

Vajnberg Stiven
SNOVI O KONAČNOJ TEORIJI Prevod: Nedeljković B. Aleksandar
Weinberg Steven DREAMS OF A FINAL THEORY, 1992.

Ovo je knjiga o jednoj velikoj intelektualnoj pustolovini, o traganju za konačnim zakonima prirode. Veliki deo rada u današnjoj fizici visokih energija nadahnut je snom o konačnoj teoriji; iako ne znamo kakvi bi ti konačni zakoni mogli biti, niti koliko će godina proći dok ih najzad ne otkrijemo, stiče se utisak da u današnjim teorijama već naziremo izvesne obrise one konačne.

Ali i sama pretpostavka da takva, konačna teorija postoji, protivurečna je, i predmet je sadašnje žestoke debate. Rasprava o ovome stigla je i u dvorane pojedinih odbora američkog Kongresa; fizika visokih energija postaje sve skuplja, a njeni izgledi da dobije podršku javnosti zavise, u izvesnoj meri, od njene istorijske misije otkrivanja konačnih zakona.

Od samog početka, moja namera u ovoj knjizi bila je da teme koje su u vezi sa konačnom teorijom izložim kao deo intelektualne istorije našeg doba, za čitaoce koji nemaju prethodno znanje iz fizike ili više matematike. Ova knjiga zaista dotiče ključne zamisli na kojima se zasniva današnji rad na granicama fizike. Ali ovo nije udžbenik fizike, pa zato čitalac neće ovde naći zasebna poglavlja o česticama, silama, simetrijama i strunama. Umesto toga, ja sam utkao postavke moderne fizike u raspravu o tome šta konačna teorija znači i kako ćemo je naći. U ovome sam se upravljao svojim sopstvenim iskustvom kao čitaoca knjiga iz izvesnih oblasti, kao što je istorija, za koje sam ja laik. Istoričari često podlegnu iskušenju da prvo daju narativni prikaz događaja, odnosno ispričaju ih, a onda naređaju zasebna poglavlja o populaciji, ekonomiji, tehnologiji i tako dalje. S druge strane, oni istoričari koje čovek čita iz zadovoljstva, od Tacita (Tacitus) i Gibona (Gibbon) do Eliota (H. J. Elliott) i Morisona (S. E. Morison), spajaju naraciju sa tim 'pozadinskim', uopštenijim informacijama, a istovremeno i iznose dokaze u prilog onim zaključcima ka kojima žele da povedu čitaoca. Pišući ovu knjigu, nastojao sam da radim kao oni i da se oduprem iskušenju da sve bude sasvim uredno poređano. Nisam oklevao da unosim i onu istorijsku i naučnu građu koja je možda već poznata čitaocu ako je on istoričar ili naučnik, niti da ponešto od toga i ponavljam, ako mi se učini da će biti korisno. Kao što jednom prilikom reče Enriko Fermi (Enrico Fermi), nikada ne treba potceniti zadovoljstvo koje osećamo kad čujemo nešto što već znamo.

Knjiga Snovi o konačnoj teoriji sastoji se iz tri dela i kode, odnosno završnice. Prvi deo obuhvata poglavlja 1, 2 i 3; tu je predstavljena zamisao o konačnoj teoriji. Drugi deo, a to su poglavlja od četvrtog do osmog, objašnjava kako smo ostvarili dosadašnji napredak prema konačnoj teoriji; a poglavlja 9, 10 i 11 gledaju napred, u budućnost, i nagađaju kako će konačna teorija izgledati i kako će uticati na ljudski rod. Konačno, u poglavlju 12 okrećem se argumentima za izgradnju i protiv izgradnje novog superprovodnog superkolajdera, skupocenog novog uređaja koji je očajnički potreban fizičarima visokih energija, ali čije je buduće finansiranje neizvesno.

U seriji beležaka na kraju knjige čitaoci će naći potpuniju raspravu o nekim zamislama iz glavnog teksta. U nekim slučajevima, morao sam u glavnom tekstu preterano pojednostaviti neke naučne koncepte, pa sam u završnim beleškama davao

tačnija određenja o tome. U tim beleškama navedene su i bibliografske reference za pojedine materijale navedene u tekstu.

Duboko sam zahvalan Luiz Vajnberg (Louise Weinberg) što je navaljivala da preradim jednu raniju verziju ove knjige, i što mi je ukazivala na koji način to da uradim.

Toplo zahvaljujem i Denu Frenku (Dan Frank) iz izdavačke kuće 'Panteon' ('Pantheon Books') na ohrabrenjima i na znatnom uredničkom radu i usmeravanju, kao i Nilu Beltonu (Neil Belton) iz 'Hačinson Radijusa' ('Hutchinson Radius') i mom literarnom agentu Mortonu Janklovu (Morton Janklow), koji su davali važne sugestije.

Takođe su mi pomogli svojim komentarima i savetima u vezi sa raznim temama filozofi Paul Fajerabend (Paul Feyerabend), Džordž Gejl (George Gale), Sandra Harding (Sandra Harding), Majls Džekson (Myles Jackson), Robert Nozik (Robert Nozick), Hilari Patnem (Hilary Putnam) i Majkl Redhed (Michael Redhead); istoričari Stiven Braš (Stephen Brush), Piter Grin (Peter Green) i Robert Henkinson (Robert Hankinson); stručnjaci iz oblasti pravnih nauka Filip Bobit (Philip Bobbitt), Luiz Vajnberg i Mark Judof (Yudof); istoričari fizike Džerald Holton (Gerald Holton), Ejbrahim Peiz (Abraham Pais) i S. Semjuel Šveber (S. Samuel Schweber); fizičar-teolog Džon Polkinghorn (John Polkinghorne); psihijatri Lion Ajzenberg (Leon Eisenberg) i Elizabet Vajnberg (Elisabeth Weinberg); biolozi Sidni Brener (Sydney Brenner), Frensis Krik (Francis Crick), Lorens Gilbert (Lawrence Gilbert), Stiven Dž. Gould (Stephen J. Gould) i Ernst Mejr (Mayr); fizičari Jakir Aharonov (Yakir Aharonov), Sidni Koulman (Sydney Coleman), Brus De Vit (Bruce De Witt), Manfred Fink (Manfred Fink), Majkl Fišer (Michael Fisher), Dejvid Gros (David Gross), Bengt Nejdžel (Bengt Nagel), Stiven Oršag (Stephen Orszag), Brajan Pipard (Brian Pippard), Džozef Polčinski (Joseph Polchinski), Roj Švitters (Roy Schwitters) i Lionard Saskind (Leonard Susskind); hemičar Roald Hofman (Roald Hoffmann); astrofizičari Vilijem Pres (William Press), Pol Šapiro (Paul Shapiro) i Etan Višnjek (Ethan Vishniac); kao i autori Džejms Glajk (James Gleick) i Lars Gustafson (Gustafsson). Mnoge ozbiljne greške izbegnute su uz njihovu pomoć.

Stiven Vajnberg
Ostin, Teksas
avgust 1992.

1. PROLOG

Ako sam ikada ikakvu lepotu želeo,
i dobio, i video - to je samo san o tebi bio.

Džon Don, Dobro sutra

Ovaj vek, koji se sada bliži kraju, video je u fizici zasenjujuće proširenje granica naučnog znanja. Ajnštajnovce (Einstein) dve teorije relativnosti, posebna i opšta, izmenile su, trajno, naše sagledavanje prostora, vremena i gravitacije. Učinjen je i jedan još korenitiji raskid sa prošlošću - naime, kvantna mehanika izmenila je i sam jezik pomoću koga opisujemo prirodu: naučili smo da ne govorimo o česticama koje imaju neka određena mesta i određene brzine, nego o talasnim funkcijama i verovatnoćama. Iz

sjedinjavanja relativnosti sa kvantnom mehanikom razvio se jedan novi pogled na svet, pogled u kome materija više nije najvažnija. Umesto materije, središnju ulogu u našem pogledu na svet zauzela su načela simetrije, od kojih su neka, pri sadašnjem stanju Vaseljene, skrivena od našeg pogleda. Na ovim temeljima izgradili smo uspešnu teoriju elektromagnetizma, kao i jakog i slabog međudejstva elementarnih čestica. Često smo se osećali kao Zigfrid kad je okusio zmajevu krv i onda primetio, iznenađen, da sad razume jezik ptica.

Ali tu smo se i zaglavili. Godine posle sredine sedamdesetih bile su godine najveće osujećenosti u istoriji fizike elementarnih čestica. Plaćamo sada cenu svog uspeha: teorija je napredovala toliko da će za dalji napredak biti potrebno proučavanje izvesnih procesa pri energijama koje se ne mogu postići u današnjim eksperimentalnim postrojenjima.

Da bi se probili iz ovog zastoja, fizičari su počeli 1982. godine razvijati planove za naučni projekt koji bi svojim dimenzijama, ali i cenom, nadmašio sve dosadašnje: superprovodni superkolajder. Superconducting Super Collider. Plan je, u svom konačnom obliku, zahtevao da se iskopa tunel, ovalnog oblika, dugačak osamdeset pet kilometara, na jednom terenu južno od Dalasa. U ovaj podzemni tunel bile bi ugrađene hiljade superprovodljivih magneta, sa zadatkom da vode dva zraka naelektrisanih čestica poznatih kao protoni, ali u suprotnim smerovima, milionima puta u krug, sve brže i brže, dok se ne postigne energija dvadeset puta veća od najveće moguće u danas postojećim akceleratorima čestica. Na nekoliko mesta na ovom prstenu bilo bi udešeno da se protoni ta dva suprotna zraka sudaraju, i to po nekoliko stotina miliona puta u sekundi; pri tom bi ogromni detektori, od kojih bi neki bili teški i po nekoliko desetina hiljada tona, beležili šta se dešava pri tim sudarima. Procenjeno je da bi izgradnja koštala preko osam milijardi dolara.

Superkolajder je naišao na veliko protivljenje ne samo štedljivih kongresmena nego i nekih naučnika koji bi radije videli te pare potrošene na njihovim poljima istraživanja. Gundanja protiv takozvane velike nauke ima mnogo, a neka od njih su naciljana prema superkolajderu. Za to vreme, evropski konzorcijum poznat kao CERN razmatra izgradnju jedne slične instalacije, koja bi se zvala 'Veliki kolajder hadrona', LCH. Large Hadron Collider. Taj LCH koštao bi manje nego superkolajder zato što bi iskoristio jedan već postojeći tunel ispod planina Jura u Švajcarskoj, blizu Ženeve, ali, iz istog razloga, njegova energija bila bi ograničena na manje od polovine one energije koju bi superkolajder imao. U mnogo pogleda, američka rasprava o superkolajderu i evropska o LCH-u su uporedne.

U času kad ova knjiga kreće u štampu, u godini 1992, situacija je sledeća: fondovi za superkolajder, koji su glasanjem Predstavničkog doma ukinuti u junu, ipak su produženi glasanjem Senata u avgustu. Budućnost superkolajdera bila bi obezbeđena kad bi on dobio neku krupniju podršku iz inostranstva, ali ona je zasad izostala. Kako stvari stoje, čak iako je superkolajder sa svojim fondovima 'ostao živ' u Kongresu ove godine, mogao bi biti ukinut u tom istom Kongresu sledeće godine, ili bilo koje godine sve dok ne bude izgrađen. Može se dogoditi da završne godine dvadesetog veka vide obustavu epohalnog traganja za temeljima fizike; a radovi bi se mogli nastaviti možda tek kroz mnogo godina.

Ovo nije knjiga o 'superkolajderu'. Ali rasprava o tom projektu prinudila me je da u govorima koje sam držao, i u mom svedočenju pred Kongresom, pokušam objasniti šta

to mi hoćemo da postignemo našim izučavanjima elementarnih čestica. Čovek bi očekivao da ja, pošto sam trideset godina radio kao fizičar, mogu lako da izvedem ovo, ali nije baš tako lako.

Meni lično, zadovoljstvo koje daje taj rad sam po sebi oduvek je bilo dovoljan razlog da se time bavim. Sedim za radnim stolom ili za stolom u nekom kafiću i baratam raznim matematičkim izrazima, osećajući se pri tom kao Faust koji se igra pentagramima i čeka pojavu Mefistofela. S vremena na vreme, matematičke apstrakcije, eksperimentalni podaci i fizičarska intuicija sastave se u neku određenu teoriju o česticama, silama i simetrijama. I, s vremena na duže vreme, ispostavi se da je neka od tih teorija tačna; jer opiti pokazuju da se priroda zaista ponaša onako kako bi, po toj teoriji, trebalo da se ponaša.

Ali ovo nije sve. Za fizičare koji se bave elementarnim česticama postoji još jedna motivacija, samo što je nju teže objasniti, čak i nama samima.

Naše sadašnje teorije imaju samo ograničenu vrednost, još su neodlučne i nepotpune. Ali ponekad ugledamo iza njih obrise jedne konačne teorije, koja bi važila neograničeno i koja bi nas sasvim zadovoljila svojom potpunošću i svojom konzistentnošću. Tragamo za univerzalnim istinama o prirodi, a kad ih nađemo, pokušavamo ih objasniti tako što ćemo pokazati kako one mogu biti izvedene iz nekih još dubljih istina. Zamislite prostor naučnih načela kao da je pun strelica: svaka je jedno načelo i svaka pokazuje na neku drugu stranu, udaljavajući se od onih osnovnijih. Te strelice-objašnjenja ispoljavaju važnu pravilnost: nisu grupisane u neke izdvojene i nepovezane grudve, pri čemu bi svaka grudva bila po jedna nezavisna nauka, i ne lutaju besciljno - nego su sve povezane, i ako duž njih gledaš unazad, odakle su došle, stičeš utisak da su sve poletele iz samo jednog, zajedničkog izvora. Ta zajednička polazna tačka, izvoriste svih ostalih objašnjenja, to je ono što ja nazivam konačna teorija.

Jasno je i neosporno da mi takvu konačnu teoriju sada nemamo, i da je malo verovatno da ćemo je uskoro otkriti. Ali s vremena na vreme uhvatimo poneki nagoveštaj da ona i nije tako daleko. Ponekad u raspravama fizičara, kad se pokaže da ideje koje su matematički lepe odista imaju i važenje u stvarnom svetu, steknemo utisak da postoji nešto iza školske table po kojoj pišemo kredom, neka dublja istina koja nagoveštava onu konačnu teoriju zbog koje tolike druge naše ideje uspevaju tako dobro.

Kad je reč o konačnoj teoriji, hiljadu pitanja i ograda naviru u um. Šta nam to znači da jednim naučnim načelom 'objašnjavamo' drugo? Kako znamo da postoji zajednička polazna tačka svih takvih objašnjenja? Hoćemo li je ikada otkriti? Koliko smo sada blizu? Kako će ta konačna teorija izgledati? Koji će delovi sadašnje fizike opstati i u konačnoj teoriji? Šta će ona kazivati o životu i svesti? I, kad je budemo imali, šta će se desiti sa naukom i sa ljudskim duhom? Ovo poglavlje samo dotiče ta pitanja, a potpuniji odgovor prepušta ostatku ove knjige.

San o konačnoj teoriji nije počeo u dvadesetom veku. On se, na Zapadu, može pratiti unazad sve do jedne škole koja je cvetala vek pre rođenja Sokrata, u grčkom gradu Miletu, tamo gde se reka Meander uliva u Egejsko more. Ne znamo mi mnogo o učenjima presokratovaca, ali kasniji izveštaji i nekoliko sačuvanih odlomaka nagoveštavaju da su Mileaćani već tragali za objašnjenjem svih prirodnih pojava pomoću nekog osnovnog gradivnog sastojka materije. Za Talesa, prvog od tih miletskih mislilaca, temeljna tvar bila je voda; za Anaksimena, poslednjeg iz te škole, vazduh.

Danas i Tales i Anaksimenes izgledaju arhaično. Sada se sa mnogo više divljenja gleda na jednu školu koja je iznikla jedan vek kasnije u Abderi na obali Trakije. Tamo su Demokrit i Leukip poučavali da je sva materija sačinjena od majušnih, večnih čestica koje oni nazvaše atomi. (Atomizam ima korene u indijskoj metafizici, iz doba čak i pre Demokrita i Leukipa.) Ti rani atomisti mogu izgledati kao predivan slučaj 'rano sazrelih', ali meni se ne čini mnogo značajno da li su Milećani grešili, a Abderani na neki način bili u pravu. Niko od presokratovaca, ni u Miletu ni u Abderi, nije imao ništa ni nalik našoj modernoj zamisli o onome što jedno tumačenje mora postići da bi bilo uspešno naučno objašnjenje: o kvantitativnom razumevanju pojava. Koliko smo, zapravo, napredovali ka razumevanju toga zašto priroda jeste onakva kakva jeste ako nam Tales ili Demokrit kažu da je kamen načinjen od vode ili od atoma, a mi ni posle toga ne znamo kako da izračunamo gustinu, tvrdoću ili električnu provodljivost tog kamena? A bez te sposobnosti količinskog predviđanja, mi, naravno, ne možemo ni ustanoviti da li su Tales ili Demokrit u pravu ili nisu u pravu.

U onim prilikama kada sam u Teksasu i na Harvardu držao predavanja iz fizike studentima društvenih nauka, smatrao sam da je moj najvažniji zadatak, ali svakako i najteži, upravo da im dočaram kakva je to ogromna moć - biti sposoban da detaljno izračunaš šta će se dešavati pod raznim okolnostima u raznim fizičkim sistemima. Mi smo te studente učili kako da izračunaju otklon zraka u katodnoj cevi ili pad kapljice ulja, ne zato što bi to bili proračuni potrebni svakom čoveku, nego zato što su, radeći ih, studenti mogli sami da iskuse šta načela fizike stvarno znače. Naše poznavanje načela koja upravljaju tim i drugim kretanjima leži u samom jezgru fizike i dragoceni je deo naše civilizacije.

