) 15 milijardi godina.

Najslavnija alegorija u nauci zahteva od tebe da zamisliš da si stvorenje sa samo dve dimenzije, Ravnozemljac. Razlikuješ šta je istok-zapad i šta je sever-jug, ali pravac gore-dole ne postoji. Izbaci iz svoje svesti svaku pomisao i primisao na 'gore' i na 'dole'. Živiš na površini jednog balona koji se sve više naduvava. Svud na toj površini su staništa raznih posmatrača - njihove planete, a i njihove zvezde, grupisane u galaksije. Sve je to dvodimenziono. I kad se gleda sa bilo kog od tih staništa, svi objekti se udaljavaju, svaki od svih ostalih, zato što se površina stalno širi. Tako vam je u našem trodimenzionom svetu. Još jedna vrlina ove alegorije sastoji se u tome što u takvom 'balonu', kao i u našem trodimenzionom svetu, ne postoji nijedno posebno mesto. Sve tačke na površini su, vrlo demokratski, međusobno jednake. Nema središta balona. Nema nikakvih ivica, rubova. Nema opasnosti da se neko omakne sa Vaseljene i padne u nešto drugo. Pošto je ova naša metafora za Vaseljenu (površina balona) sve što znamo, onda nema ni govora o tome da se zvezde udaljavaju odlazeći u nešto. Širi se ceo kosmos i nosi sa sobom sve što u sebi sadrži, a širi se i to. Nije lako vizuelno sebi predstaviti jedno širenje koje se dešava svuda u kosmosu. Nema nikakvog 'unutra' i nikakvog 'spolja'. Postoji samo ova jedna Vaseljena i ona doživljava širenje, rasprostire se sve više i više. Širenje - u šta? Ma, ne, nego vi razmišljajte opet o sebi kao o Ravnozemaljcu na površini balona. To vam je ta analogija sa balonom: nema kud da se gleda izvan površine balona jer ništa i ne postoji osim površine balona.

Iz teorije Velikog praska proističu još dve glavne posledice, koje su na kraju oborile njene protivnike, tako da se većina astronoma danas, otprilike, slaže da je teorija Velikog praska istinita. (To se zove 'prilično dobar konsenzus' naučnika.) Jedna posledica jeste ta da bi svetlost prvobitne eksplozije - pod pretpostavkom da je bila uistinu vrela - morala i sad da luta kosmosom kao zaostalo zračenje. Sećate se da se svetlost sastoji od fotona i da je energija fotona obrnuto srazmerna njihovoj talasnoj dužini. Posledica širenja Vaseljene jeste i to da se sve dužine produžuju. Talasne dužine, koje su u početku bile infinitezimalno kratke, kao što i dolikuje fotonima visoke energije, morale bi se proširiti do mikrotalasnih dužina - dakle, od nekoliko milimetara. Godine 1965. otkriven je žar preostao od Velikog praska, ugljevlje već u velikoj meri ohlađeno: naime, otkriveno je upravo takvo mikrotalasno zračenje. Kroz celu Vaseljenu plove i zapljuskuju je talasi tih fotona, koji se kreću u svim mogućim pravcima. Neki od njih krenuli su na svoja putovanja pre toliko milijardi godina, kad je Vaseljena bila mnogo manja i vrelija, a završili u anteni laboratorije firme 'Bel Telefon' u Nju Džerziju. Kakva sudbina!

Posle ovog otkrića, bilo je presudno ustanoviti raspodelu talasnih dužina (sad molim pročitajte ponovo peto poglavlje, ali knjigu držite naopačke), a to je, posle nekog vremena, i učinjeno. Upotrebom Plankove jednačine, ovo merenje daje nam prosečnu temperaturu materijala (kosmičkog prostora, zvezda, prašine i ponekog satelita koji je pobegao, ali se još oglašava svojim bip-biip-biip) koji je bio okupan tim zračenjem, tim fotonima. Prema najnovijim (godine 1991) merenjima koje je izvršila NASA pomoću satelita COBE, temperatura Vaseljene znosi 2 stepena i 73 stotinke iznad apsolutne nule (2,730 Kelvina). To zaostalo, pozadinsko zračenje takođe je snažan dokaz u prilog teoriji Velikog praska. Kad već nabrajamo uspehe, trebalo bi da pomenemo i teškoće koje su jedna za drugom savladane. Astrofizičari su pomno motrili na mikrotalasno zračenje, nastojeći da izmere temperaturu različitih delova neba. Činjenica da je temperatura svuda baš ista, sa variranjima koja iznose manje od 0,1 stepen, izazvala je izvesnu zabrinutost. Zašto? Zato što, kad dva predmeta imaju tačno istu temperaturu, možemo razumno pretpostaviti da su svojevremeno bila u nekakvom dodiru. Međutim, stručnjaci su bili sigurni da te različite oblasti, čije su temperature sasvim iste, nisu nikad bile u dodiru. Ne 'skoro nikad', nego nikad.

Astrofizičarima se dopušta da govore tako kategorično zato što su izračunali koliko su udaljene bile te oblasti neba u vreme kad je emitovano zračenje koje je snimio COBE. To vreme bilo je 300.000 godina posle Velikog praska, ne onako rano kao što bismo voleli,

ali najranije što možemo dospeti. Pokazalo se da su rastojanja već u to doba bila toliko velika da čak ni brzinom svetlosti nije bila moguća nikakva komunikacija između oblasti. Pa ipak, oni imaju temperaturu istu ili gotovo istu. Naša teorija Velikog praska nije mogla da objasni ovo. Neuspeh teorije? Ili još jedno čudo? Ovaj problem postao je poznat kao kriza uzročnosti ili kriza izotropije. Uzročnosti zato što se sticao utisak da postoji neka uzročno-posledična veza između različitih oblasti neba koje ne bi trebalo da su ikada bile u dodiru. Izotropije zato što gde god pogledaš, u velikim razmerama, vidiš otprilike isti obrazac zvezda, galaksija, jata galaksija i prašine. To bi nekako moglo da 'prođe' u teoriji Velikog praska ako bismo rekli da su milijarde različitih delova Vaseljene, delova koji nikad nisu bili u dodiru, naprosto pukim slučajem toliko međusobno slične. Ali mi ne volimo 'puke slučajeve'. Sasvim je u redu da u čuda veruje čovek koji uloži novac u kupovinu lozova na nekoj lutriji ili je navijač kluba 'Čikaški mladunci'. Ali u nauci to nije u redu. Kad se takva čuda pojave, odmah pomislimo da u senkama vreba nešto veće, nešto značajnije. O tome ćemo kasnije reći još.

### **AKCELERATOR SA NEOGRANIČENIM BUDŽETOM**

Drugi krupan uspeh modela Velikog praska povezan je sa sastavom naše Vaseljene. Možete zamišljati da je svet sagrađen od vazduha, zemlje, vode (da izostavimo jednom vatru) i reklamnih tabli duž drumova. Ali ako podignemo pogled i izmerimo pomoću naših spektroskopskih teleskopa, nađemo uglavnom vodonik, a zatim i helijum. Ta dva hemijska elementa sačinjavaju 98 posto materije u Vaseljenu. Ostatak je sačinjen od ostalih devedesetak hemijskih elemenata. Pomoću spektroskopskih teleskopa ustanovili smo srazmerno izobilje lakših elemenata i, gle, teoretičari Velikog praska kažu da se ta srazmerna zastupljenost tačno podudara sa onim što bismo i očekivali. Evo kako to znamo.

Prenatalna Vaseljena već je sadržala u sebi svu materiju koju opažamo u danas vidljivom kosmosu - dakle, svu ovu koja je danas raspoređena u nekih stotinak milijardi galaksija koje imaju svaka po stotinak milijardi sunaca (šta, pričinjava vam se da čujete Karla Segana?). Sve to što vidimo danas bilo je nabijeno u zapreminu neuporedivo manju od glave čiode. Hej, kakva je to bila gužva! Temperatura je takođe bila žešća, oko 1032 Kelvina, što je mnogo vrelije od sadašnjih, približno, 3 Kelvina. Zbog toga je materija bila rastavljena u svoje najpraiskonskije sastojke. Jedna verovatna slika takve Vaseljene jeste 'vrela supa' ili plazma zakuvana od kvarkova i leptona (ili onoga što u njima postoji, ako išta u njima postoji); te čestice su gruvale jedna u drugu energijama koje su dostizale 1019 GeV, a to je hiljadu milijardi puta više nego što bi mogao dati najveći sledeći, posle superprovodnog superkolajdera, akcelerator čiju izgradnju današnji fizičar može uopšte da zamisli. Gravitacija je urlala ogromnom silinom, kao tada moćan (a danas vrlo slabo shvaćen) uticaj u tom mikroskopski malenom kosmosu.

Posle ovog prilično fantastičnog početka, dogodila se eksplozija, a zatim hlađenje. Vaseljena je postajala hladnija, pa su zato i sudari bili sve manje siloviti. Kvarkovi su bili u veoma bliskom dodiru jedan s drugim dok je beba Vaseljena bila samo jedna zbijena grudva; ali odmah posle toga počela su njihova zgrušavanja ili splepljivanja u protone, neutrone i druge hadrone. Pre tog vremena, svako takvo udruživanje bilo bi odmah razbijeno u silovitim sudarima; ali sad se hlađenje neumoljivo nastavljalo, pa su sudari bili sve blaži i blaži. Kad je Vaseljena dostigla starost od tri minuta, temperatura je pala toliko da je sad već postalo moguće kombinovanje protona i neutrona, koji nisu odmah odletali kud koji nego su počeli da se zbližavaju u grupice i drže na okupu. Nastala su, zato, postojana jezgra. Ovo je bilo razdoblje nukleosinteze. Pošto o nuklearnoj fizici znamo već poprilično, umemo da izračunamo kolika bi trebalo da bude srazmerna zastupljenost hemijskih elemenata koji su se tada obrazovali. To su bila, dabome, jezgra veoma lakih elemenata; za teže elemente potrebno je sporo 'kuvanje' u zvezdama. Naravno da su prvo nastajala samo jezgra, a ne atomi; atomi su mogli da nastanu tek kad je temperatura opala toliko da su se elektroni uspeli organizovati oko jezgara. Prava temperatura za to nastupila je posle približno 300.000 godina. Pre toga nismo imali nijedan atom, pa nam nije bio potreban nijedan hemičar. A čim su se obrazovali atomi,

koji su električno neutralni, fotonima je postalo moguće da se kreću slobodno, i zato je tek tad krenulo informisanje pomoću mikrotalasnih fotona.

Nukleosinteza je donela uspeh: izračunate i izmerene zastupljenosti elemenata podudarile su se. Auh! Pošto su ta izračunavanja gusta mešavina nuklearne fizike, reakcija slabe sile i uslova koji su vladali u ranoj Vaseljenu, ovo podudaranje vrlo je snažna podrška teoriji Velikog praska.

Pričajući ovu priču, ja sam, dabome, objasnio u kakvoj su vezi mikrokosmos i makrokosmos. Rana Vaseljena bila je, zapravo, samo jedna akceleratorna laboratorija sa potpuno neograničenim budžetom. Našim astrofizičarima bilo je potrebno da znaju sve o kvarkovima, leptonima i silama da bi mogli modelirati razvoj Vaseljene. A kao što smo ukazali u šestom poglavlju, fizičari čestica imaju podatke koji potiču još iz Boginjinog prvog i jedinog velikog opita. Naravno, kad je reč o vremenima pre 10-13 sekundi, mnogo manje smo sigurni kakvi su tu zakoni fizike važili.

Pa ipak, nastavljamo da napredujemo u razumevanju područja Velikog praska i u razumevanju razvoja Vaseljene. Osmatramo događaje koji su se desili pre petnaest milijardi godina. Informacije koje su landarale i zveketale tamo-amo po kosmosu još od tog davnog vremena pa sve do naših dana zalutaju ponekad u neki od naših instrumenata. Pomaže nam i standardni model, a pomažu i akceleratorni podaci koji podržavaju taj model i naše pokušaje da ga proširimo. Ali teoretičari su nestrpljivi; pouzdani akceleratorni podaci presušuju, nemamo ih više, kad se stigne do energija koje odgovaraju Vaseljenu koja je živela tek 10-13 sekundi. Astrofizičarima je potrebno da znaju operativne zakone koji su vladali mnogo pre toga i zato dodijavaju fizičarima stalnim zahtevima da zasuču rukave i pojačaju bujicu naučnih radova o Higsu, o objedinjenju, o unutrašnjem sastavu i o gomili spekulativnih teorija koje se usuđuju da iskorače iz standardnog modela u pokušaju da izgrade most do savršenijeg opisa prirode i drum do Velikog praska.