Sa te tačke gledanja, 'fizika' Aristotela nije bila ništa bolja od ranijih, manje usavršenih nagađanja jednoga Talesa ili Demokrita. U svojim knjigama Fizika i O nebu, Aristotel tvrdi da je kretanje projektila (bačenog predmeta) delimično prirodno, a delimično neprirodno; prirodno je, kao kod svih teških tela, ono sa usmerenjem nadole, ka središtu svih stvari, a neprirodno je ono izazvano vazduhom, jer, navodno, kretanje vazduha jeste pravi uzrok bacanja projektila. Ali tačno kojom brzinom će projektil ići svojom putanjom i koliko će daleko stići pre nego što tresne o zemlju? Aristotel ne kaže da su to preteška izračunavanja ili merenja, niti kaže da zakoni kretanja još nisu dovoljno poznati da bi se detaljno opisalo kretanje projektila. Zapravo, Aristotel i ne nudi nikakav odgovor, ni tačan ni pogrešan, jer ne uviđa da su to pitanja na koja vredi odgovarati.

A zbog čega vredi na njih odgovarati? Možda čitalac, kao ni Aristotel, ne mari mnogo za brzinu padanja nekog hitnog tela. I ja mogu reći - baš me briga za to. Ali je važno da znamo načela, dakle Njutnove (Newton) zakone kretanja i gravitacije, kao i jednačine aerodinamike - da bismo mogli tačno odrediti gde se projektil nalazi u svakom trenutku svog leta. Ne kažem ja da mi možemo baš tačno izračunati kako se projektil kreće. Protok vazduha pored nekog kamena nepravilnog oblika ili pored pera u repu strele veoma je složen, pogotovu ako je vazduh uskomešan; zato će naša izračunavanja, najverovatnije, biti samo približno tačna. Biće samo dobre približnosti. Postoji i problem tačnog određivanja početnih uslova. Ipak, mi možemo upotrebiti nama poznata načela fizike da rešimo jednostavnije probleme, kao što je kretanje planeta kroz bezvazdušni prostor ili postojano proticanje vazduha oko lopti ili ploča, dovoljno dobro da se uverimo da zaista znamo koja načela upravljaju letom projektila. U istom smislu, mi ne možemo

izračunati kako će se prirodna evolucija živih bića ubuduće odvijati, ali sada već prilično dobro poznajemo načela koja tom evolucijom upravljaju.

Ova jasna razlika je važna, ali često biva zamućena u raspravama o značenju ili postojanju krajnjih zakona prirode. Kad kažemo da jedna istina objašnjava drugu - na primer da načela fizike (zakoni kvantne mehanike), upravljajući elektronima i električnim poljima, objašnjavaju i zakone hemije - mi time ne kažemo, baš, da možemo izvesti konkretnu dedukciju jedne istine iz druge. To se ponekad i može postići, recimo, u hemiji, u slučaju veoma jednostavnog molekula vodonika. Ali ponekad je problem naprosto previše složen za nas. Kad govorimo ovako o fizičkim objašnjenjima, imamo na umu ne ono što će neki naučnik, bukvalno, objasniti postupkom dedukcije, nego ono što je neizbežno već ugrađeno u prirodu, samo po sebi. Na primer, čak i pre nego što su fizičari i astronomi naučili u devetnaestom veku kako da izračunaju međusobna privlačenja planeta i tako dobiju tačne proračune planetnih kretanja, oni su već znali, sa popriličnim stepenom sigurnosti, da se planete kreću tako kako se kreću zato što podležu Njutnovim zakonima kretanja i gravitacije, ili nekim još tačnijim zakonima kojima se Njutn samo približio. Danas, iako ne možemo predskazati sve što hemičar može zapaziti, mi verujemo da se atomi u hemijskim reakcijama ponašaju tako kako se ponašaju zato što im fizička načela koja vladaju elektronima i električnim silama unutar atoma ne ostavljaju slobodu da se ponašaju nikako drugačije.

Ova poenta je osetljiva za objašnjavanje između ostalog i zato što je nezgodno reći da jedna činjenica objašnjava drugu i onda kad nisu prisutni ljudi, stvarni konkretni ljudi, da dedukciju zaista i izvedu. Ali mislim da moramo govoriti tako zato što je to suština naše nauke: otkrivanje onih objašnjenja koja su ugrađena u logičku strukturu prirode. Naravno da postajemo mnogo čvršće uvereni da znamo tačno objašnjenje kad smo u stanju da se latimo posla i izvršimo neka izračunavanja i uporedimo nalaze sa opažanjima: ako ne za hemiju belančevina, onda bar za hemiju vodonika.

Iako Grci nisu imali naš cilj, da steknu sveobuhvatno kvantitativno razumevanje prirode, tačno kvantitativno rezonovanje svakako nije bilo nepoznato u antičkom svetu. Već hiljadama godina ljudi poznaju pravila aritmetike i pravila geometrije u ravni, kao i velika periodična kretanja Sunca, Meseca i zvezda, pa čak i takve finese kao što su tačni datumi ravnodnevnica. Osim ovoga, postojao je i procvat matematike posle Aristotela, tokom helenističke ere koja obuhvata vreme od osvajačkih pohoda Aristotelovog đaka Aleksandra Velikog, pa sve do pada grčkog sveta pod rimsku vlast. Kad sam studirao filozofiju, nanosilo mi je određenu bol da čujem da se za helenske filozofe kao što su Tales i Demokrit kaže da su bili fizičari; ali, kad smo prešli na velike helenske naučnike kao što su Arhimed iz Sirakuze, koji je otkrio zakone uzgona tela uronjenog u tečnost, ili Eratosten Aleksandrijski, koji je izmerio obim Zemlje, imao sam osećaj da sam kod svoje kuće, okružen kolegama, naučnicima. Ništa ni nalik na helensku nauku nije viđeno nigde na svetu sve do uspona moderne nauke u Evropi u sedamnaestom veku.

Pa ipak, koliko god da su izvanredni bili, helenski filozofi prirode nisu se nikad ni približili ideji o postojanju jedne grupe zakona koja bi tačno regulisala celu prirodu. Uistinu, reč 'zakon' retko je korišćena u antičkim vremenima (a ni jedan jedini put kod Aristotela, niti u Bibliji) osim u onom prvobitnom značenju - da ljudski ili božanski zakoni određuju ljudima kako da se ponašaju. (Istina je da reč 'astronomija' dolazi od grčkih reči 'astron' što znači zvezda i 'nomos' što znači zakon, ali ovaj termin je u antičkoj nauci o nebesima korišćen ređe nego termin 'astrologija'.) Tak kad su se pojavili Galilej

(Galilei), Kepler (Kepler) i Dekart (Descartes) u sedamnaestom veku, nalazimo moderno shvatanje zakona prirode.

Proučavalac klasike Piter Grin smatra da krivicu za ograničenost grčke nauke treba tražiti u upornom intelektualnom snobovskom stavu Grka, koji su više voleli statične pojave nego dinamične, i rado se posvećivali mislilaštvu, a nerado tehnologiji, sa izuzetkom vojne tehnologije. Prva trojica kraljeva helenističke Aleksandrije podržavala su istraživanja o letenju projektila zato što je to imalo vojnu primenljivost; ali Grcima bi izgledalo nedolično da primene precizno rezonovanje na jedan tako banalan proces kao što je kotrljanje lopte niz nagnutu ravan, problem koji je Galileju osvetlio zakone kretanja. Ima i moderna nauka svoju snobovštinu - biolozi više pažnje posvećuju genima nego upalama na nožnim prstima, a fizičari rado proučavaju sudare proton-proton pri energiji od 20 biliona volti, a 'dignu nos' ako to isto treba raditi na 20 volti. Ali to su taktičke snobovštine, zasnovane na oceni (tačnoj ili pogrešnoj) da će neke pojave voditi ka većim otkrićima nego neke druge; ne proističu iz ubeđenja da su neke pojave važnije nego druge.

Sa Isakom Njutnom moderni san o konačnoj teoriji stvarno počinje. Kvantitativno naučno razmišljanje nikada nije stvarno iščezlo, a u Njutnovo doba već je bilo ponovo živnulo; Galilej mu je udahnuo najviše novog života. Ali je Njutn uspeo svojim zakonima kretanja i opštim zakonom gravitacije objasniti toliko toga, od orbita planeta i njihovih satelita pa sve do dizanja i spuštanja plime i padanja jabuke, da je on svakako morao prvi put osetiti mogućnost zaista sveobuhvatne, sveobjašnjavajuće teorije. Svoje nade Njutn je izrazio u predgovoru prvome izdanju svoje velike knjige, Principia: "Želeo bih da možemo izvesti i ostale prirodne pojave, Naime, one koje nisu razmatrane u delu Principia. istom vrstom rezonovanja koje važi i za mehanička načela. Jer mene navode mnogi razlozi da naslutim da sve te pojave zavise od izvesnih sila." Dvadeset godina kasnije, Njutn je opisao u svojoj knjizi Optika kako bi se, po njegovom mišljenju, taj program mogao izvesti:

Dakle, najmanje čestice prirode drže se jedna uz drugu najjačim privlačenjima i sačinjavaju krupnije čestice, čija je vrlina privlačenja slabija; a mnoge od tih se udružuju između sebe i sačinjavaju još krupnije čestice, čija je ta vrlina još slabija; i tako dalje, u raznovrsnim nizanjima, sve dok se ova progresija ne završi najvećim česticama, od kojih zavise hemijske radnje kao i boje raznih tela, i čije sjedinjavanje daje tela toliko velika da se mogu čulima osetiti. Postoje, dakle, agensi u prirodi sposobni da nateraju čestice izvesnih tela da se drže čvrsto jedna uz drugu, privlačnim silama vrlo jakim. Posao je eksperimentalne filozofije da ih nađe.

Njutn je poslužio kao veliki uzor, za kojim je naročito u Engleskoj pošao jedan osobeni stil naučnih objašnjenja; smatralo se da je materija sačinjena od majušnih, nepromenljivih čestica; da čestice deluju jedna na drugu pomoću 'izvesnih sila', među kojima je gravitacija samo jedna vrsta; i da ako znamo položaje i brzine ovih čestica u svakom trenutku, kao i to kako da izračunavamo sile između njih, onda, pomoću zakona kretanja, možemo predvideti gde će one biti i u ma kom kasnijem trenutku. Brucošima se i do dana današnjeg, ponegde, ovako predaje fizika. Nažalost, iako je njutnvska fizika postigla posle Njutna još mnoge uspehe, bio je to ćorsokak.

Svet je, ipak, jedno složeno mesto. Dok su naučnici saznavali sve više i više o hemiji, svetlosti, elektricitetu i toploti u osamnaestom i u devetnaestom veku, mogućnost njutnovskog objašnjenja morala im se činiti sve udaljenija. Naročito u hemiji: da bi objasnili hemijske reakcije i afinitete uz oslonac na njutnovsko sagledavanje atoma kao čestica koje se kreću pod uticajem svojih uzajamnih privlačenja i odbijanja, morali su načiniti toliko proizvoljnih pretpostavki o atomima i o silama, da se, zapravo, ništa ne bi postiglo.

Pa ipak, negde oko 1890. godine čudnovato osećanje dovršenosti proširilo se na mnoge naučnike. U folkloru nauke postoji jedna apokrifna priča o nekom fizičaru koji je, pred sam kraj devetnaestog veka, proglasio da je fizika manje-više cela otkrivena i da se više nema šta raditi, osim što treba izvesna merenja poboljšati za još nekoliko decimalnih mesta. Izgleda da je ova priča potekla iz primedbe koju je 1894. izgovorio američki eksperimentalni fizičar Albert Majklson (Albert Michelson): "Iako nikada nije bezbedno tvrditi da fizička nauka ne krije u svojoj budućnosti čuda još čudesnija od onih dosad otkrivenih, izgleda verovatno da je većina velikih osnovnih načela već čvrsto uspostavljena i da se dalji napredak ima tražiti uglavnom u strogoj primeni tih načela na sve pojave koje opazimo... Jedan istaknuti fizičar je napomenuo da buduće istine fizičke nauke treba tražiti u šestoj decimali." Dok je ovo Majklson govorio u Čikagu, u publici je bio Robert Endrus Milikan (Robert Andrews Millikan), takođe američki eksperimentalista; on je nagađao da se te reči 'istaknuti fizičar' odnose na jednog uticajnog Škotlanđanina, Vilijema Tomsona (William Thomson), to jest lorda Kelvina. Pričao mi je jedan prijatelj da se po Kembridžu često govorilo, u doba kad je on bio student, a to je bilo pred kraj četrdesetih godina, da je lord Kelvin rekao kako u fizici nema više ništa novo da se otkrije, nego samo treba ostvarivati merenja sve tačnija i tačnija.

Ja tu rečenicu nisam uspeo naći u sabranim govorima lorda Kelvina, ali postoji obilje drugih dokaza o veoma raširenom (ali ne bez izuzetaka) osećanju naučnog samozadovoljstva pred kraj devetnaestog veka. Kad je mladi Maks Plank (Max Planck) stupio na svoje radno mesto na Univerzitetu u Minhenu godine 1875, tadašnji profesor fizike Džoli (Jolly) nagovarao ga je da ne izučava tu nauku. Po Džolijevom mišljenju, nije se imalo više šta otkriti. Miliken je dobijao slične savete: "Godine 1894", priseća se on, "živeo sam u jednom stanu na petom spratu u 64. ulici, jedan blok zapadno od Brodveja, sa još četvoricom postdiplomaca Univerziteta Kolumbija, od kojih je jedan bio medicinar, a ostala trojica na političkim i sociološkim naukama; oni su me neprestano grdili što sam se zalepio za jednu 'dovršenu', da, za jednu 'mrtvu' stvar, kao što je fizika, dok se novo, 'živo' polje, a to su društvene nauke, tek otvara."

Primeri takvog devetnaestovekovnog samozadovoljstva često se navode kao upozorenje nama koji se u dvadesetom veku usuđujemo da govorimo o konačnoj teoriji. Na taj način se poprilično promašuje suština pomenutih samozadovoljnih stavova. Majklson, Džoli i Milikenovi prijatelji sa kojima je delio sobu nisu ni slučajno mogli pomisliti da su fizičari uspešno objasnili prirodu hemijskih privlačenja - a još manje su mogli pomisliti da su hemičari uspešno rastumačili mehanizam nasleđivanja. Ljudi koji su izgovarali takve primedbe mogli su to činiti samo zato što su odustali od starog sna Njutna i Njutnovih sledbenika da će fizičkim silama biti objašnjene i hemija, i sve druge nauke; za te ljude, hemija i fizika postale su izjednačene nauke, nauke koje su, svaka za sebe, stigle podjednako blizu, zapravo, nadomak, potpunosti. Iako je bilo veoma rašireno

u devetnaestovekovnoj nauci, to osećanje potpunosti proisticalo je, ipak, samo iz smanjenih ambicija.

Ali predstojale su vrlo brze promene. Za fizičara, dvadeseti vek počinje godine 1895, kada je Vilhelm Rentgen (Wilhelm Röntgen) neočekivano otkrio rendgenske zrake. Nisu bili rendgenski zraci sami po sebi toliko značajni, koliko je njihova pojava podstakla fizičare da veruju da predstoje još mnoga otkrića, naročito zahvaljujući proučavanju raznovrsnih zračenja. A otkrića su odista usledila, jedno za drugim, u brzom nizu. U Parizu 1896, Anri Bekerel (Henri Becquerel) otkriva radioaktivnost. U Kembridžu 1897. godine, Dž. Dž. Tompson meri koliko magnetna i električna polja skreću katodni zrak, i za dobijene nalaze nudi kao tumačenje tvrdnju da postoji jedna temeljna čestica, elektron, prisutna u svojoj materiji, a ne samo u katodnom zraku. U Bernu 1905. godine, Albert Ajnštajn (iako još nije stekao nikakvo akademsko zaposlenje) izlaže novi pogled na prostor i vreme, svojom teorijom relativnosti, ujedno predlaže novi način da se dokaže postojanje atoma, i još tumači raniji rad Maksa Planka o toplotnom zračenju pomoću jedne nove elementarne čestice, čestice svetlosti, koja će kasnije dobiti naziv foton. Malo kasnije, godine 1911, Ernest Raderford (Ernest Rutherford) u svojoj laboratoriji u Mančesteru koristi nalaze opita sa radioaktivnim elementima i izvodi zaključak da se atomi sastoje od malih, masivnih jezgara okruženih oblacima elektrona. A godine 1913. jedan Danac, Nils Bor (Niels Bohr), koristi taj model atoma i Ajnštajnovu zamisao o fotonu da objasni spektar najjednostavnijeg atoma, vodonikovog. Umesto samozadovoljnog dremeža, najednom - uzbuđenje; fizičari su počeli osećati da bi uskoro mogla biti pronađena jedna konačna teorija, koja bi objedinila bar celu fiziku, ako ne i više. Već 1902, nekada samozadovoljni Majklson mogao je objaviti: "Čini se da nije daleko dan kada će se konvergentne linije iz mnogih prividno dalekih oblasti razmišljanja sresti na... zajedničkom tlu. Onda će i priroda atoma, i snage koje dejstvuju pri hemijskom spajanju atoma; međudejstva između tih atoma, i nediferenciranog etra, koje se ispoljava kroz pojave svetlosti i elektriciteta; i strukture molekula, i molekularnih sistema kojima su atomi sastavni delovi; i objašnjenja za koheziju, elastičnost i gravitaciju - sve to će biti dovedeno u red, u jedno, kompaktno telo naučnog znanja." Taj isti Majklson koji je ranije mislio da je fizika već upotpunjena, zato što nije očekivao da će fizika objašnjavati hemiju, sad je počeo očekivati sasvim drugu vrstu potpunosti u bliskoj budućnosti - naime, takvu koja bi obuhvatila i hemiju i fiziku.

To je bilo, ipak, malo preuranjeno. San o konačnoj objedinjenoj teoriji stvarno se počeo uobličavati tek dvadesetih godina ovog veka, sa otkrićem kvantne mehanike. Bio je to jedan novi, nesviknuti okvir za fiziku, sačinjen od talasnih funkcija i verovatnoća umesto od čestica i sila iz njutnovske mehanike. Sa kvantnom mehanikom, najednom je bilo moguće izračunati osobine ne samo pojedinačnih atoma, i njihovih međudejstava sa zračenjima, nego i osobine atoma sastavljenih u molekule. Konačno je postalo jasno da hemijske pojave jesu ono što jesu upravo zbog električnih međudejstava elektrona i atomskih jezgara.

Ovo ne znači da su na američkim fakultetima hemiju počeli predavati profesori fizike, niti da se Američko hemijsko društvo (ACS) prijavilo da bude kolektivno učlanjeno u Američko fizičko društvo (APS). Muka je dovoljna snaći se u jednačinama kvantne mehanike pa izračunati jačinu veze spajanja dva atoma vodonika u najjednostavnijem molekulu vodonika; tek uz posebno hemičarsko iskustvo i uvid moguće je ovladati složenijim molekulima, naročito onim vrlo složenim kakvi se javljaju

u biologiji, i ustanoviti kako oni reaguju u raznim okolnostima. Ali je uspeh kvantne mehanike u izračunavanju osobina vrlo jednostavnih molekula pokazao da hemija deluje tako kako deluje zbog zakona fizike. Pol Dirak (Paul Dirac), jedan od osnivača nove, kvantne mehanike, trijumfalno je proglasio godine 1929. da "osnovni fizički zakoni potrebni za matematičku teoriju fizike jesu, dakle, u celosti poznati, a teškoća je samo u tome što primena ovih zakona vodi ka jednačinama previše složenim da bi se mogle rešiti".

Ubrzo potom, pojavio se i jedan čudnovat nov problem. Prvi kvantnomehantički proračuni atomskih energija dali su nalaze koji su se dobro uklapali sa opitima. Međutim, kad se kvantna mehanika primenila ne samo na elektrone u atomu nego i na električna i magnetna polja koja ti elektroni proizvode, došlo se do zaključka da atom raspolaže beskonačnom energijom! Druge beskonačnosti pojavljivale su se u drugim izračunavanjima, i sledećih četrdeset godina ovi apsurdni nalazi bili su, činilo se, najveća prepreka napretku fizike. A na kraju se pokazalo da taj problem sa beskonačnostima nije katastrofa, nego, naprotiv, jedan od najboljih razloga za optimizam u vezi sa napredovanjem ka konačnoj teoriji. Kad se radi kako valja i treba definicijama masa i električnih naboja, pa i drugim konstantama, sve te beskonačnosti se međusobno ponište, ali samo u nekim teorijama - onima sasvim posebne vrste. Tako će se možda dogoditi, jednog dana, da mi budemo matematički dovedeni do jednog dela, ili do cele, konačne teorije, jer će nam to biti jedini način da izbegnemo te beskonačnosti. Zapravo, jedna ezoterična nova teorija, teorija struna, možda već i sad daje jedinstven način da se izbegnu beskrajsnosti, ako pomirimo relativnost (uključujući i opštu teoriju relativnosti, Ajnštajnovu teoriju gravitacije) sa kvantnom mehanikom. Ako tako bude, onda će taj način biti važan sastavni deo ma koje konačne teorije.

Ne želim sugerisati da će se do konačne teorije doći dedukcijom iz čiste matematike. Jer, najzad, zbog čega bismo mi verovali da su bilo relativnost bilo kvantna mehanika logički neizbežne? Meni se čini da nam je sad najbolje da kažemo: konačna teorija je tako kruta, da se ne može izobličiti ni u kakvu drugu, makar i malčice drugačiju teoriju, a da se pri tome ne pojave logičke besmislice kao što su beskonačne energije.

Postoje i dodatni razlozi za optimizam, koji proističu iz neobične činjenice da do napretka u fizici često dolazimo rukovodeći se izvesnim ocenama za koje jedino možemo reći da su estetske. Ovo je veoma čudnovato. Zašto bi fizičarevo osećanje da je jedna teorija lepša od druge vodilo ka uspehu u istraživanjima? Ima nekoliko mogućih objašnjenja, a jedno od njih pripada baš fizici atomskih čestica: lepota u našim sadašnjim teorijama možda je 'tek san' o lepoti koja nas čeka u konačnoj teoriji.

U našem veku, Albert Ajnštajn je bio taj koji je najotvorenije stremio ka konačnoj teoriji kao svom cilju. Kao što kaže njegov biograf Ejbrahim Peiz, "Ajnštajn je lik baš kao iz Starog zaveta, kao Jehova, čvrsto uveren da postoji zakon, i da se taj zakon mora pronaći". Poslednjih trideset godina svog života Ajnštajn je posvetio traganju za takozvanom objedinjenom teorijom polja, koja bi objedinila teoriju elektromagnetizma koju je dao Džejsms Klerk Maksvel (James Clerk Maxwell) sa opštom teorijom relativnosti, odnosno Ajnštajnovom teorijom gravitacije. Ajnštajnov napor nije uspeo, a mi, raspolažući sadašnjim znanjem, vidimo i da je bio pogrešno usmeren. Ajnštajn ne samo da je odbacio kvantnu mehaniku, on je i usmerio svoj trud na suviše usku oblast. Elektromagnetizam i gravitacija su jedine temeljne sile koje se u svakodnevnom životu primećuju (i jedine koje su bile poznate kad je Ajnštajn bio mlad čovek), ali u prirodi

postoje i neke druge vrste sila, uključujući slabu i jaku nuklearnu. Uistinu, napredak koji jeste postignut u objedinjavanju postignut je spajanjem Maksvelove teorije elektromagnetizma sa slabom nuklearnom silom, a ne sa teorijom gravitacije, gde je problem raznih beskonačnosti, kako se pokazalo, mnogo teže rešiv. Ipak, Ajnštajnova tadašnja borba jeste i naša borba danas. Naime - traganje za konačnom teorijom.

Razgovori o konačnoj teoriji kao da rasrđuju neke filozofe i naučnike. Začas vas optuže da ste redukcionist, ili, još gore, da ste imperijalista fizike. Ovo je jednim delom svođenje na razne smešne i glupe pomisli koje bi se u nečijoj glavi mogle javiti kad čuje reči 'konačna teorija' - na primer, da bi otkriće konačne teorije u fizici značilo kraj nauke. Naravno da konačna teorija ne bi bila kraj naučnog istraživanja, niti istraživanja u oblasti čiste nauke, pa čak ni u čistoj fizici. Za mnoge predivne pojave, od turbulencije do misli, biće nam potrebno objašnjenje i kad otkrijemo neku, bilo kakvu, konačnu teoriju. Štaviše, u rasvetljavanju mnogih od tih pojava neće nam mnogo pomoći konačna fizička teorija (mada, kod nekih, hoće). Konačna teorija biće konačna u samo jednom smislu - ona će dovesti do kraja jednu vrstu nauke, onu drevnu vrstu koja traga za načelima koja ne mogu biti objašnjena pomoću drugih, još dubljih načela.

2. O PARČETU KREDE

Dvorska luda: ...Razlog što sedam zvezda nije više od sedam, e, to je jedan lep, lep razlog.

Kralj Lir: Zato što ih nije osam?

Dvorska luda: Da, uistinu. Ti bi bio dobra budala.

Vilijem Šekspir, Kralj Lir

Mnoga čuda i mnoge divote otkrili su naučnici. Ali možda najlepša i najčudnija stvar koju su otkrili jeste obrazac nauke same. Naša naučna otkrića nisu nezavisne, izdvojene činjenice; jedno naučno uopštavanje nalazi objašnjenje u nekom drugom naučnom uopštavanju, a ovo opet u sledećem. Ako pratimo ove strele objašnjenja unazad ka njihovom izvoru, otkrivamo jedan izuzetan konvergirajući obrazac - koji je, možda, najdublja stvar koju smo dosad saznali o Vaseljenu.

Razmotrite jedno parče krede. Kreda je tvar dobro poznata većini ljudi (a naročito fizičarima koji razgovaraju jedan s drugim pred školskim tablama), ali ja kredu ovde koristim kao primer zato što se o njoj vodila jedna rasprava slavna u istoriji nauke. Godine 1868, Britansko udruženje za unapređenje nauke održavalo je svoj godišnji sastanak u Noriču, na istoku Engleske, velikom gradu koji je bio sedište biskupije i administrativni centar oblasti. Bili su to uzbudljivi dani za naučnike i za učenjake okupljene u Noriču. Pažnja javnosti bila je skrenuta na nauku ne samo zato što više niko nije mogao ne primećivati da je nauka značajna za tehniku nego, još i više, zbog toga što je nauka menjala način na koji su ljudi razmišljali o svetu i o svome mestu u svetu. Nadasve, zato što je objavljivanje Darwinovog (Charles Darwin) dela O nastanku vrsta putem prirodnog odabiranja, devet godina pre toga, postavilo nauku jasno u opoziciju prema preovlađujućoj religiji tog vremena. Prisutan na sastanku u Noriču bio je i Tomas Henri Haksli (Thomas Henry Huxley), istaknuti anatom i žestok polemičar, poznat svojim savremenici kao 'Darvinov buldog'. Kao što je bila njegova uobičajena praksa,

Haksli je iskoristio priliku da se obrati radništvu tog grada. Naslov njegovog predavanja bio je: 'O parčetu krede'.

Volim da zamišljam Hakslija kako stoji na podijumu i drži u podignutoj ruci, zbilja, komad krede, možda iskopan iz krednih geoloških formacija koje leže ispod Noriča, ili pozajmljen od nekog prijateljski nastrojenog drvodelje ili profesora. Haksli je počeo opisujući kako se ti kredni slojevi, više od stotinu metara debeli, prostiru ne samo ispod velikog dela Engleske, nego i ispod Evrope i Levanta, odnosno Bliskog i Srednjeg istoka, pa sve do središnje Azije. Kreda je pretežnim delom jedna jednostavna hemikalija, karbonat krečnjaka ili, moderno rečeno, kalcijum-karbonat, ali ispitivanje mikroskopom pokazuje da se ona sastoji od neprođenih fosilnih ljušturica, preostalih od majušnih životinja koje su živele u drevnim morima što su nekada pokrivala Evropu. Haksli je živopisno dočarao kako su, tokom miliona godina, ti mali leševi tonuli na dno mora, a tamo bili sabijeni pod pritiskom u kredu, i kako se uhvaćeni u kredi nađu ponegde i fosili krupnijih životinja kao što su krokodili, životinja koje izgledaju sve različitije od svojih današnjih istovrsnika ukoliko kopamo dublje i dublje kroz slojeve krede, što znači da su te životinje evoluirale tokom miliona godina dok se kreda slegala na dno.

Haksli je pokušavao da ubedi radne ljude Noriča da je svet mnogo stariji od šest hiljada godina, koliko su dozvoljavali biblijski učenjaci, i da su se od samog početka pojavljivale nove žive vrste, koje su onda evoluirale. O svim tim pitanjima danas više nema šta da se raspravlja - ili bar ne raspravlja niko ko ima iole ikakvog pojma o nauci. Ne možemo poricati veliku starost Zemlje, niti stvarnost evolucije. Poenta koju ja hoću ovde da izvedem nema veze ni sa jednim pojedinačnim znanjem, nego sa činjenicom da su sva ta znanja međusobno povezana. Zato ja, evo, počinjem na isti način kao Haksli, od parčeta krede.

Kreda je bela. Zašto? Jedan odgovor, onaj koji prvi pada na um, glasio bi: zato što nije nijedne druge boje. Odgovor je to koji bi se svideo dvorskoj ludi kralja Lira, ali, zapravo, i nije mnogo udaljen od istine. U Hakslijevo doba već je bilo znano da je svaka boja u spektru povezana sa svetlošću neke određene talasne dužine - pri čemu su duži talasi oni na crvenoj strani spektra, a kraći oni na plavoj ili ljubičastoj. Bilo je shvaćeno da je bela boja preplet svetlosnih talasa svakojakih dužina. Kad svetlost pada na neprozirnu tvar kao što je kreda, samo jedan deo se odbija; ostatak biva apsorbiran. Tvar koja ima neku određenu boju, kao što je zelenkastoplava boja mnogih bakarnih jedinjenja (na primer, u bakar-aluminijum-fosfatu koji izgleda tirkizno) ili ljubičasta boja u jedinjenjima kalijuma, ima tu boju zato što veoma apsorbira svetlost nekih talasnih dužina; ona boja koju vidimo jeste ona koju ta tvar odbija, u mešavini sa drugim, ne mnogo apsorbiranim talasnim dužinama. Kod kalcijum-karbonata od koga je kreda sačinjena, slučaj je takav da se svetlost veoma apsorbira samo u infracrvenim i ultraljubičastim talasnim dužinama, koje su nam ionako nevidljive. Zato je u svetlosti koja se od krede odbija prisutna otprilike ista ona kombinacija vidljivih talasnih dužina koja je na tu kredu i pala. Otud mi imamo utisak beline kad gledamo oblake, sneg ili kredu.

A zašto? Zašto neke tvari veoma upijaju vidljivu svetlost određenih talasnih dužina, a neke ne? Pokazalo se da je to zbog energija određenih atoma i energije svetlosti. Ovo se počelo shvatati tek posle radova Alberta Ajnštajna i Nilsa Bora u prve dve decenije ovog veka. Kao što je Ajnštajn prvi shvatio godine 1905, zrak svetlosti sastoji se od ogromnog broja čestica koje lete u jednom mlazu. Te čestice kasnije su

dobile naziv fotoni. Fotoni nemaju nikakvu masu niti električni naboj, ali svaki foton ima izvesnu, tačno određenu, energiju, koja je obrnuto srazmerna talasnoj dužini te svetlosti. Bor je 1913. izložio pretpostavku da atomi i molekuli mogu postojati samo u tačno određenim stanjima, stabilnim konfiguracijama koje imaju svaka svoju određenu energiju. Iako se često kaže da su atomi nalik na male sunčeve sisteme, postoji između atoma i sunčevih sistema i jedna ključna razlika. U nekom sunčevom sistemu moguće je pogurati neku planetu na orbitu malo udaljeniju od sunca, dodajući planeti malo energije, ili malo više, ali kod atoma ta stanja su diskretna - atom može primiti samo izvesne tačno određene količine energije, ne može malo više ili malo manje. Normalno stanje za svaki atom ili molekul jeste stanje njegove najmanje (najniže) enegije. A kad atom ili molekul apsorbuje svetlost, on preskače iz stanja niže u neko od svojih stanja više energije (i obratno, kad emituje svetlost). Uzete zajedno, ove ideje Ajnštajna i Bora kažu nam da jedan atom ili jedan molekul mogu apsorbovati svetlost samo ako talasna dužina svetlosti ima jednu od nekoliko tačno određenih vrednosti. To su baš one talasne dužine koje odgovaraju fotonskim energijama jednakim razlici energije koju taj atom ili molekul ima u svom normalnom stanju i u svom stanju povišene energije. Kad bi to ikako drugačije bilo, onda ne bi prilikom apsorbovanja fotona od strane atoma ili molekula bilo očuvanja energije. Tipična bakarna jedinjenja imaju zelenkastoplavu boju zato što postoji jedno određeno stanje atoma bakra kad on ima energiju za 2 volta višu nego što bi normalno imao; izuzetno je lako atomu bakra da preskoči na taj viši nivo tako što će apsorbovati jedan foton čija je energija baš 2 volta. Volt, kad se koristi kao jedinica energije, definiše se ovako: volt je energija koju ima jedan elektron kad ga guramo kroz neku žicu baterijom od 1 volt. (Kad se tako koristi, ova jedinica bi trebalo, ispravnije, da se zove 'elektron-volt', ali ja ću govoriti samo 'volt' zato što je to uobičajeno u fizici.) Mikron je milioniti deo metra. Takav foton ima talasnu dužinu od 0,62 mikrona, koja odgovara crvenkastonaranžastoj boji, pa kad se dogodi apsorpcija takvih fotona, onda oni preostali, odbijeni, daju našem oku utisak zelenkastoplave boje. (Ovo nije samo trapav način da se još jednom kaže ista stvar - naime, da su ta jedinjenja zelenkastoplava; vidimo isti obrazac atomskih energija i kad atomu bakra dodajemo energiju i na neki drugi način: na primer, zaspemo ga mlazom elektrona.) Kreda je bela zato što molekuli od kojih je sastavljena nemaju (eto, slučaj je takav, naprosto nemaju) nijedno stanje u koje bi lako preskakali ukoliko bi apsorbovali fotone ma koje boje vidljive svetlosti.

Zašto? Zašto atomi i molekuli imaju ta svoja diskretna stanja, a svako stanje svoju tačno određenu energiju? Zašto te energetske vrednosti jesu tolike kolike jesu? Zašto svetlost dolazi u vidu pojedinačnih čestica, od kojih baš svaka ima energiju obrnuto srazmernu njenoj talasnoj dužini? I zašto je izuzetno lak preskok atoma ili molekula na viša energetska stanja upravo apsorbovanjem fotona? Nije bilo moguće shvatiti ove osobine svetlosti i atoma ili molekula sve dok, sredinom dvadesetih godina, nije postavljen jedan novi okvir za fiziku, poznat kao kvantna mehanika. Čestice okupljene u jednom atomu ili molekulu opisuju se, u kvantnoj mehanici, pomoću nečega što se zove talasna funkcija. A talasna funkcija se ponaša donekle nalik na talas svetlosti, ili na zvučni talas, s tim što amplituda te funkcije (tačnije, kvadrat amplitude te funkcije) daje verovatnoću da ćemo česticu naći na nekom određenom mestu. Baš kao što vazduh u cevima orgulja može trepereti samo na izvestan broj određenih načina, svaki put sa nekom određenom talasnom dužinom, tako i talasna funkcija za bilo koju česticu u atomu ili molekulu može da se pojavi samo u jednom određenom broju kvantnih stanja, pri

čemu svako kvantno stanje ima svoju energiju. Kad se jednačine kvantne mehanike primene na atom bakra, pokaže se da je jedan od njegovih elektrona na energetski najvišoj (spoljašnjoj) orbiti labavo vezan i da lako može preskočiti na sledeću, još višu orbitu, ako apsorbuje vidljivu svetlost. Kvantnomehantički proračuni pokazuju da se energija tog atoma u prvom stanju razlikuje od one u drugom stanju za tačno 2 volta, a to je jednako energiji fotona crvenkasto-naranžaste svetlosti. U metalnom bakru, ti elektroni napuštaju svoje atome i teku između njih, pa zato bakar u metalnom stanju i nema nikakvu posebnu sklonost da apsorbuje fotone naranžaste svetlosti, zbog čega i nije zelenkastoplav. Međutim, molekuli kalcijum-karbonata u komadu krede, nekim slučajem, nemaju nijedan labavo vezan elektron koji bi mogao apsorbovati fotone ma koje vidljive talasne dužine. A što se tiče fotona, njihove osobine objašnjavaju se tako što se načela kvantne mehanike primenjuju, na sličan način, i na samu svetlost. Pokazuje se da i svetlost, poput atoma, može postojati samo u izvesnim kvantnim stanjima, od kojih svako može imati samo jednu, tačno određenu energiju. Na primer, crvenkastonarandžasto svetlo sa talasnom dužinom od 0,62 mikrona može postojati samo u stanjima čije su energije jednake: nula, 2 volta, 4 volta, 6 volti, i tako dalje, a mi to tumačimo kao stanja u kojima ne postoji nijedan foton, ili postoji jedan foton, ili dva fotona, ili tri fotona, i tako dalje, a svaki foton ima energiju od tačno 2 volta.