## **IMA TEORIJA I TEORIJA**

Sada je jedan sat i petnaest minuta posle ponoći, ovde u mojoj radnoj sobi. Nekoliko stotina metara daleko, Fermilabova mašina baca protone u sudare sa antiprotonima. Dva masivna detektora primaju podatke; u detektorskoj zgradi CDF-a ekipa prekaljena u bitkama, sačinjena od 342 naučnika i studenta, proverava nove delove detektora koji je težak pet hiljada tona. Naravno, ne rade svi u isto vreme. U proseku, u ovo doba noći, radi samo desetak osoba u kontrolnoj sali. Mnogo dalje od mene, na jednom mestu na prstenu, nalazi se novi D-nula detektor koji opslužuje 321 saradnik. On se tek uohodava. Ovaj niz opita traje već mesec dana. Početak je bio klimav kao što je i uobičajeno, ali uzimanje podataka potrajaće još šesnaest meseci, sa jednom pauzom tokom koje će se ugraditi novi deo akceleratora, dodatak koji bi trebalo da poveća broj sudara. Iako je glavna svrha ovih opita da pronađemo kvark vrh, usput će se proveriti i proširivati standardni model, što je bitan deo našeg posla.

Nekih 8.000 kilometara daleko od mene, u CERN-u, naše evropske kolege takođe naporno rade da bi proverile razne teorijske pretpostavke o načinima da se standardni model proširi. Ali dok se taj dobar, čist rad nastavlja, rade i teoretičari nešto, pa bih ovde da iznesem vrlo sažete, vodoinstalaterske verzije tri najzanimljivije teorije, a to su gutovi, supersimetrije i superstrune. To će biti površno. Neke od tih spekulacija su zaista duboke, tako da ih mogu razumeti samo oni koji su ih stvorili, njihove mame i njihovi najbliži prijatelji.

Ali prvo jedan komentar o reči 'teorija'. To je reč o kojoj postoje popularne zablude. "Mani se ti tvojih teorija", glasi jedna popularna podsmešljiva rečenica. A druga: "To su samo teorije." Sami smo krivi jer aljkavo upotrebljavamo tu reč. I kvantna teorija i Njutnova teorija jesu temeljito izgrađeni i temeljito dokazani delovi našeg pogleda na svet; delovi koji nisu sporni, nisu pod sumnjom. Ali, vidite, jedno značenje reči izvedeno je iz drugog, tako je to išlo. Njutn je nešto govorio, to još nije bilo potvrđeno - dakle, to je bila zaista njegova teorija. Onda se pokazalo da je istinita, ali se i dalje govorilo: 'Njutnova teorija'. I zauvek će se govoriti tako. Ali, pazite, ove superstrune, gutovi i tako

dalje, to su nagađanja - naime, spekulativni pokušaji da se, polazeći od poznatih činjenica, nešto postigne, možda neki dalji napredak. Neke teorije, one bolje, mogu se potvrditi. U stara vremena bio je to sine qua non svake teorije. Danas, kad razmišljamo o Velikom prasku, nalazimo se možda prvi put u situaciji da imamo jednu teoriju koja nikada neće moći da bude proverena.

## GUTOVI

Već sam opisao objedinjenje slabe sile sa elektromagnetnom u samo jednu, elektroslabu silu, koju prenosi kvartet čestica -  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  i foton. Takođe sam opisao QCD - kvantnu hromodinamiku - koja opisuje ponašanje kvarkova, s tim da postoje tri kvarkovske boje, kao i ponašanje gluona. Pomenute dve sile sada su opisane kvantnim teorijama polja, teorijama koje poštuju baždarsku simetriju.

Pokušaji da se QCD spoji sa elektroslabom silom poznati su pod zajedničkim nazivom 'velike teorije objedinjenja', skraćeno gutovi (Grand Unification Theories, GUT). Elektroslabo objedinjenje postaje jasno vidljivo u svetu čije temperature nadmašuju 100 GeV (a to je otprilike masa  $W$  čestica; drugim rečima, to je temperatura od 1015 stepeni K). Kao što smo ispričali u osmom poglavlju, tu temperaturu umemo da postignemo u laboratoriji. Međutim, gutovsko objedinjenje zahtevalo bi temperaturu od 1015 GeV, što je stavlja iznad domašaja čak i najmegalomanskije raspoloženog graditelja akceleratora. Ovu procenu dobili smo tako što smo gledali tri parametra koja mere jačinu slabe, elektromagnetne i jake sile. Postoje dokazi da se ti parametri menjaju sa energijom - naime, da jake sile postaju sve slabije, a elektroslabe sile sve jače pri povišenju energije. Stapanje svih triju parametara u jedan događa se pri 1015 GeV. To je, dakle, režim velikog objedinjenja, to je mesto gde simetrija zakona prirode dostiže viši nivo. Ali, opet, to je tek teorija koja čeka da možda jednog dana bude potvrđena, a možda i ne. Ipak, način na koji se izmerene snage menjaju nagoveštava da bi konvergencija mogla da se dogodi pri nekoj takvoj temperaturi.

Postoji izvestan broj, tačnije: postoji veliki broj gutova, i svi oni imaju svoje jake i slabe strane. Evo primera. Jedan od prvih kandidata za gut predskazao je da je proton nestabilan i da se može raspasti u jedan neutralni pion ( $\pi$ -mezon) i jedan pozitron. Ali po toj teoriji životni vek protona iznosio bi 1030 godina. Pošto je starost kosmosa znatno manja - tek nešto preko 1010 godina - nije se baš mnogo protona raspalo dosad. Raspad jednog protona bio bi spektakularan događaj. Imajte u vidu: smatrali smo da je proton stabilan hadron - što je baš dobro za nas zato što je postojanje razložno postojanih protona veoma važno za budućnost Vaseljene, kao i za naše ekonomije. Pa ipak, iako je stopa očekivanih raspadanja tako mala, ovaj opit može se izvesti. Na primer, ako je životni vek protona zaista 1030 godina i ako provedemo godinu dana zureći u jedan jedini proton, naša verovatnoća da vidimo njegov raspad iznosiće samo 1 kroz 1030 - a to je veoma mali broj, to je 10-30. Ali zato možemo zuriti u mnogo protona odjednom. U deset hiljada tona vode ima oko 1033 protona (imajte poverenja u mene da je to tako). Ovo bi značilo da se u tolikoj količini vode svake godine 'raskoka' po hiljadu protona.

Zato su preduzumljivi fizičari sišli pod zemlju, u rudnik soli ispod jezera Iri u Ohaju, u rudnik olova ispod planine Tojama u Japanu i u onaj tunel koji je prosvrdlan kroz Mon Blan, pa sad spaja Francusku sa Italijom. Uvukli su se tako duboko da bi se zaklonili od pozadinskog kosmičkog zračenja. U te tunele i rudnike ugradili su ogromne, providne plastične posude. U svaku od njih uliveno je otprilike po 10.000 tona čiste vode. To bi, znate, bila kocka čije bi ivice bile dugačke otprilike po 21,5 metara. U vodu su zurile stotine velikih, osetljivih cevi za fotomultiplikaciju, koje bi registrovale iskricu energije oslobođenu pri raspadu protona. I do dana današnjeg ni jedan jedini raspad protona nije opažen. To ne znači da su ovi ambiciozni opiti beskorisni; oni su dragoceni zato što su nam dali novu meru protonove dugovečnosti. Sada, i ako uzmemo u obzir da osmatranje možda nije bilo sasvim delotvorno, znamo da životni vek protona mora biti duži od 1032 godine.

Zanimljivo je da je ovo dugotrajno, neuspešno čekanje da bar jedan proton 'pukne' bilo oživljeno jednim neočekivanim uzbudljivim događajem. Pomenio sam onu eksploziju

supernove u februaru 1987. E, u trenutku kad se ona ukazala na nebu, pravi rafal neutrinskih događaja snimljen je detektorima ispod jezera Iri i ispod planine Tojame. Tačna kombinacija svetlosti koju smo na nebu videli i neutrina koji su na ta dva mesta opaženi podudarila se naprosto odvratno dobro sa prihvaćenim modelima eksplozija zvezda. Trebalo je da vidite kako su se astronomi zadovoljno šepurili! Ali od raspada protona nije bilo ništa.

Gutovi se većinom loše provedu, ali teoretičari gutovci zadržavaju svoj polet. Ne morate vi da izgradite gutovski akcelerator da biste proverili neki gut. Na primer, SU(5), jedna od ovakvih teorija, daje predviđanje da je električni naboj čestica kvantovan i da uvek mora iznositi neki umnožak od jedne trećine naelektrisanja elektrona. (Zapamtili ste koliki su električni naboji kvarkova?) Veoma zadovoljavajuće. Druga posledica te teorije jeste konsolidacija kvarkova i leptona u jednu porodicu. Po toj teoriji, kvarkovi se mogu (unutar protona) preobratiti u leptone, i obratno.

Gutovi predskazuju postojanje supermasivnih čestica (iks bozona) koje bi bile milion milijardi puta teže od protona. Čak i sama mogućnost da takve čestice postoje i da, dakle, mogu iskrsavati i kao virtuelne čestice, dovodi do izvesnih malih, malečkih posledica, među kojima je i redak raspad protona. Uzgred rečeno, predskazanje takvog raspada ima veoma krupne posledice za praktični život, mada je do ostvarenja tih posledica dalek put. Naime, kad bi se jezgro vodonika (koje se sastoji samo od jednog protona i ni od čega više) moglo navesti da se pretvori u čisto zračenje, bio bi to izvor energije sto puta delotvorniji od fuzije. Nekoliko tona vode bilo bi dovoljno da obezbedi svu energiju koja je Sjedinjenim Američkim Državama potrebna za jedan dan dejstvovanja. Naravno, da bismo tako rasturili vodu, nama bi danas bilo potrebno da je prvo zagrejemo do gutovskih temperatura, ali možda negde u nekim dečjim jaslicama postoji klinac sa kojim bezosećajna vaspitačica postupa tako loše da će se on, silno razočaran, baciti na nauku i jednog dana se dosetiti praktičnijeg načina da uradimo ovu konverziju protona u energiju. Zato idite i pomognite toj vaspitačici!

Pri gutovskim temperaturama (oko 1028 Kelvina) simetrija i jednostavnost stižu do nivoa na kome postoji samo jedna jedina vrsta materije (lepto-kvark?) i samo jedna jedina sila koju prenosi nekoliko raznih čestica i, ah da, zaboravih, i gravitacija koja nekako visi tamo negde.

## **SUZI**

Supersimetrija, koju mi od mилоšte zovemo Suzi, jeste favorit kod onih teoretičara koji vole da se klade. Već smo se upoznali sa našom Suzikom. Ta teorija objedinjuje čestice materije (kvarkove i leptone) i čestice-prenosiocе sila (gluone, W-ove...). Ona daje ogroman broj predviđanja koja bi se mogla potvrditi opitima, ali ni jedno jedino od tih predviđanja nije, do danas, zapaženo. Ali, brate, da je zabavno - jeste!

U Suzi imamo gravitine i vine i gluine i fotine, a to su materiji slični partneri gravitona, W čestica i tako dalje. Imamo i supersimetrične ortake kvarkova i leptona: skvarkove i sleptone. Tim redom. Ova teorija nosi jedan tegobni teret na svojim plećima: mora nekako da objasni zašto nijedna od svih tih čestica još nije opažena. Oh, kažu teoretičari, imajte na umu antimateriju. Sve do tridesetih godina ovog veka niko nije ni sanjao da svaka čestica ima svoju antidvojnicu. Pa se još setite i toga da simetrije nastaju samo da bi ih neko jednog dana razbio (kao ogledala?). Čestice parnjaci nisu još viđene zato što su teške. Sagradite dovoljno veliku mašinu, pa će se one sve pojaviti.