Zašto? Zašto su kvantnomehantičke jednačine koje vladaju česticama u atomima takve kakve jesu? Zašto se materija sastoji od tih čestica, elektrona i atomskih jezgara? Pa, kad već tako pričamo, zašto uopšte postoji nešto tako kao što je svetlost? Većina ovih pitanja bila je prilično tajanstvena u dvadesetim i tridesetim godinama, kad je kvantna mehanika prvi put primenjena na atome i svetlost, a malo bolje je shvaćena u poslednjih petnaestak godina, kad je takozvani standardni model elementarnih čestica i sila postigao uspeh. Ključni preduslov za ovo novo razumevanje bilo je pomirenje do koga je došlo u četrdesetim godinama između kvantne mehanike i one druge velike revolucije u fizici dvadesetog veka, Ajnštajnovе teorije relativnosti. Načela relativnosti i kvantne mehanike međusobno su maltene nespojiva i mogu koegzistirati samo u jednoj ograničenoj klasi teorija. U nerelativističkoj kvantnoj fizici dvadesetih godina, mi smo mogli zamišljati takoreći svaku ili bilo koju vrstu sila između elektrona i jezgara, ali, kao što ćemo videti, u relativističkoj teoriji nije tako, nego se sile između čestica mogu javiti samo kao posledica razmene sa drugim česticama. Nadalje, sve te čestice su paketići energije, kvanti, u raznim vrstama polja. Neko polje, recimo električno ili magnetno ili neko drugo, jeste jedna vrsta napetosti u prostoru, nešto nalik na napetosti koje mogu postojati u nekom čvrstom telu, s tim što je polje - napetost u samom prostoru. Postoji po jedan tip polja za svaku vrstu elementarnih čestica; u standardnom modelu, postoji elektronsko polje, čiji kvanti jesu elektroni; postoji elektromagnetno polje, sačinjeno od električnih i magnetnih polja, čiji kvanti jesu fotoni; ne postoji polje za atomska jezgra, niti za čestice (poznate kao protoni i neutroni) od kojih su sačinjena jezgra, ali zato postoje polja za različite tipove čestica koje se zovu kvarkovi, od kojih su načinjeni i protoni i neutroni; a ima i nekoliko drugih polja, koja sad nije potrebno posebno pominjati. Jednačine teorija polja poput ove standardne ne bave se česticama, nego poljima; a čestice se pojavljuju kao manifestacije tih polja. Razlog što je obična materija sazdana od elektrona, protona i neutrona jeste naprosto taj što su sve druge masivne čestice nestabilne, i tu svoju nestabilnost pokazuju na silovit, žestok način. Standardni model zaslužuje da ga smatramo dobrim objašnjenjem zato što nije naprosto ono što kompjuterski hakeri

opisuju izrazom 'kladž' (kludge), što kod njih znači: gomila kojekakvih delova sklepana kako bilo, ali ipak sposobna da radi i uradi posao. Struktura standardnog modela je najvećim svojim delom prilično kruta čim se odlučimo za jedan izbor polja koja treba modelom obuhvatiti i jedan izbor opštih načela (kao što su kvantna mehanika i teorija relativnosti) koja vladaju međudejstvima tih polja.

Zašto? Zašto se svet sastoji od baš tih polja: od polja kvarkova, polja elektrona, polja fotona i tako dalje? Zašto ta polja imaju baš te osobine koje su u standardnom modelu uzete kao polazne pretpostavke? Pa, kad već tako pričamo, zašto priroda poslušno ispunjava ono što od nje zahtevaju načela relativnosti i kvantne mehanike? Izvinjavam se - na ta pitanja još nisu nađeni odgovori. Komentarišući današnje stanje fizike, Dejvid Gros (David Gross), teoretičar sa Prinstona, daje spisak pitanja koja su još otvorena: "Sad kad razumemo kako te stvari dejstvuju, počinjemo se pitati zašto postoje kvarkovi i leptoni, zašto se ustrojstvo materije ponavlja u tri generacije kvarkova i leptona, zašto sve sile proističu iz lokalnih gradijentnih simetrija? Zašto, zašto, zašto?" (Ovi termini, nabrojani na Grosovom spisku 'zašto', biće objašnjeni u našim kasnijim poglavljima.) Upravo nada da će se naći odgovori na ova pitanja čini fiziku elementarnih čestica tako uzbudljivom.

Reč 'zašto' je po zlu poznata zbog svoje klizavosti. Filozof Ernest Nejdžel (Ernest Nagel) nabraja deset primera pitanja sa rečju 'zašto' gde ta reč svaki put znači nešto drugo, na primer: "Zašto led plovi po vodi?", "Zašto je Kasije spremio zaveru za ubistvo Cezara?", i "Zašto ljudska bića imaju pluća?" Drugi primeri u kojima se 'zašto' koristi u nekim drugim značenjima začas vam padnu na pamet, recimo: "Zašto sam rođen?" (ili: rođena). Ja ću upotrebljavati 'zašto' po smislu blisko onome u pitanju "Zašto led plovi po vodi?" utoliko što se ne sugerise da je neko imao neku svesnu nameru.

Pa i tako, prilično je pipavo odrediti tačno šta čovek radi kad na takvo pitanje odgovara. Srećom, nije baš ni neophodno. Naučno objašnjavanje jeste jedan način ponašanja koji nam omogućuje, baš kao i ljubav ili umetnost, da uživamo. Najbolji način da se shvati priroda naučnog objašnjavanja jeste da iskusite onu neobičnu, žestoku radost, kao da sve u vama zazvoni, kad neko (najbolje je da to budete Vi lično) uspe da, zaista, objasni nešto. Ne želim time da kažem da se čovek može u naučna objašnjavanja upuštati sasvim nesputano, ali ne može ni u ljubav, ni u umetnost. U sva ta tri slučaja postoji neka standardna istina koju čovek mora da uvažava, mada, naravno, reč 'istina' ne znači baš isto u nauci, u ljubavi, i u umetnosti. Takođe ne želim reći da nije nimalo zanimljivo pokušati formulirati neke uopštene opise o načinu na koji se u nauci radi; ali takvi opisi nisu stvarno potrebni u jednom naučnom delu, a kad pogledate, nisu ni u ljubavi, a ni u umetnosti.

Naučno objašnjavanje kakvo sam ja dosad opisivao očigledno se zasniva na izvođenju jedne istine iz druge. Ali objašnjavanje nije samo dedukcija; ono je i više, ali i manje od toga. Dedukcijom izvesti jednu tvrdnju iz neke druge ne daje uvek objašnjenje, što vidimo u slučajevima kad se dve tvrdnje mogu izvoditi tako što prva proističe iz druge, a druga, jednako, iz prve. Ajnštajn je 1905. godine izveo zaključak da moraju postojati fotoni, tako što se oslanjao na uspešnu teoriju toplotnog zračenja koju je pet godina ranije predložio Maks Plank; a sedamnaest godina kasnije, Satjendra Nat Boze (Satyendra Nath Bose) pokazao je da se ta Plankova teorija mogla izvesti iz Ajnštajnovne teorije fotona. Objašnjavanje, za razliku od dedukcije, nosi u sebi i jedinstveno osećanje usmerenosti. Mi imamo neodoljiv utisak da je fotonska teorija svetlosti temeljnija nego

bilo kakve izjave o toplotnom zračenju, i zato kažemo da ona predstavlja objašnjenje i za toplotno zračenje. Iako je Njutn svoje slavne zakone kretanja izveo jednim delom iz ranijih Keplerovih, u kojima je Kepler opisao kretanje planeta u Sunčevom sistemu, mi naprosto kažemo da Njutnovi zakoni objašnjavaju i Keplerove, a ne obrnuto.

Razgovor o još temeljnijim istinama nervira filozofe. Možemo reći da su osnovnije istine one istine koje su u nekom smislu obuhvatnije, ali i to je teško baš tačno iskazati. Međutim, gde bi naučnici bili kad bi se ograničili samo na ideje koje su filozofi uspešno razvili. Nijedan aktivni fizičar ne sumnja da su Njutnovi zakoni osnovniji od Keplerovih, niti da je Ajnštajnova teorija fotona osnovnija od Plankove teorije o toplotnom zračenju.

Naučno objašnjenje može biti i nešto manje od dedukcije, jer mi možemo kazati da je neka činjenica objašnjena nekim načelom, iako je ne možemo dedukcijom izvesti iz tog načela. Koristeći pravila kvantne mehanike, možemo dedukovati razne osobine jednostavnijih atoma i molekula, i čak proceniti, otprilike, energetski nivo nekih složenih molekula kao što su molekuli kalcijum-karbonata u kredi. Hemičar Henri Šefer (Henry Shafer) sa Berklija javlja da "najnoviji teorijski metodi, inteligentno primenjeni na mnoge molekule čak tako krupne kao što je naftalin, daju nalaze koje možemo ceniti jednako kao da su dobijeni pouzdanim opitima". Ali niko nije stvarno uzeo da rešava jednačine kvantne mehanike da bi dedukovao tačnu talasnu funkciju ili tačnu energiju nekog zaista složenog molekula, kao što je molekul proteina. Pa ipak, mi nimalo ne sumnjamo u to da pravila kvantne mehanike 'objašnjavaju' i odlike takvih molekula. Ovo je delimično zbog toga što možemo upotrebiti kvantnu mehaniku da dedukujemo, do tančina, osobine jednostavnijih sistema kao što su molekuli vodonika, ali delom i zato što raspolažemo matematičkim pravilima koja bi nam omogućila da izračunamo sve osobine bilo kog molekula sa bilo kojim željenim stepenom tačnosti ako bismo imali dovoljno veliki kompjuter i dovoljno kompjuterskog vremena.

Možemo ponekad reći da je nešto objašnjeno čak iako nismo ubeđeni da ćemo ikad biti u mogućnosti da to dedukujemo. U ovom trenutku, ne znamo kako da primenimo naš standardni model na atomska jezgra i izračunamo podrobno njihove osobine, i nismo sigurni da ćemo ikada znati kako da te proračune izvedemo, pa čak ni ako bi nam na raspolaganju stajalo neograničeno računarsko vreme. (To je zato što su sile u jezgru toliko jake, da ne dopuštaju nijednu od onih računskih tehnika koje uspevaju kod atoma i molekula.) Ipak, mi ne sumnjamo da osobine jezgara jesu takve kakve jesu upravo zbog poznatih načela standardnog modela. Ova reč 'zbog' ne odnosi se na našu sposobnost da se stvarno latimo posla i dedukujemo nešto, nego odražava naše viđenje poretka stvari u prirodi.

Ludvig Vitgenštajn (Ludwig Wittgenstein) je upozorio, poričući svaku mogućnost da se jedna činjenica objasni pomoću neke druge, da "u temelju celog modernog pogleda na svet leži privid da takozvani zakoni prirode jesu objašnjenja za prirodne pojave". Ovakva upozorenja ostavljaju me hladnim. Reći fizičaru da zakoni prirode ne objašnjavaju prirodne pojave isto je što i reći tigru koji se šunja prema svom plenu da je 'sve meso trava'. Činjenica da mi naučnici ne umemo da objasnimo, na način koji bi filozofi odobrili kao ispravan, šta mi to, zapravo, radimo, ne znači da ne radimo korisne stvari. Dobro bi nam došla pomoć profesionalnih filozofa da bolje razumemo šta radimo, ali ako njihove pomoći ne bude, mi ćemo svedjedno nastaviti da obavljamo svoj posao.

Mogli bismo krenuti duž sličnog lanca 'zašto' za svaku od fizičkih osobina krede: zašto se lako lomi, zašto ima takvu gustinu, zašto pruža takav otpor proticanju električne struje. Ali pokušajmo sada ući u lavirint objašnjavanja kroz jedna druga vrata - razmotrimo hemijske osobine krede. Kao što je Haksli rekao, kreda je uglavnom jedno jedinjenje; on je rekao 'karbonat krečnjaka', mi se danas izražavamo modernije - kalcijum-karbonat. Haksli nije rekao, ali je verovatno znao da se ta hemikalija sastoji od tri elementa, i to od kalcijuma, ugljenika i kiseonika, i to u nepromenljivoj težinskoj razmeri koja iznosi 40% za prvi, 12% za drugi i 48% za treći od pomenutih hemijskih elemenata.

Zašto? Zašto nalazimo ovo hemijsko jedinjenje kalcijuma, ugljenika i kiseonika baš u toj razmeri svaki put, a ne nalazimo ga u mnogo drugih razmera? Odgovor su našli hemičari u devetnaestom veku služeći se teorijom atoma, još pre nego što je iko našao ijedan neposredan eksperimentalni dokaz da atomi postoje. Težine jednog atoma kalcijuma, jednog atoma ugljenika i jednog atoma kiseonika stoje u međusobnoj razmeri 40:12:16, ali u sastav jednog molekula kalcijum-karbonata ulaze jedan atom kalcijuma, jedan ugljenika i tri atoma kiseonika, pa su zato težinski odnosi kalcijuma, ugljenika i kiseonika u kalcijum-karbonatu 40:12:48.

Zašto? Zašto atomi raznih elemenata imaju te težine koje opažamo, i zašto se molekuli sastoje od tačno određenog broja atoma svake vrste? Već u devetnaestom veku znalo se da je u molekulima kao što je kalcijum-karbonat broj atoma pomenuta tri elementa određen električnim nabojima koje između sebe razmenjuju, kad se ujedinjuju u molekul, ti atomi. Godine 1897. Dž. Dž. Tompson je otkrio da te električne naboje prenose negativno naelektrisane čestice zvane elektroni, čestice koje su mnogo lakše od celih atoma i koje, protičući kroz žicu, daju najobičniju električnu struju. Jedan element se od drugog razlikuje naprosto po svom broju elektrona: vodonik ima jedan elektron, ugljenik šest, kiseonik osam, kalcijum dvadeset, i tako dalje. Kad se pravila kvantne mehanike primene na atome od kojih se kreda sastoji, pokaže se da atomi kalcijuma i ugljenika lako daju svoje elektrone, i to kalcijum dva, a ugljenik četiri; a svaki atom kiseonika lako prima dva elektrona. Zato tri atoma kiseonika u kalcijum-karbonatu pakupe svih šest elektrona, dva koja je dao kalcijum i četiri koja je dao ugljenik, i svi su lepo podmireni, nema ni viška, a ni manjka. Električna sila izazvana ovom razmenom elektrona drži molekule na okupu. A atomske težine? Znali smo još od Raderfordovog rada iz 1911. da je gotovo sva masa ili težina atoma sadržana u malom, pozitivno naelektrisanom jezgri, oko koga se elektroni vrte. Posle izvesne zabune, konačno je shvaćeno, u tridesetim godinama, da se atomska jezgra sastoje od dve vrste čestica, sa približno jednakom masom: od protona, koji ima pozitivan električni naboj tačno jednak negativnom električnom naboju elektrona, i od neutrona, koji nema nikakav električni naboj. Jezgro vodonika je naprosto jedan proton. Broj protona mora biti jednak broju elektrona da bi atom ostajao električno neutralan, a neutroni su potrebni zato što je jaka privlačnost između protona i neutrona bitna da bi jezgro ostalo na okupu. Neutroni i protoni imaju maltene istu težinu, a elektroni daleko manju, pa se vrlo dobar približan podatak o težini jednog atoma može dobiti ako naprosto saberemo koliko ima protona i neutrona u jezgri: težina vodonika iznosi jedan (jedan proton), ugljenika dvanaest, kiseonika šesnaest, a kalcijuma četrdeset, što odgovara atomskim težinama koje su bile znane, ali ne i shvaćene, u Hakslijevo doba.

Zašto? Zašto postoje neutron i proton, jedan neutralan, a drugi naelektrisan, a oba sa otprilike istom masom i oba mnogo teža nego elektron? Zašto se privlače tako silno, da stvaraju atomsko jezgro koje je nekih sto hiljada puta manje nego atom? Objašnjenje opet nalazimo u pojedinostima našeg sadašnjeg standardnog modela elementarnih čestica. Najlakši kvarkovi zovu se 'u' i 'd', po engleskim rečima za gore i dole (up, down) i imaju električne naboje, i to prvi $+2/3$, a drugi $-1/3$. (Ako za jedinicu mere smatramo naelektrisanje elektrona i kažemo da je ono -1 .) Proton se sastoji od dva u i jednog d, pa zato ima naelektrisanje $2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$. Neutron se sastoji od samo jednog u, ali dva d, i otud ima naboj $2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$. Mase protona i neutrona su približno jednake zato što potiču uglavnom od jakih sila koje drže kvarkove na okupu, a te sile su jednake kod u kvarka i d kvarka. Elektron je mnogo lakši zato što ne oseća te jake sile. Svi ti kvarkovi i elektroni su paketići energije različitih polja, a njihove odlike proističu iz odlika tih polja.

I eto nas opet kod standardnog modela. Uistinu, bilo koje pitanje o fizičkim i hemijskim osobinama kalcijum-karbonata odvešće nas, na način manje-više isti, duž lanca ovih 'zašto' do iste tačke konvergencije: do naše sadašnje kvantnomehaničke teorije elementarnih čestica, do standardnog modela. Ali fizika i hemija su lake. Šta ako se upustimo u nešto teže, kao što je biologija?

Naša kreda nije neki savršeni kristal kalcijum-karbonata, ali opet, nije ni neka neorganizovana masa pojedinačnih molekula, kao što gas jeste. Umesto toga, kreda je, kao što je Haksli i objasnio u svome predavanju u Noriču, sačinjena od kostura vrlo sitnih organizama koji su u sebe upijali izvesnu količinu kalcijumovih soli, kao i ugljen-dioksida, iz drevnih mora, da bi od tih sirovina gradili oko svojih mekih tela kalcijum-karbonatne ljušturice. Nije potrebno mnogo mašte da čovek uvidi zašto im je to bilo korisno: more nije bezbedno mesto za nezaštićene zalogajčiće belančevina. Ali ovo ne objašnjava, samo po sebi, zašto biljke i životinje razvijaju organe poput tih kalcijum-karbonatnih oklopa da bi opstale; imati potrebu za nečim nije isto što i dobiti to nešto. Ključ za ovo nađen je u radovima Darvina i Volisa (Alfred Russel Wallace), a Haksli je dao ogroman doprinos njihovom popularisanju i branjenju. Živa bića pokazuju nasledne varijabilnosti - neke korisne, a neke ne - ali oni organizmi koji imaju korisne varijacije češće preživljavaju, pa zato i prenose svoje osobine naslednicima, svome potomstvu. Ali otkud varijacije i zašto su nasledno prenosive? To je konačno objašnjeno tokom četrdesetih godina našeg veka, kad je sagledana struktura jednog veoma velikog molekula, DNK (dezoksiribonukleinska kiselina), koji služi kao kalup na kome se od amino-kiselina kuje i sastavlja jedna po jedna belančevina. Molekul DNK ima oblik dvostrukog heliksa. Vrsta spirale - prim. prev. koji čuva genetske informacije u jednom kodu zasnovanom na nizanju hemijskih jedinica duž dve uporedne niti tog heliksa. Genetska informacija se prenese kad se dvostruki heliks rascepi i svaka nit sklopi po jednog dvojnika sebe; nasledne varijacije dogode se kad neka nezgoda poremeti hemijske jedinice koje sačinjavaju jednu i drugu nit heliksa.

Kad se siđe na nivo hemije, ostatak je srazmerno lak. Doduše, DNK je suviše složena da bismo mogli pomoću jednačina kvantne mehanike otkrivati njenu strukturu. Ali ta struktura je i pomoću metoda obične hemije otkrivena dovoljno dobro, i niko ne sumnja u to da bismo mi, imajući dovoljno veliki računar, mogli, u načelu, objasniti sve osobine DNK tako što bismo rešavali kvantnomehaničke jednačine za elektrone i jezgra elemenata koji je čine, a to su dobro znani, najobičniji elementi, čije je osobine

standardni model rešio. I eto, opet smo na onoj istoj tački konvergencije naših strelica objašnjenja.

Malo sam ovde prikrio jednu važnu razliku između biologije i fizike: element istoričnosti. Ako, izgovarajući reč 'kreda', imamo na umu 'onaj materijal od koga su bele litice na obali kod Dovera', ili 'onaj materijal u Hakslijevoj ruci', onda izjava da se kreda sastoji od 40% kalcijuma, 12% ugljenika i 48% kiseonika mora naći svoje objašnjenje u jednoj mešavini univerzalnog i istorijskog; u to moraju ući i razni događaji iz istorije naše planete ili iz života Tomasa Hakslija. One tvrdnje koje se možemo nadati da objasnimo pomoću konačnih zakona prirode jesu tvrdnje o opštim istinama. Jedna takva univerzalna tvrdnja jeste izjava da (pri dovoljno niskim temperaturama i pritiscima) postoji jedno hemijsko jedinjenje sačinjeno od kalcijuma, ugljenika i kiseonika u tačno tim razmerama. Mi mislimo da su ovakve izjave istinite svuda u Vaseljenu, u svim vremenima, oduvek i zauvek. Na isti način, možemo davati izjave sa opštim važenjem o osobinama DNK, ali činjenica da na Zemlji postoje živa stvorenja koja koriste DNK i pomoću DNK prenose nasumične varijacije sa pokolenja na pokolenje zavisna je od nekih istorijskih sticaja okolnosti: postoji, eto, jedna planeta kao što je Zemlja; desilo se, nekako, da počne život, i da počne genetika; a posle toga je evolucija imala na raspolaganju dugo vreme u kome je radila svoj posao.

Ne pojavljuje se ovaj element istoričnosti samo u biologiji. Vidimo ga i u mnogim drugim naukama, kao što su geologija i astronomija. Pretpostavimo da još jednom dohvatimo naš komadić krede i zapitamo se zašto se ovde na Zemlji našlo dovoljno kalcijuma, ugljenika i kiseonika da posluže kao sirovine za fosilne ljušturice od kojih je kreda sačinjena? To je lako - ta tri elementa su najnormalnije zastupljena širom Vaseljene. Ali zašto su? Opet se moramo obratiti jednoj mešavini istorije i opštih načela. Upotrebljavajući standardni model elementarnih čestica, možemo pratiti tok nuklearnih reakcija u standardnoj teoriji Velikog praska dovoljno dobro da izračunamo da se ona materija koja se formirala u prvih nekoliko minuta postojanja Vaseljene sastojala od približno tri četvrtine vodonika i jedne četvrtine helijuma, a da je drugih elemenata bilo samo u tragovima, i to uglavnom onih vrlo lakih kao što je litijum. To su bile sirovine od kojih su kasnije, u zvezdama, napravljeni teži elementi. Proračun o kasnijem toku nuklearnih reakcija u zvezdama pokazuje da elementi koji su najobilnije proizvedeni jesu baš oni elementi čija su jezgra najčvršće vezana unutar sebe, a među takvima su ugljenik, kiseonik i kalcijum. Zvezde su izručivale ovaj materijal u međuzvezdanu sredinu na razne načine, pomoću zvezdanih vetrova i pomoću eksplozija supernova, a onda je iz tog medijuma, koji je bio bogat sastojcima krede, nastalo drugo pokolenje zvezda, kao što je Sunce; sa tim zvezdama obrazovane su i njihove planete. Ali ovaj scenario ostaje u zavisnosti od jedne istorijske pretpostavke - da se dogodio jedan manje-više homogen Veliki prasak, u kome je nastalo približno po deset milijardi fotona na svaki kvark. U toku su naponi da se ova pretpostavka objasni pomoću raznih spekulativnih kosmoloških teorija, ali i te teorije se opet oslanjaju na razne istorijske pretpostavke.

Nije jasno da li će istorijski element i univerzalni element u našim naukama ostati zauvek tako razdvojeni, zasebni. U modernoj kvantnoj mehanici kao i u njutnovskoj mehanici postoji jasna razlika između onih uslova koji nam kažu u kakvom je početnom stanju jedan sistem (svejedno da li je taj sistem cela Vaseljena, ili samo neki deo Vaseljene) i onih zakona koji potonjim razvojem upravljaju. Ali moguće je da će se jednog dana, u budućnosti, doći do zaključka da su početni uslovi bili deo samih zakona

prirode. Jedan jednostavan primer koji nam pokazuje kako je to moguće pojavio se u takozvanoj kosmologiji postojanog stanja koju su potkraj četrdesetih godina predložili Herman Bondi (Herman Bondi) i Tomas Gold (Thomas Gold) i, u nešto drugačijoj verziji, Fred Hojl (Fred Hoyle). U toj slici, oni priznaju da se galaksije veoma velikim brzinama udaljavaju jedna od druge (činjenica koju neki ljudi često iskazuju na način koji nas lako može odvesti na pogrešan put - naime, kažu da se 'svemir širi'), Pogrešno nas vodi iskaz 'svemir se širi', jer ne šire se zvezdani sistemi, niti galaksije, niti se širi prostor sam. Galaksije su se razletele na sve strane, i nastavljaju da jure tako, ali to je kretanje kao kad eksplodira neki oblak čestica koje potom nastavljaju da se udaljavaju, brzo, jedna od druge. ali tvrde da se nova materija neprestano stvara da bi popunila sve veće međugalaktičke praznine; štaviše, kažu oni, ta nova materija stvara se tačno onim tempom koji je potreban da bi se izgled Vaseljene održavao - tako da bude uvek isti. Nemamo nijednu uverljivu teoriju o načinu na koji bi se ovo neprekidno stvaranje materije moglo dogoditi, ali prihvatljiva je pretpostavka da bismo, kada bismo imali neku takvu teoriju, mogli pomoću nje pokazati da širenje Vaseljene ima sklonost ka nekoj ravnoteži: naime, da je stvaranje materije uravnoteženo sa širenjem, onako kao što bi trebalo da se cene na tržištu uvek nekako podešavaju i uravnotežuju sve dok ponuda i potražnja ne postanu međusobno izjednačene. U takvoj teoriji postojanog stanja, nikakvih početnih uslova nema, jer nije ni bilo nikakvog početka; zato u njoj dedukujemo izgled svemira polazeći od jednog stanja koje se ne menja.

Prvobitna verzija teorije postojanog stanja manje-više je srušena raznovrsnim astronomskim posmatranjima, među kojima je glavno ono iz 1964. kada je otkriveno mikrotalasno zračenje koje kao da je zaostalo iz nekog doba kad je svemir bio mnogo vreliji i gušći. Moguće je da će ideja postojanog stanja biti vraćena u život, i to u mnogo veličanstvenijim razmerama, u nekoj budućoj kosmološkoj teoriji u kojoj bi se sadašnje širenje Vaseljene ocrtao samo kao jedna fluktuacija u večnoj, ali i večno fluktuirajućoj Vaseljenu koja, u proseku, ostaje uvek ista. Ima i drugih, finijih načina da se jednog dana eventualno dedukuju početni uslovi iz konačnih zakona. Džejms Hartl (James Hartle) i Stiven Hoking (Stephen Hawking) predložili su jedan način na koji bi ova fuzija fizike i istorije mogla biti dostignuta primenom kvantne mehanike na celu Vaseljenu. Kvantna kosmologija je danas predmet žustrog sporenja među teoretičarima; njihovi konceptualni i matematički problemi su veoma teški, i zasad se ne primećuje napredak ka nekim određenim zaključcima.

U svakom slučaju, čak i ako se početni uslovi Vaseljene jednog dana uspešno uključe u zakone prirode, ili dedukuju iz njih, mi, iz čisto praktičnih razloga, nikada nećemo moći da odstranimo slučajne i istorijske elemente iz nauka kao što su biologija, astronomija i geologija. Stiven Gould je iskoristio čudnovate fosile (zaista nastranog izgleda) u Burdžesovom škrljcu, u kanadskoj saveznoj državi Britanska Kolumbija, da ilustruje kako je malo neizbežnoga u obrascima biološke evolucije na Zemlji. Čak i u vrlo jednostavnim sistemima može se pojaviti fenomen zvani haos koji potire naše napore da im predvidimo budućnost. Haotičan sistem je onaj u kome maltene sasvim jednaki početni uslovi mogu na kraju dovesti do sasvim različitih ishoda. Mogućnost haosa u jednostavnim sistemima bila je, zapravo, poznata već na početku ovog veka; matematičar i fizičar Anri Poenkare (Henri Poincaré) pokazao je tada da se haos može razviti čak i u sistemu tako jednostavnom kao što je sunčev sistem sa samo dve planete. Već mnogo godina se zna da tamne praznine u Saturnovim prstenovima jesu na tačno onim mestima

odakle bi haotična kretanja mogla izbaciti svaku orbitujuću česticu. Ono novo i uzbudljivo u teoriji haosa danas nije otkriće da haos postoji, nego otkriće da izvesne vrste haosa ispoljavaju neke gotovo opšte osobine koje se mogu matematički analizovati.

Postojanje haosa ne znači da ponašanje sistema kao što su Saturnovi prstenovi nije potpuno određeno zakonima kretanja i gravitacije i svojim početnim uslovima, nego samo znači da mi, kao ljudi koji se prihvataju praktičnih poslova, ne možemo izračunati kako će se neke stvari ponašati (na primer, čestice na orbitama u tamnim pukotinama između Saturnovih prstenova). Ili, da kažemo još tačnije: prisustvo haosa u jednom sistemu znači da, bez obzira na to koliko tačno mi ustanovljavamo početne uslove, mora ipak doći vreme kada ćemo izgubiti svu svoju sposobnost da predvidimo dalje ponašanje sistema, mada će ostati na snazi i druga istina: naime, koliko god daleko u budućnost poželimo da protegnemo naše prognoze o ponašanju jednog sistema kojim vladaju Njutnovi zakoni, uvek postoji jedan stepen tačnosti merenja početnih uslova koji bi nam uistinu i omogućio da predvidimo njegovo ponašanje. (To je kao da kažemo da, iako automobil koji nastavi da vozi mora pre ili posle potrošiti sav svoj benzin i stati, pa ma koliko da smo sipali u rezervoar, ipak, bez obzira na to koliko daleko smo mi naumili da otputujemo, uvek postoji jedna mera, odnosno količina benzina koja bi bila dovoljna za putovanje tako daleko.) Drugim rečima, otkriće haosa nije ukinulo determinizam pretkvantne fizike, ali nas jeste prinudilo da budemo malo obazriviji kad se izjašnjavamo šta taj determinizam, po našem mišljenju, znači. Kvantna mehanika nije deterministička u istom smislu kao njutnovska mehanika; Hajzenbergovo načelo neodređenosti upozorava nas da ne možemo tačno izmeriti istovremeno i položaj i brzinu čestice, kao i da, čak i u slučaju da uspešno izvedemo sva merenja koja jesu moguća u jednom trenutku, već za sledeći i sve sledeće trenutke možemo predvideti samo verovatnoće o onome što će se dešavati. Pa ipak, kao što ćemo videti, čak i u kvantnoj mehanici još postoji istina da je, u jednom smislu reči, ponašanje svakog fizičkog sistema u potpunosti determinisano, odnosno određeno početnim uslovima i zakonima prirode.

Naravno, taj determinizam koji, u manjoj ili većoj meri, u načelu opstaje, neće nam mnogo pomoći kad smo prinuđeni da radimo na stvarnim sistemima koji nisu jednostavni, kao što je berza ili život na Zemlji. Uplitanje istorijskih slučajnosti zauvek ograničava obim onoga što se možemo nadati da objasnimo. Svako objašnjenje sadašnjih oblika života na Zemlji mora uzeti u obzir izumiranje dinosaurusu pre šezdeset pet miliona godina, a sadašnje objašnjenje za tu pojavu bilo bi da je udarila kometa; ali niko nikada neće moći da objasni otkud to da kometa udari u Zemlju baš tada. Vrhunac svih mogućih nada nauke bio bi da ćemo jednog dana moći da ocrtaemo objašnjenja za sve prirodne pojave polazeći od prirodnih zakona, kao i od istorijskih slučajnosti.

Ovo večito utrpavanje istorijskih slučajnosti u nauku takođe znači da moramo dobro pripaziti kakvu vrstu objašnjenja zahtevamo od naših konačnih zakona. Na primer, kad je Njuttin prvi put predložio svoje zakone kretanja i gravitacije, njemu je zamereno da ti zakoni ne objašnjavaju jednu od najupadljivijih nepravilnosti u Sunčevom sistemu - naime, činjenicu da se sve planete okreću oko Sunca u istom smeru. Danas mi shvatamo da je to stvar istorije. Način na koji se planete okreću oko Sunca jeste posledica činjenice da se Sunčev sistem iz rotirajućeg diska gasa kondenzovao na jedan tačno određeni način, a ne na neki drugi. Ne bismo ni očekivali da pravac okretanja planeta oko Sunca izvedemo samo na osnovu zakona kretanja i gravitacije. Razdvojiti zakon od istorije, to vam je delikatan posao, koji mi kroz praksu sve bolje učimo.

Ne samo da je moguće da će ono što danas smatramo proizvoljnim početnim uslovima biti jednog dana, konačno, ipak izvedeno iz univerzalnih zakona - moguće je i obrnuto: da će se za načela koja mi danas smatramo univerzalnim zakonima jednog dana ispostaviti da su bila samo istorijske slučajnosti. Nedavno se nekolicina teorijskih fizičara počela poigravati idejom da ono što mi obično nazivamo Vaseljena - naime, ovaj oblak galaksija koji se širi i koji se prostire bar nekoliko desetina milijardi svetlosnih godina u svakom pravcu - jeste samo jedna pod-vaseljena, maleni deo mnogo veće megavaseljene koja bi se sastojala od mnogo takvih delova, s tim što bi u svakom od njih one vrednosti koje mi nazivamo prirodne konstante (električni naboj elektrona, razmera masa elementarnih čestica i tako dalje) mogle biti drugačije. Možda će se ispostaviti da čak i ono što nazivamo zakonima prirode varira od jedne do druge takve podvaseljene. U tom slučaju, objašnjenje za konstante i zakone koje smo mi otkrili možda u sebi sadrži i jedan neizbrisivi istorijski element: udes koji nas je bacio baš u ovu podvaseljenu gde jesmo. Ali čak i ako bi se pokazalo da u tim idejama ima nečega, ne verujem da ćemo morati da odustanemo od naših snova o otkrivanju konačnih zakona prirode; ti konačni zakoni bili bi, onda, megazakoni koji određuju kakve su verovatnoće bivanja u ovom ili onom tipu podvaseljena. Sidni Koulman i drugi već su preduzeli odvažne pokušaje da izračunaju te verovatnoće primenjujući kvantnu mehaniku na celu megavaseljenu. Želeo bih naglasiti da su ovo veoma spekulativne ideje, koje nisu matematički u potpunosti formulisane i za koje, do danas, ne postoji nikakva eksperimentalna podrška.