Matematički teoretičari uveravaju nas, ostale, da Suzi zaista ima predivnu simetriju, bez obzira na nepristojno razmnožavanje čestica koje zbog nje nastaje. Suzi, osim toga, nabacuje neka obećanja da bi nas mogla povesti ka pravoj kvantnoj teoriji gravitacije. Pokušaji da se kvantuje opšta teorija relativnosti - a ona je naša teorija gravitacije - propali su zato što su one beskonačnosti povrvele do guše na način koji se ne može renormalizovati. Baš bi lepo bilo kad bi nas Suzi odvela do kvanta gravitacije.

Suzi takođe civilizuje Higsovu česticu, koja onda počinje da se ponaša uljudno; naime, bez supersimetrije Higsova čestica ne bi mogla da uradi taj posao zbog koga smo je izmislili. Pošto je skalarni bozon (nema spin), Higsova čestica je naročito osetljiva na

burno previranje vakuuma koji ključa svuda oko nje. Na masu Higsove čestice utiču mase svih virtuelnih čestica koje se kratkotrajno pojavljuju i odmah nestaju svud unaokolo; svaka takva masa doda Higsovoj čestici pomalo energije; posledica je da bi Higsova čestica, jedna, morala toliko da se ugoji da nikako, ni približno, ne bi imala sposobnost da spase elektroslabu teoriju. U Suzi se dešava to da supersimetrični partneri utiču na Higsovu masu svojim suprotnim znacima. Naime, od svake W čestice Higsova čestica postane malo teža, ali vino čestica poništava to dejstvo i zato ova teorija dopušta Higsu da ima korisnu, upotrebljivu masu. Ipak, sve ovo ne dokazuje da je Suzi istinita. Samo je divno.

Stvar je daleko od rešenja. Pojavljuju se popularne reči: supergravitacija, geometrija superprostora. Pojavljuje se elegantna matematika, zastrašujuće složena. Jedna opitno izazovna posledica Suzi bila bi ta da bi ona (kad bi bila tačna) vrlo rado i izdašno dala kandidate za tamnu materiju - naime, stabilne, neutralne čestice koje bi bile toliko masivne da bi mogle činiti taj opšteprisutni materijal koji se možda šunja kroz opazivu Vaseljenu. Supersimetrijske čestice navodno su nastale još u eri Velikog praska, i najlakše od njih - možda fotino, higsino, ili gravitino - mogle su preživeti sve do danas kao stabilni ostaci koji bi dali tamnu materiju i zadovoljili astronome. Sledeće pokolenje mašina mora ili da potvrdi ili da obori našu Suzi... ali, u svakom slučaju, ona ne da je ženska, nego je san snova!

## **SUPERSTRUNE**

Mislim da je časopis 'Tajm' zauvek ukrasio leksikon fizike čestica time što je rastrubio da su superstrune 'teorija svega' - TOE. Jedna nedavno objavljena knjiga postavila je stvar, u svome naslovu, za nijansu bolje: Superstrune, teorija svega? (To treba da pročitate sa uzlaznom intonacijom na kraju.) Teorija struna obećava nam objedinjeni opis svih sila, pa čak i gravitacije, i svih čestica, kao i prostora i vremena, i još da sve to bude slobodno od proizvoljnih parametara i od onih beskonačnosti. Ukratko: obećava sve. Prema osnovnoj pretpostavci, umesto tačkastih čestica sada imamo kratke komade 'struna' (string). Ovu teoriju struna odlikuje to da ona pomera granice matematike (što je fizika ponekad, u prošlosti, uspevala da učini, ali vrlo retko), ali i prisiljava ljudsku maštu da se proširi na neke krajnje čudne zamisli. Nastanak teorije struna ima svoju šopstvenu istoriju i svoje junake; tu su Gabriela Veneciano (Gabrielle Veneziano), Džon Švarc (John Schwarz), Andre Nevo (André Neveu), Pjer Ramon (Pierre Ramond), Džef Harvi (Jeff Harvey), Žoel Šerk (Joel Sherk), Majkl Grin (Michael Green), Dejvid Gros (David Gross) i jedan nadareni tip, lak na obećanjima, po imenu Edvard Viten (Edward Witten). Četvorica ovih istaknutih teoretičara radila su zajedno u jednoj opskurnoj instituciji u Nju Džerziju i postala poznata kao 'Prinstonski gudački kvartet' (Princeton string quartet).

Teorija struna jeste teorija o jednom vrlo udaljenom mestu, udaljenom maltene kao Atlantida ili čarobna zemlja Oz. Reč je o Plankovom području, za koje (kao ni za Oz) ne znamo da li je ikada postojalo; ali, ako jeste, moglo je postojati samo u najranijem treptaju Velikog praska. Ni na koji način ne možemo da zamislimo pribavljanje ma kakvih opitnih podataka iz te epohe. Što ne znači da ne treba istrajati u pokušajima. Pretpostavimo da neko nađe matematički doslednu (bez onih beskonačnosti) teoriju koja nekako uspeva da opiše Oz, a koja ujedno ima, kao svoju posledicu pri niskim, vrlo niskim energijama naš standardni model. Ako ta teorija bude ujedno i jedinstvena, u smislu da nema nijednog takmaca koji bi mogao postići isto - onda ćemo svi da se radujemo i da bacimo iz ruku naše olovke i zidarske mistrije. Jedinstvenost je, međutim, ono što teorije superstruna nemaju. U glavne pretpostavke ove teorije ugrađen je ogroman broj mogućih putanja koje sve vode ka svetlu podataka.

Da vidimo čime se još odlikuje teorija superstruna. (Nećemo pokušavati da je objasnimo.) Aha, da, pa pomenuo sam u osmom poglavlju, ova teorija zahteva postojanje deset dimenzija, od kojih su devet prostorne, a jedna vremenska.

Dobro, svi znamo da prostor ima samo tri dimenzije. Ipak, malo smo se zagrevali za superstrunska razmišljanja tako što smo dočarali sebi onaj pljosnati svet u kome nema

gore i dole. Pa, kad postoje tri, zašto ne bi bilo i devet dimenzija? "A gde su one?" pitaš ti, sasvim opravdano. Svijene su, ukovrdžane, smotane. Smotane? Da, vidite, ta teorija je krenula od gravitacije, a gravitacija se zasniva na geometriji, i zato možemo da zamislimo tih šest dodatnih dimenzija kao nešto što se namotalo u jednu veoma malu loptu. Veličina te loptice tipična je za Plankov režim, 10-33 centimetara, a to je ujedno približna veličina strune koju u ovoj teoriji imamo namesto tačkaste čestice. Čestice koje poznajemo izranjaju kao treperenja tih malenih struna. Zategnuta struna ima beskonačan broj mogućih načina vibriranja. Na tome se zasniva violina - a i leut, ako pamтите instrument koji smo sreli kad i Galilejevog čaleta. Treperenja pravih struna, violinskih, opisuju se u terminima jedne osnovne note i izvesnog broja harmonija, to jest frekventnih načina. E, pa, matematika mikrostruna je slična tome. Čestice našeg sveta dobijaju se iz modaliteta za najniže frekvencije.

Ja jednostavno ne mogu i ne umem da opišem šta je to što uzbuđuje predvodnike ove teorije. Ed Viten je održao jedno fantastično, neodoljivo predavanje o tome u Fermilabu pre izvesnog broja godina. Prvi put u mome iskustvu, pauza posle predavanja potrajala je punih deset sekundi (to je dugo ćutanje!), pa je tek onda usledio pljesak. Pojurio sam ka mojoj laboratoriji da objasnim kolegama u toj smeni šta sam iz tog predavanja doznao, ali pre nego što sam stigao do laboratorije, rasplinulo mi se u glavi gotovo sve. Vešt predavač te navede na utisak da si shvatio.

Pošto se ta teorija zaglibila u matematiku koja je postajala sve teža i teža, i pošto se suočila sa sve mnogobrojnijim mogućim pravcima daljeg nastupanja, usporen je napredak u njoj, a stišano je i uzbuđenje. Sad smirenije prilazimo teoriji struna. Zapravo, sad možemo samo da čekamo. Neki veoma sposobni teoretičari i dalje se zanimaju za nju, ali meni se čini da će još dugo vreme proteći pre nego što TOE dođe do standardnog modela.

## **RAVNOST I TAMNA MATERIJA**

Dok čeka da bude spasena, teorija Velikog praska ima svoje oblasti zbunjivanja. Dozvolite da se opredelim ovde za jedan problem koji je zaista 'bacao u rebus' nas fizičare, iako nas je i vodio ka nekim izazovnim razmišljanjima o samom početku Vaseljene. Poznat je kao problem ravnosti (flatness problem), a zahvata nešto veoma ljudsko - zahvata naše morbidno zanimanje za pitanje da li će Vaseljena nastaviti da se širi večno ili će usporiti širenje, prestati da se širi, a onda početi i da se sažima. To zavisi od količine mase, i to gravitacione mase, koja u Vaseljenu postoji. Ako je ima dovoljno, širenje će biti zaustavljeno i preokrenuto i jednog dana nastupiće Veliko sažimanje. Ovaj model poznat je kao 'zatvorena Vaseljena'. Ako mase nema dovoljno za tako nešto, kosmos će nastaviti da se širi za večita vremena, postajući sve hladniji; to je 'otvorena Vaseljena'. Tačno između ta dva režima leži 'Vaseljena sa kritičnom masom', ona koja ima masu taman dovoljnu da se širenje sasvim zaustavi, ali ipak ne dovoljnu da sažimanje počne. E, za takvu Vaseljenu se kaže da je ravna.

Vreme je za jednu analogiju. Pretpostavite da ispalimo raketu uvis sa površine Zemlje. Ako ona stekne nedovoljnu brzinu, pašće nazad na Zemlju. (Zatvorena Vaseljena.) Ako joj damo mnogo veću brzinu, ona će pobeći Zemljinoj gravitaciji i odjezdi u dubine kosmosa. (Otvorena Vaseljena.) Između bi bila neka kritična brzina koja je tačno takva da bi samo malčice sporiji let doveo do padanja nazad, a samo malčice brži do bekstva u daljine. Ravnost nastaje kad je brzina baš sasvim tačno ta. Raketa beži sve dalje od Zemlje, ali se kreće sve sporije. U slučaju da to stvarno pokušavamo sa ove naše planete, kritična brzina iznosi 11,3 kilometara u sekundi. Sad, imajući na umu ovu analogiju, vi treba da zamislite raketu čija je brzina već određena i ne možemo je menjati (to je Veliki prasak) i da se zapitate koliko teška planeta treba da bude (koliko treba da iznosi ukupna gustina mase u Vaseljenu) da bi se raketa vratila, a koliko da bi uspela da se otrgne.

Čovek može prebrojavanjem zvezda da proceni gravitacionu masu Vaseljene. Ljudi su to radili i dobili su rezultate: ako se računa samo masa zvezda, ona nije ni približno dovoljna da zaustavi dalje širenje; u tom slučaju, prisiljeni smo da kažemo da je naša



Vaseljena širom otvorena. Međutim, ima vrlo jakih dokaza da postoji i da je široko rasprostranjena materija koja ne zrači ništa, koja je, dakle, 'tamna'. Čini se da tamna materija prožima ceo kosmos. Kad saberemo materiju koju vidimo i procenjenu količinu tamne materije, dobijemo količinu koja je bliska kritičnoj. Ovo 'bliska' znači: ne manje od 10 posto potrebne količine, ali i ne više od dvostrukog iznosa potrebne količine. Zato ostaje otvoreno pitanje da li će Vaseljena nastaviti da se širi ili će jednog dana početi da se skuplja.

Ima mnogo spekulativnih kandidata za tamnu materiju. Većinom su to, dabome, čestice, a nazivi su im kitnjasti - aksioni, fotinoi; nadenuli su ih teoretičari koji uživaju u tome da ih izmišljaju. Jedna od najčudesnijih mogućnosti bila bi da je tamna masa sazdana od naših neutrina već postojećih u standardnom modelu; mogla bi to biti samo jedna vrsta, a moglo bi biti u tu rabotu upetljano i više od jedne. Trebalo bi da postoji ogromna gustina tih neuhvatljivih mališana preostalih još iz doba Velikog praska. Oni bi bili idealni kandidati... ako imaju neku određenu masu mirovanja. Već znamo da je elektronov neutrino odveć lak, pa prema tome ostaju još dva kandidata; između ta dva, verovatniji kandidat, naš favorit, jeste tau neutrino. Favorit je iz dva razloga: (1) on postoji i (2) o njegovoj masi ne znamo gotovo ništa.