Priznao sam dosad postojanje dva problema koji su se isprečili na našem putu duž lanca objašnjenja ka konačnim zakonima: jedan je zadiranje istorijskih slučajnosti, drugi je složenost koja nam onemogućava da, bukvalno, objasnimo sve, čak i ako se ograničimo samo na univerzalne stvari, slobodne od istoričnosti. Postoji još jedan problem sa kojim se treba suočiti, a taj je spojen sa sada veoma popularnim izrazom 'izranjanje'. Naime, dok gledamo prirodu i prenosimo pogled ka nivoima sve veće i veće složenosti, vidimo da izranjaju izvesne pojave kojih uopšte nema na jednostavnijim nivoima, a ponajmanje na nivou elementarnih čestica. Na primer, nema ničeg ni nalik na inteligenciju na nivou pojedinačne žive ćelije, a, opet, ničega ni nalik na život - na nivou atoma i molekula. Suštinu izranjanja lepo je uhvatio fizičar Filip Anderson (Philip Anderson) naslovom jednog svog članka iz 1972: 'Više je drugačije'. Misli se na 'više' u smislu 'veća količina nečega', a ne 'na većoj visini' - prim. prev. Izranjanje novih pojava na višim nivoima složenosti najupadljivije je u biologiji i u naukama o ponašanju (bihejvioralnim disciplinama), ali važno je shvatiti da takvo izranjanje nije nešto što bi se pojavljivalo samo kod živih bića, ili samo u ljudskim poslovima; događa se i u samoj fizici.

Primer izranjanja koji je istorijski najznačajniji u fizici jeste termodinamika, nauka o toploti. Kako su je prvobitno formulisali u devetnaestom veku Karno (Carnot), Klauzijus (Clausius) i drugi, termodinamika je bila jedna autonomna nauka, nije bila dedukovana iz mehanike čestica i sila nego izgrađena na konceptima kao što su entropija i temperatura, za koje u mehanici ne postoji pandan, odnosno nema ničeg što je jednom drugom ambijentu slično i odgovarajuće po ulozi. Samo je prvi zakon termodinamike, o očuvanju energije, služio kao most između mehanike i termodinamike. Središnje načelo termodinamike bilo je drugi njen zakon, po kome (po jednoj formulaciji) fizički sistemi poseduju ne samo energiju i temperaturu nego i jednu osobinu zvanu entropija, koja se proticanjem vremena uvek uvećava u svakom zatvorenom sistemu, a dostiže najveću

vrednost kad je taj sistem u ravnoteži. To je načelo koje zabranjuje Tihom okeanu da spontano preda Atlantiku toliko toplotne energije da se Tihi zaledi, a Atlantski proključa; takva kataklizma ne bi morala narušiti zakon očuvanja energije, ali jeste zabranjena, zato što bi umanjila entropiju.

Fizičari devetnaestog veka su, najčešće, uzimali drugi zakon termodinamike kao aksiom, izvučen iz iskustva, jednako temeljan kao što je i ma koji drugi zakon prirode. U to vreme, to nije bilo nerazumno. Jasno se videlo da termodinamika uspešno deluje u najrazličitijim kontekstima, od ponašanja vodene pare (problem koji je termodinamici omogućio početak) do zamrzavanja, ključanja i hemijskih reakcija. (Danas bismo dodali još neke, egzotičnije primere; astronomi su otkrili da se oblaci zvezda u globularnim jatima ponašaju kao gasovi sa određenom temperaturom, a rad Džekoba Bekenštajna /Jacob Bekenstein/ i Hokinga pokazao je, teorijski, da crna rupa ima entropiju srazmernu svojoj površini.) Ako je termodinamika toliko univerzalna, kako se ona može logički povezati sa fizikom pojedinih, određenih, vrsta čestica i polja?

U drugoj polovini devetnaestog veka rad jedne nove generacije teorijskih fizičara, među kojima su bili Maksvel u Škotskoj, Ludvig Bolcman (Ludwig Boltzmann) u Nemačkoj i Džosaja Vilard Gibs (Josiah Willard Gibbs) u Americi, pokazao je da načela termodinamike mogu, zaista, da se izvedu matematički, analizom verovatnoća različitih konfiguracija u izvesnim vrstama sistema, i to u onim vrstama čija je energija rasodeljena na veoma veliki broj podsistema, kao što je, na primer, gas čija je energija rasodeljena među molekulima od kojih je on sačinjen. (Ernest Nejdžel je ovo naveo kao paradigmatičan primer svodenja, odnosno redukcije jedne teorije na drugu.) U tako nastaloj statističkoj mehanici, toplotna energija gasa naprosto je kinetička energija njegovih čestica; entropija je mera nereda u sistemu; a drugi zakon termodinamike izražava težnju izolovanih sistema da postanu još nesređeniji. Prelivanje toplote svih okeana u Atlantski značilo bi povećanje reda; zato se i ne dešava.

Tokom izvesnog vremena, u osamdesetim i devedesetim godinama devetnaestog veka, vodila se bitka između pristalica nove statističke mehanike i onih koji su, kao Plank i hemičar Vilhelm Ostvald (Wilhelm Ostwald), nastavili da se bore za logičku nezavisnost termodinamike. Ernst Cermelo (Ernst Zermelo) je otišao još dalje, pa je tvrdio da, pošto po statističkoj mehanici smanjenje entropije jeste malo verovarno, ali nije i nemoguće, pretpostavke o molekulima, dakle pretpostavke na kojima se statistička mehanika izgradila, moraju biti pogrešne. Bitku je dobila statistička mehanika, i to početkom ovog, dvadesetog veka, kad je postalo opšte prihvaćeno da su atomi i molekuli stvarnost. Pa ipak, i kad je termodinamika objašnjena u terminima čestica i sila, ona se nastavila baviti izranjajućim konceptima, kao što su temperatura i entropija, koji gube svaki smisao na nivou pojedinačnih čestica.

Termodinamika više liči na jedan način razmišljanja, nego na skup univerzalnih fizičkih zakona; gde god se ona može primeniti, ona nam i dozvoljava da opravdamo upotrebu istih takvih načela, ali objašnjenje zašto je termodinamika primenljiva na neki određeni sistem imaće uvek oblik dedukcije metodima statističke mehanike na osnovu detaljne slike onoga što sistem sadrži, a ovo nas neizbežno vodi dole, na nivo elementarnih čestica. Pa, kad gledamo onu našu sliku sa strelama objašnjenja, možemo shvatiti da je termodinamika jedan obrazac ili raspored strela, koji se pojavljuje mnogo puta, na mnogo mesta, u veoma različitim fizičkim kontekstima, ali uvek tako da njegove strele možemo metodima statističke mehanike pratiti unazad, do dubljih zakona, i

konačno do načela fizike elementarnih čestica. Kao što ovaj primer pokazuje, činjenica da se jedna naučna teorija može uspešno primeniti na mnogobrojne i veoma raznovrsne pojave ne znači, niti uopšte nagoveštava, neku nezavisnot te teorije od dubljih fizičkih zakona.

Ista ova pouka važi i za druge oblasti fizike, na primer za dve srodne ovoj - haos i turbulenciju. Fizičari koji rade u tim oblastima našli su izvesne obrasce ponašanja koji se javljaju ponovo i ponovo, u kontekstima veoma različitim; na primer, smatra se da postoji izvesna opštost u svim vrtlozima i svakom vrtloženju, od turbulencije morske vode kad plima nadire u moreuz Paget kod Sietla, do turbulencije u međuzvezdanim gasovima koja nastaje kad kroz njih prohuji neka zvezda u prolazu. Ali nisu sva proticanja fluida turbulentna, niti turbulencija, kad se pojavi, svaki put ispoljava te tobož univerzalne osobine. Kakvim god se mi matematičkim rezonovanjem služili da objasnimo opšte osobine turbulencije, ipak nam preostaje dužnost da objasnimo zašto to tako ide kod nekog određenog turbulentnog fluida, a kod drugog ne; a odgovor će se neminovno svoditi na slučajnosti kako se ta voda kanališe, i na opštost kao što su zakoni kretanja fluida i osobine vode - univerzalnosti, međutim, koje se onda moraju objasniti dubljim zakonima.

Slično se može reći za biologiju. U njoj, glavnina onoga što vidimo jeste proistekla iz istorijskih slučajnosti, a ipak postoje neki obrasci koji su možda samo grubo, približno univerzalni, kao što je ono pravilo populacione biologije koje kaže da se mužjaci i ženke najčešće rađaju u približno jednakom broju. (Godine 1930. genetičar Ronald Fišer /Ronald Fisher/ objasnio je da kad se u nekoj živoj vrsti javi težnja da se rađa, recimo, više mužjaka nego ženki, onda svaki gen koji daje jedinkama sposobnost da proizvode više ženki, a manje mužjaka počinje da se širi kroz populaciju, zato što žensko potomstvo jedinki sa takvim genom nailazi na manje takmaca kad treba naći mužjaka za sparivanje.) Pravila poput ovog važe kod široke raznovrsnosti živih vrsta i može se očekivati da će važiti čak i kod živih bića koja bismo jednog dana mogli otkriti na nekoj drugoj planeti, ukoliko se ta bića razmnožavaju seksualno. Rezonovanje koje vodi do ovih pravila važi i za ljude, i za ptice, i za vanzemaljce, ali ono se uvek zasniva na izvesnim pretpostavkama o tim organizmima, a ako se zapitamo zašto bi one bile tačne, odgovor moramo potražiti jednim delom u istorijskim slučajnostima, a drugim delom u univerzalnostima kao što su osobine DNK (ili ko zna čega što obavlja posao DNK na drugim planetama), koje, opet, moraju naći svoja objašnjenja u fizici i hemiji, pa prema tome i u standardnom modelu elementarnih čestica.

Ovo se ponekad gubi iz vida zato što naučnici, opisujući svoj konkretni rad na polju termodinamike, dinamike fluida ili populacione biologije, koriste jezike koji važe samo unutar tih polja nauke, posebne jezike; tu se govori o entropiji, ili o vrtloženju, ili o reproduktivnim strategijama, a ne govori se jezikom elementarnih čestica. Razlog nije samo taj što mi ne možemo pomoću naših prvih načela neposredno izračunavati složene pojave, nego i taj što je naš jezik, kad o nečemu govorimo, odraz onih pitanja koja bismo o tome želeli postaviti. Čak i kad bismo imali neki orijaški računar koji bi mogao pratiti istoriju svake pojedine elementarne čestice u nadiranju plimnih voda ili u jednoj voćnoj mušici, dobijena planina odštampane hartije malo bi koristila onome ko bi želeo znati da li se voda komeša i da li je mušica živa.

Nema razloga da pretpostavimo da konvergiranje naučnih objašnjenja mora voditi i konvergiranju naučnih metoda. Termodinamika, haos i populaciona biologija nastaviće da se služe svaka svojim jezikom, po svojim pravilima, ma šta mi naučili o elementarnim česticama. Kao što hemičar Roald Hofman kaže: "Većina korisnih koncepata u hemiji... je netačna. A kad ih počneš svoditi na fiziku, nestanu." Napadajući one ljude koji bi hteli da svedu hemiju na fiziku, Hans Primas (Hans Primas) je naveo spisak pojedinih koncepata koji su u hemiji korisni, ali koji bi mogli u ovakvom svođenju biti izgubljeni: valenca, struktura veze, lokalizovane orbitale, aromatičnost, kiselost, boja, miris i vodoodbojnost. Ja ne vidim zašto bi hemičari prestali da govore o takvim stvarima; treba da govore, dokle god im je to korisno ili zanimljivo. Ali činjenica da oni nastavljaju tako govoriti ne baca sumnju na jednu drugu istinu - naime, da svi ti pojmovi u hemiji dejstvuju tako kako dejstvuju zbog onog što leži u njihovom temelju, a to je kvantna mehanika elektrona, protona i neutrona. Kao što kaže Lajnus Pauling (Linus Pauling), "Ne postoji nijedan deo hemije koji ne zavisi, u svojoj temeljnoj teoriji, od kvantnih načela."

Od svih oblasti iskustva koje pokušavamo pomoću strela objašnjenja povezati sa načelima fizike, najteža za tako nešto jeste svest. Mi neposrednim iskustvom znamo da imamo svest, tu nije potrebno ni da nam čula nešto javljaju, ali kako staviti svest u granice fizike i hemije? Fizičar Brajan Pipard, koji je zauzeo staru Maksvelovu katedru, odnosno postao kavendiški profesor na Univerzitetu Kembridž, to formuliše ovako: "Svakako je nemoguće da teorijski fizičar, pa makar imao i neograničenu moć izračunavanja, dedukuje iz zakona fizike da će jedna kompleksna struktura biti svesna svog postojanja."

Moram priznati da ja, lično, nalazim da je ovo pitanje užasno teško, a za njega i nisam stručnjak. Ali mislim da se ne slažem ni sa Pipardom ni sa drugima koji su istog gledišta. Jasno je da postoji ono što bi književni kritičar mogao nazvati 'objektivna korelativa' svesti: naime, izvesne fizičke i hemijske promene u mom mozgu, koje ja opažam i za koje uviđam da su u korelaciji (kao uzrok, ili kao posledica) sa promenama u mojim svesnim mislima. Sklon sam da se smeškam kad sam zadovoljan; moj mozak pokazuje jednu električnu aktivnost kad sam budan, a drugu, drugačiju, kad spavam; hormoni u mojoj krvi navode me na jaka osećanja; ponekad i kažem ono što mislim. Te nabrojane stvari nisu svest sama; nikad ne bih mogao iskazati osmesima, moždanim talasima, hormonima, a ni rečima, kakvo je to osećanje biti srećan ili tužan. Ali ako za trenutak ostavimo po strani svest, čini se razumno da pretpostavimo da te objektivne korelative svesti možemo proučavati naučnim metodima, i da ćemo ih ranije ili kasnije objasniti u terminima fizike i hemije mozga i tela. (Kad kažem 'objasniti', to ne znači da ćemo baš biti sposobni da predvidimo sve ili da predvidimo mnogo; ali razumećemo zašto osmesi, moždani talasi i hormoni rade tako kako rade, u istom smislu u kome razumemo dejstvovanje vremenskih prilika u našoj atmosferi, iako nismo sposobni da predvidimo vreme za sledeći mesec.)

U samom Pipardovom Kembridžu ima jedna grupa biologa, na čijem čelu je Sidni Brenner, koja je ustanovila potpun dijagram nervnog sistema jednog malog glatkog crva *C. elegans*. Oni, dakle, već imaju osnovu da, u izvesnom smislu, daju kompletan odgovor zašto taj crvić radi ono što radi. (Samo još nemaju program zasnovan na tom dijagramu nervnog sistema sposoban da generiše ono isto ponašanje koje se kod crvića stvarno vidi.) Jasna je stvar da crvić nije ljudsko biće. Ali između crvića i ljudskog bića postoji

jedan kontinuum životinja sa sve složenijim nervnim sistemima, u kome su i insekti, i ribe, i miševi, i čovekoliki majmuni. Gde bismo, tačno, mogli povući liniju razgraničenja?

Pretpostavimo, dakle, da ćemo pomoću fizike (u koju ćemo uključiti i hemiju) shvatiti objektivne korelative svesti i da ćemo takođe razumeti kojim procesima evolucije su ti objektivni korelativi postali ovo što jesu. Onda nije nerazumno nadati se da kad objektivni korelativi svesti budu objašnjeni, mi možemo negde u tim objašnjenjima primetiti nešto, neki fizički sistem za obradu informacija, što odgovara našem iskustvenom znanju o svesti samoj - naime onome što je Gilbert Rajl (Gilbert Ryle) opisao sintagmom 'duh u mašini'. Možda to neće biti objašnjenje svesti, ali biće nešto veoma blisko objašnjenju.

Nema nikakvih jemstava da će napredak u drugim poljima nauke biti neposredno potpomognut ma kojim novim postignućima u istraživanju elementarnih čestica. Ali (ponavljam ovo, i ponavljaću) mene ovde ne zanima toliko šta naučnici rade, jer njihov rad odražava ljudske ograničene sposobnosti i ljudska ograničena zanimanja, koliko me interesuje logički poredak ugrađen u samu prirodu. E, u tom smislu se može kazati da neke grane fizike, kao što je termodinamika, i neke druge nauke, kao što su hemija i biologija, jesu zasnovane na dubljim zakonima, a ponajviše na zakonima fizike čestica.

Govorim ovde o logičkom poretku u prirodi i prećutno zauzimam jedan položaj koji bi istoričar filozofije nazvao 'realistički' - ne u onom današnjem smislu da je realist čovek koji uporno i bez privida sagledava svu tvrdoću stvarnosti, nego u jednom daleko starijem značenju te reči - naime, da je realist onaj čovek koji veruje da apstraktne zamisli imaju svoje stvarno postojanje. Srednjovekovni realist verovao je da stvarno postoje izvesne univerzalije kao što su, na primer, Platonove forme; suprotna su bila uverenja nominalista, recimo Viljema od Okama (William of Ockham), koji je proglasio da su Platonove forme samo reči i ništa više. (Ovo moje upotrebljavanje izraza realizam i realist obradovalo bi jednog od mojih najomiljenijih pisaca, viktorijanca Džordža Gisinga /George Gissing/, koji je priželjkivao da "reči realizam i realist nikad više ne budu upotrebljene, osim u svom pravom značenju, kako su odredili pisci sholastičke filozofije.") Nipošto ne bih da u ovu raspravu uđem na strani Platona. Ja ovde samo zastupam tvrdnju da zakoni fizike stvarno postoje, a protivim se modernim pozitivistima, koji priznaju da je stvarno samo ono što se može neposredno opaziti.