Ne tako davno izvedosmo mi u Fermilabu jedan domišljat i istančan opit sa naumom da otkrijemo da li tau neutrino ima neku konačnu masu koja bi mogla poslužiti da se Vaseljena zatvori. (Tako su potrebe kosmologa nagnale laboratoriju da se upusti u jedan opit, što pokazuje da postoji jedinstvo fizike čestica i kosmologije.)

Dočarajte sebi postdiplomca koji sedi u sumornoj zimskoj noći zato što je takvu smenu dobio, sam u kolibici punoj elektronike, sred prerije Ilijoja. Silovit hladan vetar navaljuje na kolibicu. Već osam meseci traje prikupljanje podataka. Postdiplomac proverava kako opit napreduje; deo rutine je i provera podataka o dejstvu neutrinove mase. (Koji ne možeš izmeriti neposredno, ali možeš meriti dejstvo koje bi ta masa, ako postoji, imala na neke reakcije.) Momak pušta celu količinu podataka kroz proces izračunavanja.

"Šta je ovo?" Najednom je potpuno pribran, napete pažnje. Ne veruje onome što na ekranu vidi. "Bože! Bože!" Proverava rad kompjutera. Sve je ispravno. Dakle, nađena je - masa! Dovoljno mase da se Vaseljena zatvori. Ovaj postdiplomac, star dvadeset dve godine, obuzet je sad onim neverovatnim saznanjem od koga zastaje dah: on, jedini on na celoj planeti sa pet i po milijardi sapiensa, zna budućnost Vaseljene. Kako vam se čini taj eureka-trenutak!

Lepa je bila, za zamišljanje, ta priča. Sve o postdiplomcu i njegovom radu je istinito, osim što još nikada nije otkrivena ta masa. Možda nismo vršili opite kako treba, a možda i jesmo, a mase nema; ili ćemo jednog dana ipak uspeti... Kolega (ili kolegince) čitaoče, molim, pročitaj ovu priču svome nesigurnom potomku, i to con brio! Reci njemu/njoj dve stvari: (1) opiti se često završavaju bezuspešno; (2) ne završavaju se uvek bezuspešno.

## **ČARLTON, GOLDA I GUT**

Iako još ne znamo kako to u Vaseljenu ima dovoljno mase za zaustavljanje širenja, prilično čvrsto smo uvereni da je ima dovoljno: kritična masa postoji. Sad ćete videti zašto. Priroda je za ovu svoju Vaseljenu mogla da odabere bilo koju masu (recimo, 106 kritičnih masa, ili 10-16 kritičnih masa), ali Ona se, izgleda, opredelila za nešto otprilike ravno. I ne samo to; istina je mnogo gora. Izgleda da je bilo potrebno, i da se dogodilo, pravo čudo, da bi Vaseljena izmakla i jednoj i drugoj katastrofalnoj sudbini - bezglavom i bezmernom širenju i naglom sažimanju u jednu gustu grudvu. Izbegla je, i već 15 milijardi godina izbegava. Pokazalo se da je ravnost Vaseljene u trenutku kad je njena starost iznosila tačno jednu celu sekundu bila tako reći savršena. Da se dogodila samo mala, malecka devijacija na jednu ili na drugu stranu, bilo bi sve sručeno nazad i sažeto pre rođenja čak i prvog atomskog jezgra, ili bi širenje Vaseljene bilo tako vrtoglavo da bi ona sada bila skroz ledena i mrtva. Opet čudo! Iako naučnici mogu zamišljati Boga kao Mudroga, kao nemačkog der Alte, kao tipa koji liči na Čarltona Hestona sa dugačkom, talasastom, lažnom bradom i čudnim laserskim sjajem iz očiju, ili mogu (kao ja)

zamišljati da je Boginja i da liči na Margaret Mid (Margaret Mead), ili na Goldu Meir (Golda Meir), ili na Margaret Tačer (Margaret Thatcher), u našem ugovoru jasno piše da zakone prirode ne smemo dopunjavati nikakvim amandmanima kad se nama prohte, nego da oni jesu ono što jesu. Znači, ovo čudo ravnosti previše je čudno, i zato tragamo za nekim uzrocima koji bi prirodno doveli do njega. Zato se moj postdiplomac smrzavao tamo gore pokušavajući da ustanovi da li neutriini jesu ili nisu tamna materija, da li će biti širenje bez kraja ili Veliko sažimanje. On je želeo da zna. Želimo to i mi.

Problem ravnosti, problem jednoobraznog zračenja na temperaturi od 3 stepena, i još neke probleme modela zvanog Veliki prasak rešio je, bar teorijski, 1980. godine Alen Gut (Allan Guth). On je teoretičar elementarnih čestica na MIT-u. Njegovo poboljšanje dobilo je naziv 'inflacioni model Velikog praska'.

## **INFLACIJA I SKALARNA ČESTICA**

U ovoj sažetoj istoriji poslednjih 15 milijardi godina zaboravio sam da pomenem da je razvoj Vaseljene gotovo u celosti sadržan u Ajnštajnovim jednačinama opšte relativnosti. Jer, čim se Vaseljena ohladi ispod temperature od 1032 Kelvina, klasična (nekvantna) relativnost preovlađuje, pa su događaji koji onda nastupe, zapravo, posledice Ajnštajnovе teorije. Nažalost, ovu veliku moć teorije relativnosti nije otkrio sam majstor, otkrili su je tek njegovi sledbenici. Pre 1916, pre Habla i Hedvine Knabl, Vaseljena je sagledavana kao predmet daleko smireniji, statičniji, a Ajnštajn je učinio jednu grešku (kasnije je priznao da mu je to bila 'najveća pogreška') i dodao svojoj jednačini jedan član da bi sprečio širenje koje je jednačinom bilo predviđeno. Pošto ovo nije knjiga o kosmologiji (a ima odličnih knjiga o kosmologiji i nije ih teško nabaviti), nećemo moći da posvetimo tim zamislama onoliko prostora koliko one zaslužuju, utoliko pre što su mnoge od njih iznad onog nivoa za koji sam plaćen.

Pomenuti naučnik Gut otkrio je jedan proces, dopušten Ajnštajnovim jednačinama, koji stvara eksplozivnu silu, tako ogromnu da nastaje nezadrživo širenje: Vaseljena se naduva od nečeg što je mnogo manje od jednog protona (10-15 metara) do veličine loptice za golf u jednom vremenskom razmaku koji iznosi oko 10-33 sekunde. Ovo se zove 'inflaciona faza', to jest faza naduvavanja. A događa se posredstvom jednog novog polja, jednog neusmerenog (skalarnog, dakle) polja, koje izgleda, ponaša se i miriše kao... Higsovo!

Jeste Higsovo! Astrofizičari su otkrili tu Higsovu stvar u sasvim novom kontekstu. Kakva je uloga Higsovog polja u promociji tog bizarnog novog događaja koji se zbio pre širenja Vaseljene, a koji je nazvan inflacija?

Napomenuli smo da je Higsovo polje blisko povezano sa konceptom mase. Ono što navodi na ludo naglu inflaciju jeste pretpostavka da je predinflaciona Vaseljena bila prožeta Higsovim poljem čiji je energetska sadržaj bio toliko veliki da je nužno doveo do tako brzog širenja. Znači, rečenica 'U početku Higsovo polje beše' možda nije mnogo daleko od istine. Higsovo polje, koje je svuda jednako u celoj Vaseljeni, menja se sa proticanjem vremena - u skladu sa zakonima fizike. Ti zakoni (kad se dodaju Ajnštajnovim jednačinama) proizvode inflacionu fazu, koja je zapremala celokupno, veoma dugo razdoblje između 10-35 i 10-33 sekunde posle Postanja. Teorijski kosmolozi opisuju to početno stanje kao 'lažni vakuum' zbog energetske sadržine Higsovog polja. Konačni prelaz ka pravom vakuumu oslobađa ovu energiju i stvara čestice i zračenja, sve pri ogromnim temperaturama Početka. Tek posle toga počinje Veliki prasak, koji je, zapravo, jedna faza srazmerno smirenog širenja i hlađenja, nama bolje poznata. Vaseljena je potvrđena već u starosti od 10-33 sekunde. "Danas sam Vaseljena", možete svečano izgovoriti tada.

Pošto je svu svoju energiju uložilo u stvaranje čestica, Higsovo polje se privremeno penzionise, ali se ipak pojavljuje još nekoliko puta u kasnijim vremenima, različito preruseno, da bi matematika ostala usaglašena, da bi one beskonačnosti bile potrite i da bi se nadgledala sve veća zamršenost Vaseljene u kojoj su se izdvajale jedna od druge sve nove i nove čestice i sile. Eto kako veličanstveno, u svom punom sjaju, radi Božija čestica.

Samo da znate, nisam ja ništa od ovoga izmislio. Začetnik ove teorije, Alen Gut, bio je mladi fizičar koji je pokušavao da reši nešto što je izgledalo kao sasvim drugi problem: naime, standardni model Velikog praska predviđa i postojanje magnetnih monopola - slučajeve gde postoji samo jedan magnetni pol. To bi značilo da između severa i juga postoji odnos kao između materije i antimaterije. Traganje za česticom koja bi bila monopol bilo je omiljena igra lovaca na čestice i na svakoj novoj mašini pokušavano je i to. Do danas nije ulovljena nijedna. Gut se amaterski bavio i kosmologijom i palo mu je na pamet da bi inflacija bila zgodan način da se kosmologija Velikog praska promeni tako da monopoli budu odstranjeni; uradio je to, i otkrio da daljim poboljšavanjem svoje inflacijske zamisli može otkloniti i sve druge nedostatke kosmologije Velikog praska. Gut je kasnije primetio da ga je u postizanju ovog otkrića izvanredno poslužila sreća zato što su svi sastojci bili poznati već odranije. To treba nešto da nam kaže o vrednosti naivnosti u stvaralačkom činu. Wolfgang Pauli se jednom prilikom požalio da je izgubio stvaralačku sposobnost, i to je objasnio ovako: "Ach, suviše znam."

Da bismo upotpunili ovu završnu odu vrlinama Higsa, moramo ukratko da objasnimo kako ovo naglo širenje rešava krizu izotropije i krizu ravnosti. Inflacija se odigrala brzinom koja je nepojamno veća od brzine svetlosti (teorija relativnosti, vidite, ne postavlja nikakvu gornju granicu brzini širenja prostora), a upravo ta ogromna nadsvetlosna brzina nam je potrebna. U samom početku, razna područja Vaseljene bila su u veoma bliskom međusobnom dodiru. Inflacija ih je ogromno proširila, ali i razdvojila, tako da su onemogućene uzročno-posledične veze između njih. Tek posle inflacije nastalo je ono dalje širenje, sporo u odnosu na brzinu svetlosti, zbog koga mi sada neprestano otkrivamo sve nove i nove oblasti kosmosa iz kojih svetlost, najzad, uspeva da stigne do nas. "Ah", govori jedan kosmički glas, "srećemo se opet." Sada nije šokantno da uvidimo da su te druge oblasti iste kao naša. Izotropija!

A ravnost? Inflaciona Vaseljena daje jasnu izjavu o tome: "Nalazim se tačno na kritičnoj masi. Širenje će se nastaviti zauvek, ali zauvek sve sporije i sporije i nikada se neće preokrenuti u sažimanje." Ravnost: u Ajnštajnovoj teoriji relativnosti sve je geometrija. Prisustvo mase dovodi do zakrivljenja prostora; što više ima mase, veće je zakrivljenje. Ravna Vaseljena jeste ono neizvesno stanje tačno između dva suprotna tipa zakrivljenja. Ako je mase malo, zakrivljenje će biti otvoreno prema spolja, kao površina sedla. Ovo pokazuje težnju ka otvorenoj Vaseljenu. Ravnost znači Vaseljenu sa kritičnom masom, 'između' zakrivljenja prema spolja i zakrivljenja prema unutra. Inflacija deluje tako da se jedno majušno područje zakrivljenog prostora rastegne tako ogromno mnogo da postane, zapravo, ravno, vrlo ravno. Predviđanje tačnog iznosa te ravnosti - dakle, predviđanje jedne Vaseljene koja balansira tačno između širenja i skupljanja - može se proveriti tako što ćemo prepoznati tamnu masu, a onda nastaviti posao na procenjivanju gustine mase u Vaseljenu. Ovo će biti urađeno, uveravaju nas astronomi.

Inflacioni model postigao je i druge uspehe, pa zbog toga i jeste široko prihvaćen. Na primer, jedna od 'malih' smetnji u Velikom prasku jeste to što njegova kosmologija ne objašnjava 'zgrudvanost' Vaseljene - postojanje galaksija, zvezda i drugog. Kvalitativno, čini se da je takvo zbijanje mase u grudve sasvim u redu. Nasumične fluktuacije se dešavaju, pa se u glatkoj plazmi dogodi da se neka mala količina materije zbije u grudvicu, koja onda, svojom majušnom gravitacionom silom, privuče još malo materije i kad tako poraste privuče još malo više i jače... Tako se proces nastavlja, i jednog dana eto i galaksije. Ali pojedinosti pokazuju da je ovaj proces suviše spor ako bi zaista nastajao samo zbog nasumičnih fluktuacija. Prema tome, mora biti da je seme formiranja galaksija posađeno još u vreme inflacione faze.

Teoretičari koji su razmišljali o tom semenu zamišljaju ga kao malenu (manje od 0,1%) varijaciju u gustini početne raspodele materije. Odakle dođe te semenke? Gutova inflacija daje veoma privlačno objašnjenje za ovo. Moramo se vratiti u kvantnu fazu istorije Vaseljene, onu fazu u kojoj avetinjske kvantnomehaničke fluktuacije tokom inflacije mogu dovesti do raznih nepravilnosti. Inflacija uvećava ove mikroskopske fluktuacije do razmera koje su saobrazne galaksijama. Nedavna osmatranja (objavljena u aprilu 1992. godine) satelita COBE pokazuju da u temperaturi mikrotalasnog pozadinskog zračenja, kad se gleda u raznim pravcima, postoje razlike veoma malene, ali tačno u skladu, rekao bih divno usaglašene, sa inflacijskim scenarijem.

Ono što je COBE video odražava uslove koji su vladali kad je Vaseljena bila mlada - tek 300.000 godina stara - i kad se na njoj video otisnut pečat inflacijom izazvanih raspodela zbog kojih je na nekim mestima pozadinsko zračenje bilo vrelije (tamo gde je Vaseljena bila manje gusta), a na nekim mestima hladnije (tamo gde je Vaseljena bila gušća). Primećene razlike u temperaturi jesu, dakle, opitni dokazi da je postojalo seme potrebno za nastanak galaksija. Nije nikakvo čudo, dakle, što su vesti o COBE-ovim otkrićima iskočile na naslovne stranice novina širom sveta. To su temperaturne razlike od samo nekoliko milionitih delova stepena; bila je potrebna izuzetna obazrivost u vršenju opita. Ali kako ogromno se isplatilo! U jednoj homogenizovanoj kaši uspeli smo da otkrijemo dokaze o zgrudvavanju koje je bilo preteča nastanka galaksija, sunaca, planeta i nas samih. "Bilo je to kao da smo gledali u lice Boga", rekao je oduševljeni astronom Džordž Smut (George Smoot).

Hajnc Pejdzels je naglasio filozofsku poentu - da je inflaciona faza bila konačna 'mašina Kule vavilonske' jer nas je u suštini odsekla od svega onoga što se dešavalo ranije. Inflacija je, naime, razvukla, ali i 'razvodnila' sve strukture koje su ranije postojale. I tako, iako imamo glavninu priču o nastanku, od 10-33 sekundi do 10<sup>17</sup> sekundi (to je sad), postoje još i neki dosadni klinici koji govore: "Dobro, ali Vaseljena postoji; kako je nastala?"

Godine 1987. imali smo konferenciju u tom fazonu - "Lice Boga" i takve stvari - u Fermilabu; naime, jedna grupa astro/kosmo teoretičara okupila se da povede raspravu o tome kako je kosmos nastao. Zvanični naziv konferencije glasio je 'Kvantna kosmologija', a razlog sazivanja: da najstručniji ljudi zajedno pate zbog ogromnosti neznanja. Ne postoji nikakva zadovoljavajuća kvantna teorija gravitacije, a dok se ona ne pronađe, neće biti moguće ni da se ovlada fizičkom situacijom Vaseljene pri njenom nastanku.

Spisak učesnika bio je pravi imenik Ko je ko za ovu egzotičnu oblast: Stiven Hoking (Stephen Hawking), Marej Gel-Man, Jakov Zeldovič (Yakov Zeldovich), Andrej Linde, Džim Hartl (Jim Hartle), Majk Tarner (Mike Turner), Roki Kolb (Rocky Kolb), Dejvid Šram (David Schramm) i drugi. Rasprave su bile apstraktne, matematičke i vrlo žustre. Glavninu toga nisam uspevao da pratim. Najviše mi je prijao Hokingov zaključni govor o poreklu Vaseljene, koji je održan u nedelju ujutro, u isto vreme kad i 16.427 propovedi o približno istoj temi u 16.427 crkvenih zgrada širom SAD. Osim. Osim što je Hoking govorio kroz mašinu za sintetizovanje glasa, a to mu je davalo posebnu, dodatnu autentičnost. Kao i obično, imao je šta da kaže, mnogo stvari zanimljivih i složenih, ali najdublju misao izrazio je sasvim jednostavno. "Vaseljena jeste ono što jeste zbog toga što je bila ono što je bila", naglasio je on svečano.

Hoking je tvrdio da pred kosmologijom, ako se želi da se primeni kvantna teorija na nju, stoji zadatak da tačno odredi početne uslove koji su postojali baš u samom prvom trenu Postanja. Hokingova premisa je da odmah posle tog trena upravljanje događajima moraju preuzeti pravi zakoni prirode - mi se nadamo da će ih formulirati neki genije koji je sada u trećem osnovne - i da će oni odrediti celokupan dalji razvoj Vaseljene. Nova velika teorija mora povezati opis početnih uslova Vaseljene sa savršenim razumevanjem zakona prirode, te tako objasniti sva kosmološka opažanja. Ona takođe mora da ima, kao svoju posledicu, standardni model koji postoji sada, u devedesetim godinama. Ako pre tog proboja sačinimo, pomoću podataka iz superkolajdera, novi standardni model, koji bi mnogo sažetije objasnio sve podatke prikupljene od Pize do danas, utoliko bolje. Naš sarkastični Pauli jednom je nacrtao prazan pravougaonik i saopštio da je to njegovom rukom još jednom naslikano najbolje delo velikog slikara Ticijana - samo su izostavljene pojedinosti. Moramo priznati, našoj umetničkoj slici Rođenje i razvoj Vaseljene nedostaje još pokoji zamah četkicama i bojama. Ali ram imamo. Divan je.

## **PRE POČETKA VREMENA**

Hajde da se vratimo još jednom onoj prenatalnoj Vaseljenu. Živimo u jednoj Vaseljenu o kojoj znamo, bogami, poprilično. Kao paleontolog koji rekonstruiše celog mastodonta na osnovu samo jedne nađene, čak ne cele, cevanične kosti, ili kao arheolog koji dočara sliku nekog drevnog grada na osnovu samo nekoliko pronađenih kamenova, tako i mi

zaključujemo mnogo štošta na osnovu zakona fizike koji izranjaju iz naših laboratorija širom sveta. Uvereni smo (iako to ne možemo dokazati) da je postojao samo jedan jedini redosled događaja; da o njima možemo da razmišljamo unatraske, ka sve ranijim i ranijim događajima; da se pri tome možemo oslanjati na zakone prirode; i da takvim misaonim zalaganjem sve dublje i dublje u prošlost (dakle, prateći redosled događaja unazad) možemo od ove Vaseljene koju opažamo stići sve do samog početka njenog, pa čak i do 'onog pre'. Mora biti da su zakoni prirode postojali i pre nego što je počelo čak i samo vreme; jer, da nisu, ne bi se ništa ni moglo početi da događa. To, evo, kažemo, i u to verujemo, da, ali možemo li to da dokažemo? Ne možemo. A šta znače reči "pre nego što je vreme počelo"? Samo da znate, sad smo izišli iz fizike. Sad se bavimo filozofijom.

Koncept vremena vezan je za pojavu događaja. Desi se nešto; to je događaj. On obeležava jednu tačku u vremenu. Budu dva događaja; ono između te dve tačke u vremenu jeste jedan vremenski razmak, dakle - jedno razdoblje. I kao što dva događaja određuju razmak, tako i neki pravilan, ravnomeran niz događaja odredi 'časovnik'. Otkucaji srca, zamasi klatna, izlasci i zalasci Sunca - sve su to časovnici. E, sad zamislite situaciju u kojoj se ne dešava ništa. Ništa ne kucka, niko ne donosi ništa za jelo, nema događanja. Čak i sam koncept vremena u takvom jalovom svetu nema smisla. Eto, takvo je moglo biti stanje Vaseljene 'pre početka'. Naš Veliki događaj - naime, Veliki prasak - možda je stvorio, između ostalog, i samo vreme.

Hoću ovo da kažem: ako ne možemo da odredimo bar jedan časovnik, onda ne možemo da damo nikakav smisao ni vremenu. Razmotrite kvantnu zamisao o raspadu neke čestice - na primer, našeg starog prijatelja piona ( $\pi$ -mezona). Sve dok se on ne raspadne, nema nikakvog načina da se meri proticanje vremena u Vaseljenu tog piona. Ništa se u njemu ne menja. Njegova struktura, ako mi razumemo išta, ostaje istovetna sama sebi i ostaje nepromenjena sve dok se tom pionu ne dogodi njegova sopstvena, pionska verzija Velikog praska. Uporedite to sa našim ljudskim iskustvom, raspadanjem jednog homo sapiensa. Verujte mi, ima puno znakova da je raspadanje u toku ili da neposredno predstoji! U kvantnom svetu, međutim, besmisleno je čak i pitati "Kad će se ovaj pion raspasti?" ili "Kad se dogodio Veliki prasak?" Možemo, međutim, postaviti pitanje (ono ima smisla): "Pre koliko vremena se dogodio Veliki prasak?"

Možemo pokušati da zamislimo Vaseljenu pre Velikog praska: u njoj ne postoji vreme, ona nema ni jednu jedinu crtu niti odliku, ali, na neki nezamislivi način, ona je sva predata zakonima fizike u vlast. To su zakoni koji ovoj Vaseljenu, kao  $\pi$ -mezonu koji je osuđen na raspadanje, dosuđuju jednu određenu, ne nultu, verovatnoću da će eksplodirati, preobraziti se, proći kroz promenu svoga stanja. Sad možemo malo i da poboljšamo onu analogiju kojom smo počeli knjigu. Bili smo uporedili Vaseljenu, onu na samom početku, pre Postanja, sa jednom ogromnom stenom koja se klata na samom rubu ludo duboke provalije. Hajde sada da zamislimo da stena nije na rubu, nego u nekom udubljenju, žlebu planine, na nekom rastojanju od ruba. Po klasičnoj fizici, morala bi tu i da ostane jer je to postojana ravnoteža. Ali kvantna fizika dopušta tunel efekat - jedan od onih 'uvrnutih', čudnih efekata o kojima smo govorili u petom poglavlju - pa, prema tome, može da se dogodi (i to će biti prvi događaj u istoriji Vaseljene) da se stena pojavi izvan žleba. A tamo, uuups! Nema nikakvog oslonca, nego pada, i pada, i tako oslobađa svoju potencijalnu energiju i stvara ovu Vaseljenu koja je nama poznata. U nekim, veoma spekulativnim modelima, naše drago, drago Higsovo polje igra ulogu te planine.

Prijatno je zamisliti kako, kad odmotamo 'film' unazad do samog Postanja, nestanu i prostor i vreme. Dešava se ovo: vreme se svodi ka nuli, a i prostor se svodi ka nuli, a dok se to zbiva, jednačine pomoću kojih objašnjavamo Vaseljenu raspadaju se jedna po jedna i postaju besmislene. I tad ispadnemo iz nauke. Možda je baš dobro što tada i prostor i vreme prestaju da imaju ma kakav smisao; jer, ostaje nam nada da bi se taj proces mogao završiti tiho i mirno. Šta preostaje? Ono što preostaje, to moraju biti zakoni fizike.