Kad kažemo da je jedna stvar stvarna, mi, naprosto, iskazujemo jednu vrstu poštovanja. Naime, hoćemo da kažemo da tu stvar moramo uzimati za ozbiljno, jer bi ona mogla delovati na nas na razne, pa i nepoželjne načine, a i zato što ne možemo saznavati o toj stvari činjenice bez ulaganja određenog truda koji ne može biti samo u našoj mašti. Ovo važi, recimo, za stolicu na kojoj sedim (filozofi se rado služe ovim primerom) i, zapravo, i nije neki jak dokaz da je ta stolica stvarna, ali jeste objašnjenje šta mi mislimo kad kažemo da je stvarna. Kao fizičar, ja sagledavam naučna objašnjenja i zakone kao stvari koje jesu ono što jesu i koje se ne mogu usput izmišljati kako kome padne na pamet; dakle, moj odnos prema pomenutim zakonima ne razlikuje se mnogo od mog odnosa prema stolici na kojoj sedim, i ja zato pridajem zakonima prirode (čija aproksimacija jesu naši današnji zakoni) tu čast da ih smatram stvarnim. Ovaj utisak se pojačava kad se pokaže da neki zakon nije baš ono što smo mislili, a to vam je doživljaj kao kad sednete i otkrijete da vam je neko izmakao stolicu. Ali moram priznati da je moja spremnost da priznajem zakonima da su 'stvarni' donekle slična spremnosti engleskog

političara Lojda Džordža (Lloyd George) da deli ljudima plemićke titule: zasnovana je na mom uverenju da uopšte nije bitno da li ću ja to priznavati ili ne.

Ova rasprava o stvarnosti zakona prirode mogla bi biti kudikamo manje akademska ako bismo uspostavili kontakt sa drugim inteligentnim bićima na dalekim planetama, i to sa bićima koja su takođe došla do naučnih objašnjenja za prirodne pojave. Da li bismo ustanovili da su oni otkrili iste zakone prirode? Kakve god zakone otkrili, vanzemaljci bi ih, naravno, iskazivali drugim jezikom i drugim sistemom beleženja, ali mi bismo ipak mogli zapitati ima li neke podudarnosti između njihovih zakona i naših. A ako bi je bilo, ko bi onda mogao poricati da ti zakoni postoje objektivno i stvarno.

Naravno, ne znamo kakav bi bio taj odgovor, ali ovde na Zemlji već smo videli jedan mali probni slučaj nečeg sličnog. Ono što nazivamo moderna fizika započelo je, iz nekog razloga, u Evropi krajem šesnaestog veka. Oni koji sumnjaju u stvarnost zakona prirode trebalo bi da očekuju da su drugi delovi sveta, držeći se svojih jezika i vera, imali i svoje zasebne naučne tradicije, pa da su zato i razvili zakone fizike sasvim drugačije od evropskih. A to se, naravno, nije dogodilo: fizika modernog Japana i Indije ista je kao evropska i američka fizika. Priznajem da ovaj argument nije u celosti ubedljiv, jer je zapadna civilizacija duboko uticala na ceo svet, i to u mnogo čemu, od organizovanja vojske do oblačenja farmerica. Pa ipak, ja sam slušao rasprave o teoriji kvantnog polja ili o slabom međudejstvu u fakultetskim prostorijama u Cukubi, kao i u Bombaju, i to iskustvo mi daje moćan utisak da zakoni fizike imaju svoje sopstveno postojanje.

Naše otkriće povezanih konvergentnih obrazaca naučnih objašnjenja ima duboke implikacije, i to ne samo za naučnike. Naporedo sa glavnim tokom naučnog znanja, postoje i izolovane barice nečega što ću (hajde da se neutralno izrazim) nazvati 'onim što bi želelo biti nauka'. To su astrologija, prekognicija, 'kanalisanje', vidovitost, telekineza, kreacionizam, i razni srodnici pomenutih. Ako bi se moglo pokazati da ima iole istine u ma kojoj od pomenutih stvari, bilo bi to otkriće veka, daleko uzbudljivije i važnije od svega što se danas dešava u normalnom fizičarskom radu. Pa šta onda treba građanin da pomisli kad neki profesor, ili filmska zvezda, ili knjiga iz 'Tajm-Lajf' edicije kaže da jedna od tih nazovinauka jeste istinita?

Uobičajeni odgovor na ovo bio bi da treba oprobati valjanost iznetih dokaza i pri tom biti čovek otvorenog uma, bez teorijskih predrasuda. Ja ne smatram da je to koristan odgovor, ali čini se da je široko prihvaćen. Rekoh u nekom TV intervjuu jednom prilikom da verovati u astrologiju znači okrenuti leđa celokupnoj modernoj nauci. I dobih posle toga učtivo pismo od jednog bivšeg hemičara i metalurga u Nju Džersiju koji mi je zamario što nisam lično proučio dokaze u prilog astrologije. Slično tome, kad je Filip Anderson (Philip Anderson) nedavno napisao omalovažavajući članak o verovanju u vidovitost i telekinezu, ukorio ga je jedan njegov kolega sa Prinstona, Robert Džan (Robert Jahn), koji je, reče, vršio opite sa 'anomalijskim pojavama u vezi sa svešču'. Džan se požalio: "Iako je njegova (Andersonova) radna soba samo koju stotinu metara daleko od moje, on nije posetio našu laboratoriju, nije neposredno sa mnom popričao o našim delatnostima, pa, čini se, čak nije ni pažljivo pročitao našu tehničku literaturu."

Ono što Džan, i taj hemičar u Nju Džersiju i drugi njihovi istomišljenici previdaju jeste osećanje povezanosti naučnog znanja. Mi ne razumemo baš sve, ali razumemo dovoljno toga da znamo da u našem svetu nema mesta za telekinezu ili astrologiju. Kakav bi to fizički signal iz našeg mozga mogao pokretati udaljene predmete, a ipak ne delovati ni na jedan naučni instrument? Branioci astrologije ponekad ukazuju na nesumnjivo

dejstvo Meseca i Sunca na plimu, ali dejstvo gravitacionih polja drugih planeta sasvim je slabašno da bi moglo приметно uticati čak i na Zemljine okeane, a da i ne govorimo o nečemu tako malenom kao što je jedna osoba. (Neću gubiti vreme u dokazivanju ovoga, ali ću reći da slične primedbe važe za svaki pokušaj da se terminima standardne nauke objasni vidovitost, prekognicija ili bilo koja od nazovinauka.) U svakom slučaju, korelacije koje astrolozi predviđaju nisu od one vrste koja bi mogla nastati zbog nekih veoma tananih gravitacionih dejstava; astrolozi ne tvrde samo da pojedini razmeštaji planeta utiču na život ovde na zemlji, nego i to da se ta dejstva razlikuju od čoveka do čoveka, u zavisnosti od datuma rođenja! Ja, zapravo, i ne smatram da većina onih koji veruju u astrologiju misli da astrologija dejstvuje pomoću gravitacije, ili pomoću ma koje druge sile poznate fizici; mislim da oni smatraju da je astrologija jedna autonomna nauka, sa svojim sopstvenim temeljnim zakonima, i da ne može biti objašnjena ni fizikom ni ma čim drugim. Kad smo otkrili veliki obrazac naučnog objašnjavanja, to nam je bilo korisno između ostalog i zato što smo uvideli da ne postoji nijedna autonomna nauka.

Pa ipak, zar ne bi trebalo da ispitamo astrologiju, telekinezu i sve to, kako bismo se uverili da u takvim verovanjima nema ničega? Ja nemam ništa protiv da svako ispita šta god hoće, ali rado bih objasnio zašto ja ne želim da se zamajavam time, niti to ikome preporučujem. U svakom trenutku pred nama se pojavljuje široka raznovrsnost novih zamisli za kojima bismo mogli krenuti; ne samo astrologija i njoj slične stvari, nego i mnoge ideje daleko bliže glavnom toku nauke, i mnoge koje se sasvim uklapaju u moderno naučno istraživanje. Zalud je pričati da bi dobro bilo oprobati valjanost svih njih; za to, naprosto, nema vremena. Meni poštom stiže svake nedelje pedesetak nacrti za članke o fizici elementarnih čestica, i o astrofizici; a stižu i članci i pisma iz svakojakih oblasti tobožnje nauke. Čak i kad bih se ostavio svakog drugog posla u životu, ne bih mogao ni početi pošteno razmatrati sve te ideje. Šta čovek može? Nije to samo problem naučnika, svako se nalazi pred sličnim problemima. Svi mi, hteli-ne hteli, moramo oceniti, koliko najveštije umemo, za kojim zamislima вреди ići; možda ćemo naći da za većinom ne вреди. A da bismo ovo uspešno radili, pomaže nam ponajviše obrazac naučnog objašnjavanja.

Kad su španski naseljenici u Meksiku počeli u šesnaestom veku da nadiru na sever, u zemlju koja se zvala samo Tehas, vodile su ih glasine o gradovima od zlata, o sedam gradova Cibole. U ono doba, to i nije bilo tako nerazumno. Malo koji Evropljanin bio je u Tehasu, možda nijedan; ko je mogao znati kakva sve čudesa postoje ili ne postoje tamo. Ali pretpostavimo da neko danas javi o dokazima da negde u modernom Teksasu postoji sedam zlatnih gradova. Da li biste vi, kao osoba bez predrasuda, preporučili da se pokrene pohod i zađe u svaki kutak države između Crvene reke i Rio Grande sa zadatkom da se traže ti gradovi? Mislim da biste ocenili da mi o Teksasu znamo već sasvim dovoljno i da je toliki deo njega istražen i naseljen, da naprosto ne вреди tragati za tajanstvenim zlatnim varošima. Pa, eto, isto tako, naše otkriće povezanog i konvergentnog obrasca naučnih objašnjenja poučilo nas je (a to nam je bilo vrlo korisno) da u prirodi nema prostora za astrologiju, telekinezu, kreacionizam i druga sujeverja.

3. DVAPUT URA ZA REDUKCIONIZAM

Draga, ti i ja znamo
zašto je letnje nebo plavo,

i zašto na drveću ptice
cvrkuću svoje melodijice.

Meredith Wilson, Ti i ja

Ako tako ideš i pitaš zašto ovo, zašto ono, a kad ti se objasni pomoću naučnih načela, ti onda pitaš zašto su ta načela tačna, i ako navaljuješ i dalje, kao nevaspitano dete - zašto? zašto? zašto? - ranije ili kasnije neko će reći da si redukcionist. Raznim ljudima ta reč znači različite stvari, ali koliko ja znam, jedna zajednička crta svih predstava o redukcionizmu jeste svest o izvesnoj hijerarhiji u kojoj se neke istine, koje su manje temeljne, mogu svesti na neke druge, temeljnije istine, kao što se hemija može svesti na fiziku. Redukcionizam je postao standardna Rđava Stvar u politici nauke; Naučni savet Kanade nedavno je napao članove Koordinacionog odbora za poljoprivredu, tvrdeći da su pod uticajem redukcionista. (A to je verovatno trebalo značiti da Koordinacioni odbor suviše forsira biologiju i hemiju biljaka.) Fizičari elementarnih čestica naročito su izloženi napadima ove vrste; nesklonost prema redukcionizmu često je kvarila odnose između njih i drugih naučnika.

Protivnici redukcionizma imaju širok spektar različitih ideoloških polazišta. Na razumnom kraju nalaze se oni koji upućuju zamerke nekim naivnijim oblicima redukcionizma. Sa takvima se i ja slažem. Smatram da sam redukcionist, ali ne mislim da su problemi fizike elementarnih čestica jedini zanimljivi i duboki u nauci, pa čak ni u fizici. Ne smatram da hemičari treba da bace iz ruku sav drugi svoj posao i posvete se samo rešavanju kvantnomehaničkih jednačina za razne molekule. Ne verujem da biolozi treba da odbace razmišljanja o celim biljkama i životinjama, pa da gledaju samo ćelije i DNK. Za mene, redukcionizam nije linija-vodilja u naučnoistraživačkom radu, nego je jedan stav prema prirodi samoj. Redukcionizam nije ništa manje ili više nego uviđanje da naučna načela jesu onakva kakva jesu zbog dubljih naučnih načela (i, u nekim slučajevima, zbog istorijskih slučajnosti), i da se sva ta načela mogu pratiti unazad do jednog jednostavnog skupa međusobno povezanih zakona. U ovom trenutku u istoriji nauke, čini se da najbolji način za pristupanje tim zakonima jeste kroz fiziku elementarnih čestica, ali to je jedan nebitan vid redukcionizma i mogao bi se jednog dana promeniti.

Na suprotnom kraju tog spektra jesu oni protivnici redukcionizma koji su zgroženi pojavom što, prema njihovom mišljenju, predstavlja sumornost, tmuran izgled moderne nauke. Kad god se njihov svet svede na pitanja fizike čestica ili polja i njihovih međudejstava, ti ljudi se osećaju u istoj toj meri umanjeni. Podzemni čovek Dostojevskog zamišlja naučnika koji mu govori: "Priroda sa tobom ne razmenjuje mišljenje; baš nju briga šta ti želiš, i da li su njeni zakoni tebi po volji ili ne. Moraš ovo prihvatiti tako kako jeste..." A čovek mu odgovara: "Bože blagi, pa šta je mene briga za sve zakone prirode i aritmetike ako ih, iz nekog razloga, ne volim..." Svojevrsan repić na ovom kraju spektra, ludačka krajnost, jesu oni kojima je u glavi 'holistika', uverenje da postoje psihoenergije, životne sile koje se ne mogu obuhvatiti zakonima obične, nežive prirode. Neću pokušavati da odgovorim takvim kritičarima nikakvim ohrabrujućim govorom o lepotama moderne nauke. Redukcionistički pogled na svet jeste leden i bezličan. Mora biti prihvaćen takav kakav jeste, ne zato što nam se dopada, nego zato što svet tako dejstvuje.

U sredini spektra antiredukcionista nalazi se jedna grupa ljudi koja je manje nezainteresovana, a daleko značajnija. To su oni naučnici koji se razbesne kad im neko kaže da se njihova grana nauke zasniva na dubljim zakonima fizike elementarnih čestica.

Već godinama se ja raspravljam o redukcionizmu sa jednim mojim dobrim prijateljem, evolucionim biologom Ernstom Mejrom, koji nam je dao, između ostalog, našu najbolju upotrebljivu definiciju šta je to živa vrsta. Naše rasprave počele su kad se, u jednom svom članku iz 1985, on obrušio na jedan red teksta koji sam ja napisao u časopisu Scientific American godine 1974. U tom članku sam napomenuo da se mi, u fizici, nadamo da ćemo naći nekoliko jednostavnih opštih zakona koji bi objasnili zašto priroda jeste takva kakva jeste; i još sam rekao da, za sada, najbliže što uspevamo prići objedinjenom pogledu na prirodu jeste opis elementarnih čestica i njihovih međudejstava. U svome članku, Mejr je ovo nazvao 'jezivom ilustracijom fizičarskog načina razmišljanja', a za mene rekao da sam 'beskompromisan redukcionist'. Odgovorio sam člankom u časopisu Nature da sam ne beskompromisan nego kompromisan redukcionist.

Usledila je frustrirajuća prepiska, u kojoj je Mejr skicirao jednu klasifikaciju nekoliko različitih vrsta redukcionizma i identifikovao moju podvrstu te jeresi. Ja njegovu klasifikaciju nisam baš razumeo; meni su sve Mejrove kategorije zvučale isto, a nijedna nije opisivala moje poglede. Dok, sa svoje strane (tako se meni činilo), Mejr nije razumeo distinkcije koje sam ja pravio između redukcionizma kao opšteg recepta za napredak u nauci, što nije moje uverenje, i redukcionizma kao izjave o poretku u prirodi, što jeste, po mom mišljenju, naprosto istinito. Koliko ja shvatam, Mejr pravi razliku između tri vrste redukcionizma: jedno bi bio konstitutivni redukcionizam (ili ontološki, ili analitički), koji je metod proučavanja jednog objekta tako što se neprestano pitamo od kojih je osnovnih sastojaka načinjen; drugo bi bio redukcionizam teorija, koji se trudi da celu jednu teoriju objasni pomoću neke druge, obuhvatnije; a treće bi bio eksplanatorni redukcionizam - naime, gledišta da "već i samo znanje o najsitnijim sastojcima jednoga složenog sistema jeste dovoljno da taj sistem objasnimo". Glavni razlog što ja ovu kategorizaciju odbacujem jeste sledeći: nijedna od te tri kategorije nema mnogo veze sa onim što ja pričam (mada bi 'redukcionizam teorija' valjda bio najbliži). Sve tri Mejrove kategorije definisane su onim što naučnici stvarno rade, ili su uradili, ili bi mogli uraditi; a ja govorim o prirodi samoj. Na primer, iako fizičari ne mogu da uzmu u šake neki vrlo složeni molekul kao što je DNK i objasne, konkretno, jasno i glasno ceo njegov sastav terminima kvantne mehanike, elektrona, jezgra atoma i električnih sila, i iako ostaje hemija koja ume i može svojim jezikom, i svojim konceptima, da objasni taj molekul, ipak u hemiji ne postoji nijedno autonomno načelo koje bi bilo, naprosto, jedna nezavisna istina, neoslonjena na dublja načela fizike. Mejr i ja razgovaramo, i danas, prijateljski jedan s drugim, ali smo odustali od pokušaja da preobratimo jedan drugog.

Najozbiljnije posledice na američko planiranje naučnog rada imao je antiredukcionizam unutar same fizike. Ono što redukcionisti govore o važnosti fizike elementarnih čestica, fizičare aktivne u nekim drugim poljima fizike ponekad veoma nervira - na primer, one koji rade na polju kondenzovane materije; osećaju da se moraju finansijski nadmetati sa fizikom elementarnih čestica da bi dobili veći udeo u naučnim budžetima. Ove raspre su podignute na novi, još viši nivo zle volje kad je predloženo da se milijarde dolara potroše na novi akcelerator čestica, superprovodni superkolajder. Godine 1987, izvršni direktor službe za odnose sa javnošću pri Američkom fizičkom društvu, izjavio je da je projekat superkolajdera "možda najprotivrečnije pitanje koje se

ikad postavilo pred zajednicu fizičara". Dok sam radio kao član Nadzornog odbora za projekat superkolajdera, zajedno sa drugim članovima tog odbora morao sam poprilično objašnjavati javnosti ciljeve našeg projekta. Jedan od članova odbora ubeđivao nas je da ne treba da stvaramo utisak da je, prema našem mišljenju, fizika elementarnih čestica temeljnija od drugih polja, jer to samo ljuti naše prijatelje u drugim oblastima fizike.