Kad se bavimo svim tim elegantnim teorijama o prostoru, vremenu i o Postanju kosmosa, jedna očigledna osujećenost počne da nam smeta. Za razliku od gotovo svih drugih stvari kojima se nauka bavila - barem od 1500. godine - ovde, reklo bi se, nema nikakve mogućnosti da izvedemo opit, bar ne u sledećih nekoliko dana. Čak i u

Aristotelovo vreme, mogao si (ne bez rizika) da otvoriš konju usta i da mu pokušaš prebrojati zube da bi učestvovao u raspravi na temu: koliko zuba ima konj? A sad naše kolege učestvuju u raspravama o jednoj temi za koju ne postoje nikakvi podaci osim jednog, samo jednog, a taj je... činjenica da Vaseljena postoji. Ovo nas vraća na neozbiljni podnaslov naše knjige: Vaseljena je odgovor, ali đavo da me nosi ako ja znam šta je pitanje.

## **POVRATAK GRKA**

Bilo je blizu pet sati ujutro. Zadremao sam nad poslednjim stranicama devetog poglavlja. Rok za predaju rukopisa izdavaču prošao je odavno, a ja ostao bez nadahnuća. Najednom čujem neku gužvu ispred naše stare seoske kuće u Bataviji. Konji u štali se ustumarali, ritaju se. Izidem, a kad tamo, iz ambara pojavljuje se tip odeven u togu, sa dve potpuno nove sandale na nogama.

LEDERMEN: Demokrite! Šta ćeš ti ovde?

DEMOKRIT: Ti ono nazivaš konji? Trebalo je da vidiš one egipatske konje za vuču dvokolica, one koje sam odgajao u Abderi. Visoki od sedamnaest pedalja pa naviše. Oni su naprosto leteli!

LEDERMEN: Dobro. Nego, kako si?

DEMOKRIT: Imaš li jedan sat? Pozvan sam u kontrolnu salu akceleratora Vejkfild koji se upravo uključuje u rad. To je u Teheranu, 12. januara 2020. godine.

LEDERMEN: Jao! Mogu i ja?

DEMOKRIT: Možeš ako budeš dobar. Evo, uhvati me za ruku i kaži Plankova masa. (Plankova masa.)

LEDERMEN: Plankova masa.

DEMOKRIT: Glasnije!

LEDERMEN: Plankova masa.

Najednom smo se obreli u jednoj iznenađujuće maloj sali koja uopšte nije ličila na ono što sam očekivao, na komandni most kosmičke krstarice Enterprajz. Doduše, bilo je tu nekoliko ekrana u boji, sa vrlo oštrom slikom (to im je televizija sa visokom definicijom). Ali nije bilo onih redova osciloskopa i instrumenata sa kazaljka. U jednom uglu stajala je grupa mladih žena i muškaraca koji su nešto živahno raspravljali. Pokraj mene stajao je tehničar koji je pritiskao dugmad na kutijici ne većoj od njegovog dlana i pazio na jedan ekran. Drugi tehničar je govorio persijski u mikrofon.

LEDERMEN: Zašto Teheran?

DEMOKRIT: A, pa, vidi, nekoliko godina posle uspostavljanja svetskog mira, Ujedinjene nacije odlučile su da smeste akcelerator Novog sveta na jednu od velikih drevnih svetskih raskrsnica. Ovdašnja vlada jedna je od najpostojanijih, a dokazala je i da ima dobru geološku podlogu za ovo, kao i izvore jeftine energije i vode u blizini, odnosno kvalifikovanu radnu snagu, a i prave najbolji čevap južno od Abdere.

LEDERMEN: Šta se dešava?

DEMOKRIT: Mašina sudara protone od 500 TeV sa antiprotonima od 500 TeV. Još od godine 2005, kad je na superkolajderu otkriven higs sa masom od 422 GeV, postoji hitna potreba da se istražuje 'higsov sektor' da bi se pronašlo još higsova ako postoje.

LEDERMEN: Našli su Higsovu česticu?

DEMOKRIT: Našli su jednu od njih. Smatraju da ih ima još, cela porodica higsova.

LEDERMEN: Još nešto?

DEMOKRIT: Oh, sto mu gromova, da. Trebalo je da budeš ovde pa da vidiš kako je to izgledalo kad su podaci pokazali taj ludi događaj sa šest mlazeva i osam parova elektrona. Već je pronađeno nekoliko skvarkova, gluina, a nađen je i fotino...

LEDERMEN: Supersimetrija?

DEMOKRIT: Dabome. Čim su energije mašina premašile 20 TeV, ti mali momci su počeli da izlaze napolje. Mnoštvo njih.

Demokrit se obratio nekome, govoreći persijskim jezikom, ali sa jakim grčkim naglaskom. Uskoro su nam doneli po jedan krčag pun vrućeg mleka od jak-govečeta. Zapitao sam mogu li na nekom monitoru da pratim događaje; na to je neko stavio na moju glavu šlem za gledanje virtuelne stvarnosti, pa su događaji, koje je na osnovu opaženih podataka sintetizovao ko zna koji računar, počeli da sevaju ispred mojih očiju. Primetio sam da ovi fizičari godine 2020. (klinci u jaslicama, u mojoj eri) ipak moraju da dobiju informacije 'na kašičicu', sređene u slike, kao što smo morali i mi. Ležernim koracima priđe nam jedna visoka mlada crnkinja sa spektakularnom afro-frizurom. U ruci je nosila nešto što je izgledalo kao kompjuterska beležnica. Demokrita je prenebregla; mene je osmotrila od glave do pete, što kao da ju je zabavljalo. "Plave farmerice, baš kao što je nosio moj deda. Kako si obučen, mora biti da si iz UN štaba. Došao si možda u inspekciju?"

"Ne", rekoh. "Ja sam iz Fermilaba. Poslednjih nekoliko godina proveдох malo izvan posla. Šta se dešava?"

Sledeći sat proleteo je u zasenjujućem, brzom smenjivanju objašnjenja o neuronskim mrežama, mlaznim algoritmima, kvarku vrh, Higsovim kalibracionim tačkama, o vakuumski deponovanim dijamantnim poluprovodnicima, o femtobajtovima i - još gore - o napretku postignutom u poslednjih dvadeset pet godina. Ta devojka bila je iz Mičigena, proizvod prestižne Detroitske visoke škole prirodnih nauka. Njen muž, mladi doktor iz Kazahstana, bio je zaposlen na Univerzitetu Kito u Ekvadoru. Objasnila je da poluprečnik ovog akceleratora iznosi samo 160 kilometara; ovako skromna veličina omogućena je velikim probijem koji je 1997. godine postignut u stvaranju superprovodnika koji deluju na sobnoj temperaturi. Ženska se zvala Mercedes.

MERCEDES: Aha, grupa za istraživanje i razvoj superkolajdera slučajno je naišla na te nove materijale, tako reći spotakla se o njih, u vreme kad je istraživala neka čudna dejstva u legurama niobijuma. Jedna stvar je vodila drugoj, i najednom smo dobili ovaj ključni materijal kod koga počinje superprovodnost kad temperatura opadne na 500 Farenhajta, a to je otprilike temperatura jednog svežeg dana u jesen.

LEDERMEN: Kritično polje iznosi?

MERCEDES: Pedeset tesli! Ako sam dobro zapamtila ono na časovima istorije, tvoja mašina u Fermilabu dostizala je četiri tesle. Danas ima dvadeset pet kompanija u kojima se superprovodni materijal proizvodi ili pušta da sam raste. Ekonomska korist od tog materijala, fiskalne godine 2019, iznosi oko trista milijardi dolara godišnje. Supervoz, koji lebdi između Njujorka i Los Anđelesa, vozi prosečnom brzinom od tri hiljade šest stotina kilometara na sat. Ogromna povesma čelične vune, napajana energijom pomoću ovog novog materijala, daju sada pitku vodu za većinu gradova na ovom svetu. Svake nedelje čitamo o ponekoj novoj primeni.

Demokrit, koji je do sada sedeo u prikrajku, kreće ka središnjem pitanju.

DEMOKRIT: Jeste li videli išta unutar kvarkova?

MERCEDES: (odmahuje glavom, smeška se) To je bila moja doktorska teza. Najbolja merenja bila su u poslednjem opitu u superkolajderu. Prečnik kvarka je manji od neverovatno malenih 10-21 centimetra. Koliko možemo da ustanovimo, kvarkovi i leptoni su najbolja postojeća aproksimacija tačaka.

DEMOKRIT: (Poskakuje, pljeska rukama, histerično se smeje) Atomos, konačno!

LEDERMEN: Ikakvih iznenađenja?

MERCEDES: Pa, sa suzi i higsom, jedan mladi teoretičar sa RIB-e, tip po imenu Pedro Monteagudo, napisao je novu suzi-gut jednačinu koja uspešno predskazuje mase svih kvarkova i leptona stvorene Higsom. Baš kao što je Bor objasnio energetske nivoe u vodonikovom atomu.

LEDERMEN: Juhu! Stvarno!

MERCEDES: Da, Monteagudova jednačina zamenila je Diraka, Šredingera i sve što je zapadno od njih. Pogledaj moju majicu.

Ih, pa zar je mene trebalo pozivati da gledam tamo. Gledao sam i dosad, ali sad sam izoštrio pogled baš na čudne hijeroglifne tu zapisane. Međutim, upravo u tom trenu savlada me vrtoglavica neka, mutna i zemljotresna, i sve mi nestade ispred očiju.

"E, dovraga", reko ja, videći da sam opet u svojoj kući i ošamućeno podižući glavu sa mojih spisa. Primetih fotokopiju nekog naslova iz novina: U KONGRESU FONDOVI ZA SUPERKOLAJDER POD ZNAKOM PITANJA. Moj kompjuterski modem oglašavao se piskutanjem, a poruka u elektronskoj pošti me je 'pozivala' u Vašington na senatsko saslušanje o superkolajderu.

## **ZBOGOM I DO VIĐENJA**

Ti i ja smo, dragi kolega, veliki put prevalili od grada Mileta dovde. Vodili su nas putevi nauke od onog do ovog mesta i vremena. Nažalost, morali smo ogromnom brzinom da vozimo pored mnogih kamenova međaša, velikih i malih. Ipak, zastali smo kod nekih važnih prizora: kod Njutna i Faradeja, Daltona i Raderforda, i, naravno, kod Mekdonaldsa za hamburger. Videli smo novu sinergiju između mikrokosmosa i makrokosmosa. Kao vozač na krivudavom putu kroz šume, ponekad nakratko ugledasmo, kroz maglu, između krošnji, jednu kulu koja se vinula visoko ka nebu: intelektualnu građevinu koja se već 2.500 godina zida.

Nastojao sam da usput ubacujem i poneki bezvezan podatak o naučnicima. Važno je znati razliku između nauke i naučnika. Više od polovine naučnika su, ipak, ljudska bića; pa, kao takvi, pokazuju ogroman raspon raznovrsnosti koji čini ljude tako, tako... zanimljivim. Naučnici su vedro smireni, ambiciozni ljudi; silno su obuzeti radoznalošću i ličnom ambicijom; ispoljavaju anđeoske vrline i ogromnu pohlepu; oni su neverovatno mudri, ali i detinjasti, od mladosti do pozne starosti; oni su siloviti, opsednuti, povučeni od života. Unutar te podgrupe ljudskog roda koja se zove 'naučnici', imate ateiste, agnostike, ratoborno apatične, duboko religiozne, a imate i one koji Stvoritelja vide kao svoje lično božanstvo, koje je za nekoga svemudro, a za nekoga trapavo kao Frenk Morgan u filmu Čarobnjak iz Oza.

Raspon sposobnosti među naučnicima takođe je ogroman. To je u redu, jer nauci su potrebni i oni koji će da mešaju cement, ali i glavne arhitekta. Među nama, naučnicima, imate umove zaprepašćujuće moćne, imate i one koji su samo nepojamno pametni, imate one sa magičnim šakama, one sa natprirodnom intuicijom, a i ljude koji imaju ono što je u naučnom istraživanju najvažnije, imaju sreće. Ali takođe imate zagrižene mamlaze, ogavnjake i one koji su, naprosto, glupi. Glupi!

"Misliš, glupi u poređenju sa vama, drugim fizičarima", bunila se jednom prilikom moja mama.

"Ne, mama, nego glupi u istom smislu koji važi i za sve ostale ljude."

"Ako je neko glup, kako je odbranio doktorsku disertaciju?" pitala je ona.

"Zicflajš, mama." Ta nemačka reč: meso na kome se sedi, sposobnost da sediš i ludo, nepojamno uporno pokušavaš ponovo, i ponovo, i ponovo, sve dok najzad cilj ne bude ostvaren. Oni koji daju doktorate kandidatima takođe su ljudska bića: ranije ili kasnije popuste.

Ako uopšte postoji nešto što je zajednička osobina svih tih ljudskih bića koja nazivamo naučnici, to je onaj ponos i ono veliko poštovanje kojim smo obuzeti kada pridodajemo svoj doprinos našoj velikoj intelektualnoj građevini, našoj nauci. Možda neko pridoda samo jednu opeku, tačno prilagođenu mestu gde treba da bude ugrađena; zacementira je čvrsto. Neko, međutim, doda predivne kapitule, arhitrave i frizove iznad nosećih stubova koje su utemeljili i podigli naši majstori. Gradimo poneti osećanjem strahopoštovanja, ali uz teške primese skeptičnosti; vodi nas ono što nađemo; u napor zvani nauka pristizemo iz svih pravaca, dolazeći svako odeven u svoju kulturu i jezik, ali ipak nalazimo od prvog trenutka način da opštimo; to vam je jedno instant-razumevanje koje se uspostavi između nas, jedna empatija, sve na zajedničkom poslu izgradnje kule nauke.



Vreme je da vas pustim da se vratite svom stvarnom životu. Već tri godine čekam za ovim trenutkom: za završetkom ovog posla. A sada, kolege, priznajem da ćete mi nedostajati. Beste mi kompanjoni stalni, moji družbenici u svakom avionu i u svakoj vrlo tihoj sesiji pisanja do kasno u noć. Ja tebe, kolegice čitateljko, vidim kao penzionisanu profesoricu istorije, kao računovođu koji sređuje zemljišne knjige, kao studentkinju nekog koledža, kao vinarskog trgovca, kao motociklističkog mehaničara, kao đaka prvog razreda neke srednje škole, a kad mi treba malo ohrabrenja, i kao neverovatno lepu vojvotkinju koja želi da provlači prste kroz moju kosu. I kao kad neko čita roman i bliži se kraju, a žao mu je što će voljene likove uskoro morati da ostavim, tako je i meni žao što se sa tobom više neću družiti.

## **KRAJ FIZIKE**

Pre nego što odem, moram da dam jednu izjavu o onome na konačnoj majici. Možda sam stvorio utisak da Božija čestica, kad jednom bude shvaćena, može dovesti do konačnog otkrovenja: do saznanja kako Vaseljena dejstvuje. To je, znate, područje rada onih zaista dubokih mislilaca, onih teoretičara čestica koji su plaćeni da misle stvarno duboko. Neki od njih veruju da će naš Put, a to je Put redukcionizma, konačno prići svome svršetku, jer ćemo, u suštini, znati sve. Onda će se nauka okrenuti da se bavi raznim zapetljanim stvarima: gledaće viruse, super baki-loptice, jutarnja zakrčenja saobraćaja, tražiće lek protiv mržnje i nasilja... što je sve dobro.

Postoji, međutim, i jedno drugo gledište, koje nas uči da smo svi mi deca (alegoriju je dao Bentli Glas /Bentley Glass/) koja se igraju na obali ogromnog okeana. To je gledanje koje kaže da je granica pred nama odista beskrajna. Iza Božije čestice tek će se otkriti svet predivne, zasenjjuće lepote, ali kad se naš umni vid prilagodi tome, shvatićemo da nismo sve otkrili, da postoji nešto unutar elektrona, i kvarka, i crne rupe, i tako za večita vremena sve dalje i dalje.

Mislim da sam više na strani optimista (ili su to pesimisti koji su se pomirili s tim da će ostati nezaposleni čim nauka otkrije sve što se imalo otkriti?) - naime, na strani onih koji veruju da ćemo 'doznati sve'; dušom sam na njihovoj strani - samo, eksperimentator u meni ne dopušta da prikupim potrebnu oholost i kategorično to kažem. Opitni put do Oza, do Plankove mase, do one epohe koja je bila na manje od 10-40 sekunde posle Velikog događaja, toliko je ogromno dug, da sav ovaj naš dosadašnji put pređen od grada Mileta do grada Vaksahačija izgleda kao laka šetnjica pored jezera Vinebago. Pomišljao sam, znate, pomišljao sam na akcelatore koji bi obujmili ceo Sunčev sistem, i na detektore odgovarajuće veličine. Takođe sam zamišljao koliko bi tek milijardi studenata izgubilo koliko milijardi sati sna radeći na takvim mašinama. Ali brinem se: hoće li postojati ono potrebno osećanje optimizma koje naše, američko društvo mora da smogne da bi ovo traganje bilo nastavljeno.

Ono što zaista želimo da znamo i što će postati poznato kroz desetak godina, može se izmeriti energijom superkolajdera - naime, energijom od 40 hiljada milijardi volti. Ali mora biti da se neke značajne stvari dešavaju i na energijama daleko iznad te, energijama naspram kojih će čak i naši sudari u superkolajderu izgledati kao sudarčići ili kao dremež. Postoje još neograničene mogućnosti za potpuna iznenađenja. Moglo bi se desiti da otkrijemo nove zakone prirode, jednako nezamislive za nas danas kao što bi Galileju bila nezamisliva kvantna teorija (ili cezijumski atomski časovnik), zakone koji bi nalagali da u pojedinim kvarkovima postoje drevne civilizacije. Ah! Pre nego što stignu one čike u belim mantilima da me odvedu, dozvolite da se prebacim na jedno drugo pitanje, takođe često postavljano.

Zapanjuje koliko često naučnici, i to kompetentni naučnici, zaboravljaju bukvicu koju nam je istorija očitala - naime, zaboravljaju da su pronalasci najkorisniji za ukupni napredak društva dolazili uvek iz onih istraživanja koja su okrenuta traganju za a-tomom. Niko nema ništa protiv genetskog inženjeringa, protiv nauke o materijalima, niti protiv kontrolisane fuzije, ali, ipak, traganje za a-tomom je svoje troškove vratilo i isplatilo ne dvostruko niti stostruko nego mnogomilionstruko; tako je bilo u ranijim vremenima, a nema dokaza da je sad drugačije. Ulaganja u apstraktna naučna

istraživanja, u ona koja industrijskim društvima odnose manje od jedan posto ukupnih budžetskih sredstava, isplatila su se daleko više nego ijedna vrsta deonica na Dau Džonsovom berzanskom indeksu. Pa ipak, s vremena na vreme nas terorišu osujećeni politikanti koji bi hteli da sva nauka služi samo neposrednim potrebama društva, ljudi koji zaboravljaju (ili možda nikad nisu ni shvatili) da je glavčina onih velikih napredaka u tehnologiji, koji su uzdigli kvalitet i kvantitet naše civilizacije, došla iz čistog, temeljnog istraživanja, čija je glavna pogonska sila bila naprosto radoznalost.

Amin.

### **OBAVEZAN ZAVRŠETAK S BOGOM**

U potrazi za nadahnućem koje bi mi omogućilo da smislim kako bih završio ovu knjigu, proučio sam završetke nekoliko desetina naučnopopularnih knjiga. Uvek budu filozofski, a Stvoritelj sveta uvek se nekako pojavi ili kao piščeva omiljena slika ili kao omiljena slika nekog drugog pisca koji uživa naklonost tog pisca. Zapazio sam da se završna poglavlja i sažeci u tim naučnim knjigama za široku publiku mogu podeliti u dve vrste. Jedna vrsta odlikuje se poniznošću. Degradiranje ljudskog roda obično počinje podsećanjem na to da smo mnogo koraka udaljeni od središta: niti je naša planeta srce Sunčevog sistema, niti je Sunčev sistem središte ove galaksije, a ni naša Galaksija nije nešto naročito istaknuta u društvu drugih galaksija. Ako ovo nije dovoljno da obeshrabri čak i čoveka sa Harvarda, kaže nam se još da i sam materijal od koga smo sazđani mi i ovi predmeti oko nas nije ništa naročito, sastoji se od samo malog broja osnovnih objekata, a u Vaseljenu ima i mnogo drugih vrsta. Onda autori napomenu da ljudski rod i sve ljudske institucije i spomenici jesu tek jedna sitnica u ukupnoj istoriji kosmosa. Velemajstor u ovom nabijanju poniznosti je Bertrand Rasel:

Sličan je, ali još besciljniji i besmisleniji, svet koji nam prikazuje Nauka i traži da u njega verujemo. U tom svetu (jer nemaju gde drugde) moraju naši ideali odsad naći sebi dom. Da je čovek proizvod procesa koji su se odvijali bez ikakve, bez ičije namere da čovek bude stvoren; da čovekov nastanak, rast, njegove nade i strahovi, ljubavi i verovanja jesu posledica pukih slučajeva u grupisanju atoma; da nikakva vatrenost, ni heroizam, nikakav uzlet misli i osećanja ne mogu očuvati život jednoga pojedinca iza groba; da je sav rad i trud svih vekova, odanost, nadahnuće, podnevna blistavost ljudske genijalnosti, da je sve to skupa osuđeno da umre kad se dogodi i ogromna smrt Sunčevog sistema; da ceo hram Čovekovog dostignuća mora neizbežno biti sahranjen pod gomilom krša i loma kad se cela Vaseljena sruši - sve te stvari, iako nisu potpuno sigurne, ipak su tako blizu apsolutne sigurnosti da nijedna filozofija koja ih odbacuje ne može da se nada da će ostati na nogama. Samo kad se duša čovekova uplete među skele i gubilišne platforme ovih istina, samo kad se osloni na temelje neumoljivog očajanja, moći će sebi graditi pouzdan stan.

Kratak je i nemoćan život Čoveka, a na njega i celu njegovu rasu spušta se neminovno sudba kleta, nemilosrdna i mračna...

Na šta ja odgovaram jednim tihim: auh, braco! Ovaj ga natovari. Stiven Vajnberg je rekao istu stvar sažetije: "Vaseljena, što shvatljivija, ujedno nam izgleda i sve besciljnija." Eto. Sad mora biti da ste smerni sto posto.

Ima i nekih koji 'natovare' do kraja u suprotnom smeru, pa kažu da u naporu da se shvati kosmos nema ničeg što bi nam nabijalo smernost, nego naprotiv, da je to oduševljavajući poduhvat. Ta grupa ljudi žudi da 'dokuči um Božiji' i kaže da mi, čineći to, postajemo presudni deo ukupnog kosmičkog procesa. Trepereći od uzbuđenja, vraćamo se u samo središte Vaseljene gde i treba da budemo. Neki filozofi ovog opredeljenja idu čak toliko daleko da govore kako je svet, zapravo, proizvod našeg mišljenja, konstrukcija ljudskog uma; drugi, malo skromniji, kažu da postojanje našeg razuma, pa makar i na jednoj planetici koja je samo jedna (gotovo) beskrajno mala trunčica Vaseljene, mora biti bitan deo Velikog plana. Na šta ja odgovaram, sad veoma tiho: eh... Baš je lepo kad smo nekome potrebni.

Lično najviše volim neku mešavinu tih pristupa, a ako već hoćemo da ubacimo i Boginju u ovaj šou, hajde da to učinimo u stilu onih drugara koji su nam već dali mnoge nezaboravne prizore te vrste. Znači, kad momci iz Holivuda uhvate ovu knjigu, pa je zaljubljeno prerade za film, zavirićemo u scenario, da vidimo kako će ispasti ekranizacija. Evo završne scene:

Glavni junak je predsednik Astrofizičkog društva, jedini čovek u istoriji sveta koji je dobio tri Nobelove nagrade. Noć je. On stoji na plaži, raskoračen, i izmahuje pesnicom ka nebu koje je crno, ali posuto nebrojenim pregrštima zvezdanih dragulja. Svetački uzvišen u svojoj ljudskosti, svestan najmoćnijih dostignuća ljudskog roda, viče na Vaseljenu, nadvikuje okeanske talase koji se sa štropotom valjaju po plaži. "Ja stvorih tebe. Ti tvorevina si uma moga - vizije moje i mašte. Ja sam taj koji daje razum tebi, Vaseljeno, i svrhu i divotu. Čemu bi ti uopšte služila, svesti moje da nije i mašina mojih da nije pomoću kojih sam te sagledao?"

Mutni vrtlog svetlosti pojavljuje se na nebu, zatim se traka svetlosti opruža sa neba i obuhvata tog čoveka na plaži. Čuju se završni veličanstveni akordi Bahove 'Mise u B molu' (ili možda solo pikolo iz 'Posvećenja' Stravinskoga), a svetlost na nebu postepeno se razmešta dok ne načini sliku Njenog lica, sliku Boginje, koja se osmehuje sa izrazom beskonačne slatke tuge.

Ekran se zamračuje do crnog. Počinje odjavna špica.

## ZAHVALNICE

Čini nam se da je Entoni Bardžis (Anthony Burgess) (ili je to možda bio Bardžis Meredith /Burgess Meredith/?) predložio ustavni amandman kojim bi se zabranilo da pisac u ovakvim zahvaljivanjima pomene i svoju ženu kojoj je zahvalan što je prekucavala to njegovo. Mi fizičari nemamo taj problem jer naše žene ne prekucavaju ovo naše. Znači, pošteđeni ste toga. Ali ipak imamo kome da se zahvalimo.

Majkl Tarner, teoretičar i kosmolog, mukotrпно je čitao ceo ovaj rukopis, tragajući za makar i najsitnijom greškom u teoriji (i našao neke ne baš sitne); ne samo nekoliko, znate, našao ih je mnogo, i svaki put nas je vraćao na pravi put. A pošto je ova knjiga sva naherena u korist eksperimentatora, a protiv teoretičara, to je kao da je Martin Luter godine 1517. zamolio katoličkog papu da mu uradi korekturu za onih 95 teza. Majk, ako je ostala neka greška, krivi su urednici.

Ustanova zvana 'Fermijeva nacionalna akceleratoraska laboratorija' (i njen svetac zaštitnik u Vašingtonu, a to je Ministarstvo za energiju) dadoše veliki deo nadahnuća, a i mehaničke podrške.

Vilis Brajdgem (Willis Bridegam), bibliotekarka koledža Amherst, stavila nam je na raspolaganje posebne resurse 'Biblioteke Roberta Frosta', kao i 'Sistema pet koledža'. Karen Foks je radila na kreativnom istraživanju.

Naslućujemo da se Peg Anderson (Peg Anderson), naša urednica rukopisa, toliko 'primila' na našu temu i postavila toliko dobrih pitanja, da je zaslužila počasnu magistarsku titulu iz fizike.

Ketlin Stajn (Kathleen Stein), urednica intervjuja u časopisu 'Omni', osoba sasvim neuporediva, poslala je novinare da naprave intervju koji je, zapravo, bio ona klica iz koje je cela ova knjiga izrasla. (Klica? Možda virus?)

Lin Nezbit (Lynn Nesbit) je imala više vere u uspeh našeg projekta nego mi sami.

A Džon Sterling (John Sterling), naš urednik, junački je izdržao celu stvar do kraja. Nadamo se da će nas se setiti kad god sedne u kadu punu tople vode, i da će tad povikati nešto prikladno.

Lion M. Ledermen  
Dik Terezi

## BELEŠKA O ISTORIJI I IZVORIMA

Kad naučnici pričaju o istoriji, treba se dobro pričuvati. To nije ono što bi pisao profesionalni istoričar koji se bavi istorijom nauke, nego je, možemo reći, 'lažna' istorija. Fizičar Ričard Fajnmen za nju kaže ne da je 'lažna' nego da je 'konvencionalizovana mitska istorija'. Zašto? Zato što naučnici (a ovaj naučnik svakako) upotrebljavaju istoriju za pedagoške svrhe. "Vidite, redosled naučnih događaja bio je ovakav. Prvo je bio Galilej, posle je došao Njutn sa svojom jabukom..." Naravno da nije bilo tako. Uvek su postojale i gomile drugih koji su pomagali ili odmagali. Razvoj jednog novog koncepta u nauci može biti izuzetno složen. Bilo je tako i u vremenima pre telefaksa. Gušćije pero takođe može da napravi ogromnu štetu.

U Njutnovu doba već je postojala gusta literatura sačinjena od objavljenih članaka, knjiga, pisama, predavanja. Bitke za prioritet (pokušaji da se dokaže ko je pre koga došao do nekog velikog naučnog otkrića) vodile su se i mnogo pre Njutna. Istoričari sve to 'snime', srede i onda pišu svoju ogromnu, bogatu literaturu o ljudima i idejama. Međutim, sa stanovišta pričanja priče, mitska istorija ima ogromnu prednost zato što naprosto izostavlja pozadinsku buku stvarnog života.

Kad je reč o izvorima, čovek koji je pedeset godina radio u fizici i koji sad rezimira svoje znanje ne uspeva uvek tačno da se priseti od koga ili iz čega je, kad i gde, dobio neku informaciju, činjenicu, navod. Moguće je da neke od najsočnijih priča o istoriji nauke, zapravo, i nemaju nikakav izvor, a ipak postoje; i da su se tako ukorenile u kolektivnu svest naučnika da su sada 'istinite' bez obzira na to da li su se ikad stvarno dogodile ili nisu. Pa ipak, uspeli smo da nabodemo neke knjige, a ovde ćemo pomenuti neke koje bi čitaocu mogle biti od koristi. Naravno da ovo nije nikakav potpun spisak, niti iko tvrdi da su to osnovni ili najbolji izvori onih informacija koje su u njima date. Nabrajam ih bez nekog posebnog reda, naprosto po čudi jednog eksperimentatora...

Nekoliko biografija Njutna dobro mi je poslužilo, a naročito verzija koju je napisao Džon Mejnard Kejz (John Maynard Kayes), kao i knjiga Nikad u mirovanju Ričarda Vestfala (Richard Westfall, *Never At Rest*, Cambridge University Press, 1981). Od neprocenjive koristi bila je knjiga Ejbrahama Pejza Ka unutrašnjosti: o materiji i silama u fizičkom svetu (Abraham Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*, New York, Oxford University Press, 1986). Isto mogu reći i za knjigu koja je klasika: Istorija nauke, koju je napisao ser Vilijem Dempijer (Sir William Dampier, *A History of Science*, Cambridge University Press, 1948). Znatno su pomogle dve nedavne biografije, i to Šredinger: život i misao koju je napisao Volter Mur (Walter Moore, *Schrödinger: Life and Thought*, Cambridge University Press, 1989) i Neodređenost: život i nauka Vernera Hajzenberga koju je napisao Dejvid Kesidi (David Cassidy, *Uncertainty: Life and Science of Werner Heisenberg*, New York, W. H. Freeman Publishers, 1991). Takođe knjige Život i vreme Tihoa Brahea koju je napisao Džon Alin Gejd (John Allyn Gade, *The Life and Times of Tycho Brahe*, Princeton University Press, 1947) i Galilej na poslu: naučna biografija koju je napisao Stilmen Drejk (Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography*, University of Chicago Press, 1970). Zatim: Jeretik Galilej Pjetra Redondija (Pietro Redondi, *Galileo Heretic*, Princeton University Press, 1987) i knjiga Enriko Fermi, fizičar Emilija Segrea (Emilio Segré, *Enrico Fermi, Physicist*, University of Chicago Press, 1970). Zadužio nas je i Hajnc Pejdzels sa dve svoje knjige: Kosmički kod (Heinz Pagels, *The Cosmic Code*, New York, Simon & Schuster, 1982) i Savršena simetrija (*Perfect Symmetry*, Simon & Schuster, 1985). Korisna je bila knjiga Pola Dejvisa Supersila (Paul Davies, *Superforce*, Simon and Schuster, 1984).

U nekim knjigama koje su pisali nenaučnici našli smo anegdote, navode i druge vredne informacije - naročito u knjigama Naučni temperamenti Filipa Dž. Hiltsa (Philip J. Hiltz, *Scientific Temperaments*, Simon & Schuster, 1982) i Drugo Postanje: stvaraooci revolucije u fizici dvadesetog veka Roberta P. Kriza i Čarlsa Mana (Robert P. Crease and Charles C. Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*, New York, Macmillan, 1986).

Scenarij o Samom početku, kao što smo napomenuli u tekstu, više je filozofija nego fizika. Teoretičar-kosmolog sa Čikaškog univerziteta Majkl Tarner kaže za taj scenarij da

je razumno nagađanje. Čarls Man (Charles C. Mann) dao je neke divne pojedinosti o broju 137 u časopisu 'Omni', u članku čiji je naslov glasio malčice neobično, samo '137'. Potražili smo verovanja Demokrita, Leukipa, Empedokla i drugih predsokratovskih filozofa u nekoliko izvora, među kojima su Istorija zapadne filozofije Bertranda Rasela (Bertrand Russell, *A History of Western Philosophy*, New York, Touchstone, 1972) i knjiga V. K. Č. Gatrija *Grčki filozofi od Talesa do Aristotela* (W. K. C. Guthrie, *The Greek Philosophers: From Thales to Aristotle*, New York, Harper & Brothers, 1960). Takođe delo pomenutog Gatrija *Istorija grčke filozofije* (*A History of Greek Philosophy*, Cambridge University Press, 1978). Zatim, Frederik Koplston, *Istorija filozofije: Grčka i Rim* (Frederick Copleston, *A History of Philosophy: Greece and Rome*, New York, Doubleday, 1960) i *Prenosiva grčka čitanka* V. H. Odena (W. H. Auden, *The Portable Greek Reader*, Viking Press, 1948).

Mnoge datume i pojedinosti proverili smo u Biografskom leksikonu o naučnicima čiji je urednik Čarls Č. Gilespi (Charles C. Gillispie, *The Dictionary of Scientific Biography*, New York, Scribner's, 1981) i koji se, u stvari, sastoji od više tomova i može vas lako koštati mnogo sati koje ćete provesti (prijatno) vezani za njega u biblioteci.

Među raznim drugim izvorima pomenuli bismo i knjigu Johan Kepler (Johann Kepler, Baltimore, Williams & Wilkins, 1931) koja je, zapravo, zbirka stručnih radova, kao i *Hemijski atomizam devetnaestog veka* Alena Dž. Rokija (Alan J. Rocke, *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*, Columbus, Ohio State University Press, 1984). Tmurni navod Bertranda Rasela u devetom poglavlju uzeli smo iz njegove knjige *Predmet klanjanja slobodnog čoveka* (*A Free Man's Worship*, 1923).

## **POGOVOR SRPSKOM IZDANJU**

Knjiga Božija čestica dovršena je početkom 1993. godine. Namera je bila da posluži kao laka istorija fizike čestica. Tu su, zapravo, prepletene dve istorije. Jedno je istorija Vaseljene, a drugo je istorija čovekovih nastojanja da Vaseljenu shvati. Za ovu drugu istoriju od bitnog značaja su instrumenti; mnogi su opisani u ovoj knjizi.

Prošlo je, od tada, nekoliko godina. Za to vreme desilo se mnogo štošta. Izgradnja superprovodnog superkolajdera (vidi šesto poglavlje), koja je bila već 20% odmakla, obustavljena je glasanjem američkog Kongresa u oktobru 1993. Godine 1994. kvark vrh otkriven je u Fermilabu, a ovo otkriće potvrđeno je 1995. godine. Njegova izuzetno velika masa (150 protonovih masa) bila je jedan od razloga što se na ovo otkriće čekalo punih sedamnaest godina posle otkrivanja kvarka dno, koje je ostvareno takođe u Fermilabu, godine 1977. (vidi sedmo poglavlje).

Obilata proizvodnja čestica Z0 u CERN-u dala je mnoge važne rezultate, među kojima možda najvažniji jeste potvrda jednog zaključka iz astrofizike koji kaže da ne postoji više od tri generacije kvarkova i leptona.

Godina je, evo, 1997. Fizika čestica nastavlja da sve tačnije određuje parametre standardnog modela i pojačava traganje za masom neutrina, kao i za, u teoriji obožavanom, supersimetrijom; takođe čeka da se u Evropi uključi veliki hadronski kolajder (očekujemo zrak godine 2005.) da bi se mogla uhvatiti ukoštac sa česticom na koju se odnosi naslov ove knjige, dakle, sa Higsovim bozonom. Konačno, sa iščekivanjem i nadom pratimo pomne napore u Japanu, na Stenfordu, na Kornelu, u Fermilabu i u Nemačkoj usmerene ka rešavanju zagonetke takozvanog 'CP narušavanja' (vidi sedmo poglavlje).

Lion M. Ledermen  
25. avgust 1997.