Razlog što mi smatramo da je fizika elementarnih čestica temeljnija od drugih oblasti fizike jeste taj što ona to i jeste. Ne znam kako bih branio trošenje tolikih para na fiziku čestica, a da ne kažem sasvim otvoreno tu istinu. Ali kad kažem da je fizika čestica suštinskija, ja time ne mislim da je ona matematički dublja, ili da je potrebija za napredak u drugim oblastima, nego samo mislim da je bliža tački konvergencije svih naših strelica objašnjenja.

Predvodnik među fizičarima kojima se ne dopadaju pretenzije fizike čestica jeste Filip Anderson (Philip Anderson) koji radi u 'Belovim' laboratorijama i u Prinstonu, teorijski fizičar od koga su potekle mnoge među najprodornijim zamislama u savremenoj fizici kondenzovane materije (a to je fizika poluprovodnika, superprovodnika i takvih stvari). Anderson je svedočio protiv superkolajdera pred istim onim kongresnim odborom pred kojim sam svedočio i ja godine 1987. Njegovo je mišljenje bilo (a takvo je i moje) da Nacionalna zadužbina za nauku (National Science Foundation, NSF) daje nedovoljno novaca za istraživanja u oblasti kondenzovane materije. Njegovo je uverenje bilo (a takvo je i moje) da mnoge diplomirane studente zavede sjaj fizike elementarnih čestica, iako bi mogli imati uspešnije naučne karijere u kondenzovanoj materiji i srodnim oblastima. Međutim, Anderson je nastavio sledećim rečima: "...oni (rezultati fizike čestica) nisu ni u kom smislu temeljniji od onoga što je Alen Taring (Alan Turing) postigao kad je osnovao računarstvo, ili što su postigli Frensis Krik i Džejsms Votson (James Watson) otkrivajući tajnu života."

Nisu ni u kom smislu temeljniji? Na tom mestu se putevi Andersonovi i moji razilaze. Neću raspravljati o radu Taringa i o počecima kompjuteristike, koja meni više liči na deo matematike i tehnologije nego na uobičajeni istraživački rad u prirodnim naukama. Matematika sama po sebi nikad ne objašnjava ništa - ona je samo sredstvo kojim se možemo poslužiti da bismo jedan skup činjenica objasnili nekim drugim skupom činjenica, a ujedno ona je i jezik kojim ta objašnjenja kazujemo. Ali Andersonov opis rada Krika i Votsona, koji su otkrili udvojenu heliksnu strukturu molekula DNK (a to je mehanizam koji čuva i prenosi genetske informacije) kao 'tajne života', daje mi municiju da nastavim raspravu. Upravo taj njegov opis otkrića DNK izgledao bi nekim biologima kao redukcionistička zabluda, u jednakoj meri u kojoj pretenzije fizičara čestica izgledaju Andersonu kao redukcionistička zabluda. Jer, na primer, Hari Rubin (Harry Rubin) je napisao pre nekoliko godina da je "DNK revolucija navela celo jedno pokolenje biologa na uverenje da celokupna tajna života leži u strukturi i dejstvovanju DNK. Takvo njihovo uverenje je neumesno, a redukcionistički program se mora dopuniti novim konceptualnim okvirom." Moj prijatelj Ernst Mejr se godinama borio protiv redukcionističkih trendova u biologiji, koji, plaši se on, pokušavaju svesti sve što mi o životu znamo na proučavanje samo DNK; zato on kaže da "nesumnjivo, hemijska priroda nekoliko crnih kutija u klasičnoj genetskoj teoriji jeste popunjena otkrićem DNK, RNK i drugih, ali to nije nimalo uticalo na transmisiju genetiku".

Neću se upuštati u tu raspravu među biologima, a ponajmanje na strani antiredukcionista. Nema sumnje da je DNK bila od ogromne važnosti u mnogim

oblastima biologije. Pa ipak, postoje neki biolozi na čije poslove ne deluju neposredno ta molekularno-biološka otkrića. Poznavanje strukture DNK neće nešto naročito koristiti populacionom ekologu koji pokušava da objasni raznovrsnost biljnih vrsta u tropskoj džungli ili biomehaničaru koji se trudi da objasni kako leptiri lete. Moja poenta jeste da, čak i kad nijednom biologu ne bi bilo nimalo korisno nijedno otkriće molekularne biologije, ipak bi Anderson bio u pravu, u jednom značajnom smislu, u pogledu onoga što je rekao o tajni života. Nije stvar u tome da je otkriće DNK bilo bitno za nauku o životu, nego u tome da je DNK, sama po sebi, bitna za život sam, sav život i svaki život. Živa bića jesu onakva kakva jesu zato što su prirodnim odabiranjem i evolucijom postala takva, a evolucija ja moguća zato što osobine DNK i sa njom povezanih molekula dozvoljavaju organizmima da svoje genetske planove prenose na svoje potomstvo. U tačno istom smislu, znamo da bez obzira na to jesu li ili nisu otkrića u oblasti fizike čestica korisna svim drugim naučnicima, načela fizike čestica jesu u temelju vaskolike prirode.

Oponenti redukcionizma često se oslanjaju na argument da otkrića u oblasti fizike elementarnih čestica najverovatnije neće biti korisna naučnicima na drugim poljima. Istorijski dokazi ne podržavaju takvo gledište. Fizika elementarnih čestica u prvoj polovini ovog veka bila je, velikim delom, fizika elektrona i protona, i imala je ogroman, neosporan uticaj na naše razumevanje materije u svim njenim oblicima. Otkrića u današnjoj fizici elementarnih čestica imaju već sad značajan uticaj na kosmologiju i astronomiju - na primer, mi koristimo naše poznavanje raspoloživih raznovrsnih elementarnih čestica da bismo izračunali koliko je kojih hemijskih elemenata proizvedeno u prvim minutima postojanja Vaseljene. Niko ne može reći kakvi dalji rezultati mogu nastati.

Ali čisto u svrhe rasprave, pretpostavimo da više nijedno otkriće fizike čestica neće uticati na rad naučnika u ma kom drugom polju. Ipak bi fizika čestica ostala izuzetno značajan posao. Znamo da je evolucija živih bića omogućena osobinama DNK i drugih molekula, i da osobine svakog molekula jesu onakve kakve jesu zbog osobina elektrona i atomskih jezgara i električnih sila. A zašto te stvari jesu takve kakve jesu? Ovo je donekle objašnjeno standardnim modelom elementarnih čestica, a mi sada želimo načiniti sledeći korak i objasniti i standardni model, i načela relativnosti i drugih simetrija na kojima je on zasnovan. Ne razumem kako ikome ovo može ne izgledati značajno, ikome ko je radoznao da sazna zašto je svet takav kakav jeste, sasvim nezavisno od eventualne veće ili manje korisnosti fizike čestica ma kojim drugim naučnicima.

Uistinu, elementarne čestice same po sebi nisu osobito zanimljive, ili bar ne u onom smislu u kome su ljudi zanimljivi. Elektroni se između sebe razlikuju po impulsu i po spinu; izuzimajući te dve osobine, svaki elektron u Vaseljenu sasvim je isti kao i svaki drugi: kad si video jedan elektron, video si ih sve. Ali upravo ova jednostavnost nagoveštava da elektroni nisu, kao ljudska bića, sastavljeni od mnogobrojnih osnovnijih delića, nego da su nešto nalik na najosnovnije sastavne deliće svega ostalog. Upravo zato što su tako dosadne, elementarne čestice su tako zanimljive; njihova jednostavnost nagoveštava da ćemo, proučavajući ih, doći bliže sveobuhvatnom razumevanju prirode.

Možda će primer sa superprovodljivošću na visokim temperaturama pomoći da objasnimo u kakvom to posebnom, ograničenom značenju fizika elementarnih čestica jeste temeljnija od drugih grana fizike. U ovom trenutku, Anderson i drugi fizičari

kondenzovane materije pokušavaju da shvate zbujujuću istrajnost superprovodljivosti u izvesnim jedinjenjima bakra, kiseonika i nekih neobičnijih elemenata na temperaturama daleko iznad onih koje su svojevremeno smatrane mogućim. U isto vreme, fizičari elementarnih čestica pokušavaju da shvate poreklo mase koju imaju kvarkovi, elektroni i druge čestice u standardnom modelu. (Gle čuda, ta dva problema su matematički povezana; kao što ćemo videti, oba se svode na pitanje kako se izvesne simetrije u odgovarajućim jednačinama gube tokom rešavanja tih jednačina.) Nema sumnje da će fizičari kondenzovane materije ranije ili kasnije rešiti problem superprovodljivosti pri visokim temperaturama, čak i bez ikakve neposredne pomoći fizičara elementarnih čestica, a kad jednog dana fizičari elementarnih čestica shvate poreklo mase, biće to, najverovatnije, bez ikakve neposredne pomoći fizičara kondenzovane materije. Razlika između ta dva problema sastoji se u tome što, kad fizičari kondenzovane materije budu konačno objasnili superprovodljivost pri visokim temperaturama - ma kakve nove i zadivljujuće ideje smislili usput - njihovo objašnjenje moraće na kraju da ima oblik matematičke demonstracije koja izvodi postojanje ove pojave iz poznatih osobina elektrona, fotona i atomskih jezgara; za razliku od toga, kad fizičari čestica budu konačno objasnili poreklo mase u standardnom modelu, objašnjenje će biti zasnovano na nekim vidovima tog modela koji nam danas nisu ni približno jasni i koje ne možemo doznati (mada možemo nagađati) bez novih podataka iz instrumenata kao što je superkolajder. Tako fizika elementarnih čestica predstavlja krajnju granicu domašaja našeg znanja, na jedan način na koji to fizika kondenzovane materije ne predstavlja.

Ovo nije, samo po sebi, odgovor na pitanje kako treba raspoređivati pare iz budžeta za istraživanje. Ljudi se u naučno istraživanje upuštaju iz mnogo različitih pobuda - zbog korisnih primena u medicini i tehnologiji, zbog nacionalnog prestiža, matematičarskog 'sportskog duha', pa i zbog čiste radosti shvatanja divnih pojava - što nam daju i druge nauke, u jednakoj meri kao (a ponekad i više nego) fizika elementarnih čestica. Fizičari čestica ne smatraju da im izuzetno temeljna priroda njihovog posla daje pravo da prvi zahvataju iz državne kase, ali smatraju da ta temeljnost jeste jedan činilac koji se ne može naprosto prenebreći kad se donose odluke o finansiranju naučnog rada.

Možda najpoznatiji pokušaj da se odrede neka merila za donošenje takvih odluka jeste pokušaj Alvina Vajnberga (Alvin Weinberg). Alvin Vajnberg i ja jesmo prijatelji, ali nismo rođaci. Godine 1966, kad sam prvi put bio u poseti Harvardu, našao sam se na ručku u klubu univerzitetskih nastavnika sa pokojnim Džonom Van Vlekom (John Van Vleck), starijim fizičarem robustnog i patricijskog držanja koji je među prvima primenio nove metode kvantne mehanike na teoriju čvrstog stanja u poznim dvadesetim godinama. Van Vlek me je pitao jesam li rod onome Vajnbergu. Ovo me je malo zbunilo, ali razumeo sam ga; u to vreme bio sam, otprilike, mladunac među teoretičarima, a Alvin je bio direktor Nacionalne laboratorije Ouk Ridž. Posegnuo sam u svoje rezerve drskosti i odgovorio da sam ja onaj Vajnberg. Nisam ga nešto mnogo impresionirao. U jednom članku iz 1964, on je ponudio ovo uputstvo: "Ja bih stoga izoštrio kriterijum naučne vrednosti predlogom da, ako su svi drugi elementi izjednačeni, ono polje ima najveću naučnu vrednost, koje najviše doprinosi susednim naučnim disciplinama i najviše ih obasjava" (podvukao Alvin). Kad je pročitao jedan moj članak o tim pitanjima, Alvin mi je pisao da me podseti na ovu svoju zamisao. Ja je nisam zaboravio, ali se nisam sa njom ni složio. Moje je mišljenje, a tako sam i u odgovoru Alvinu napisao, da bi se takvom vrstom rezonovanja moglo pravdati trošenje milijardi dolara na klasifikaciju leptirova u

Teksasu, sa obrazloženjem da će ono osvetliti klasifikaciju leptirova i severno od Teksasa - u Oklahomi, kao i klasifikaciju leptirova uopšte. Neozbiljan i smešan primer, ali namera je samo da ilustrujem da jedan nezanimljiv naučni projekt ne postaje mnogo privlačniji ako kažemo da će nam olakšati sprovođenje drugih takođe nezanimljivih projekata. (Sad sam verovatno nagrajsao kod lepidopterista koji bi upravo želeli da potroše milijarde dolara na klasifikovanje leptirova u Teksasu.) Ali ono što mi stvarno nedostaje u kriterijumu Alvina Vajnberga za odбір najkorisnijih naučnih poduhvata jeste redukcionistička perspektiva: uviđanje da jedno od merila zanimljivosti jednog naučnog projekta jeste njegova sposobnost da nas povede bliže tački gde sva naša objašnjenja konvergiraju.

Pojedina pitanja iz ove rasprave o redukcionizmu u fizici korisno je pokrenuo autor Džejms Glajk. (On je predstavio širem čitalištu fiziku haosa.) U jednom svom nedavnom istupanju, Glajk kaže:

Haos je antiredukcionistički. Ova nova nauka izlaže jednu veliku tvrdnju o svetu: naime, kad se dođe do najzanimljivijih pitanja, pitanja o redu i neredu, raspadu i stvaranju, o uspostavljanju obrazaca, pa i o životu samom, celina ne može da se objasni pomoću svojih delova.

O složenim sistemima postoje izvesni temeljni zakoni, ali to su zakoni nove vrste. Zakoni strukture, organizacije i razmere, koji naprosto iščeznu kad svoj pogled usmerite na pojedinačne komponente sistema - baš kao što i psihologija rulje koja je krenula da nekoga linčuje iščezne kad dovedete samo jednoga učesnika na razgovor, pa zatim drugog, opet samog, i tako dalje.

Ja bih odgovorio, prvo, da su različita pitanja zanimljiva na različite načine. Naravno da su pitanja o životu i kreativnosti zanimljiva zato što smo mi živi i zato što bismo voleli biti kreativni. Ali ima i drugih pitanja koja su zanimljiva zato što nas nose bliže tački konvergencije naših objašnjenja. Otkrivanje izvora Nila nije nimalo olakšalo probleme egipatske poljoprivrede, ali ko može reći da nije bilo zanimljivo?

Osim toga, promašuje se poenta ako se u pitanjima te vrste kaže da se celina može ili ne može 'objasniti pomoću svojih delova'; proučavanje kvarkova i elektrona je temeljno ne zato što je sva obična materija sastavljena od kvarkova i elektrona, nego zato što smatramo da ćemo, proučavajući kvarkove i elektrone, saznati nešto o načelima koja upravljaju svim stvarima. (Jedan opit u kome su elektroni ispaljivani na kvarkove u atomskim jezgrima konačno je dokazao opravdanost moderne objedinjene teorije za dve od četiri temeljne sile prirode, i to za slabo nuklearno međudejstvo i za elektromagnetnu silu.) Zapravo, fizičar elementarnih čestica danas posvećuje veću pažnju neobičnijim česticama, koje nisu prisutne u običnoj materiji, nego kvarkovima i elektronima, koji jesu; a to iz razloga što smatramo da u ovom trenutku pitanja na koja treba odgovoriti mogu biti bolje osvetljena proučavanjem tih egzotičnih čestica. Kad je Ajnštajn svojom opštom teorijom relativnosti objasnio prirodu gravitacije, on to nije "objasnio pomoću njenih delova" nego pomoću geometrije prostora i vremena. Moguće je da će fizičari u dvadeset prvom veku naći da proučavanje crnih rupa ili gravitacionog zračenja otkriva više o zakonima prirode nego fizika elementarnih čestica. Naša sadašnja usredsređenost

baš na elementarne čestice stvar je naše taktičke ocene da u ovom trenutku u istoriji nauke to jeste način da se napreduje ka konačnoj teoriji.

Najzad, tu je i pitanje izranjanja: da li je stvarno istina da postoje nove vrste zakona za složene sisteme? Jeste, naravno, u smislu da različiti nivoi iskustva zahtevaju opis i analizu pomoću različitih termina. A to jednako važi i za hemiju, kao i za haos. Međutim, jesu li to nove vrste temeljnih zakona? Glajkova rulja za linčovanje daje protivprimer. Ono što saznamo o ruljama, mi možemo formulisati u obliku zakona (hajde da kažemo jedan od njih, odavno poznat: 'revolucija uvek jede svoju decu'), ali ako zapitamo za objašnjenje zbog čega ti zakoni važe, nećemo biti mnogo srećni ako nam neko uzvрати da su oni temeljni i da se ne mogu dalje objašnjavati ničim drugim. Radije ćemo ipak tragati za nekim redukcionističkim objašnjenjem, upravo u terminima psihologije pojedinaca. Isto ovo važi za izranjanje haosa. Uzbudljivi napredak koji je u oblasti haosa postignut u poslednje vreme nije se zasnivao samo na posmatranju haotičnih sistema i formulisanju iskustvenih zakona koji te sisteme opisuju; primenjivani su - štaviše, bili su još važniji - postupci matematičke dedukcije zakona koji haosom upravljaju, polazeći od mikroskopskih fizičkih zakona koji upravljaju sistemom što postaje haotičan.

Naslučujem da su, u praksi, svi aktivni naučnici (a možda i svi ljudi uopšte) jednako redukcionisti kao i ja, iako neki, kao Ernst Mejr i Filip Anderson, ne vole da se izražavaju tim rečima. Na primer, medicinsko istraživanje bavi se problemima koji su tako hitni i teški da će se predložiti za novi lek, ili novi način lečenja, često morati da daju samo na osnovu medicinskih statistika koje kažu da nešto uspeva, bez razumevanja zašto i kako uspeva; ali čak i ako mnogi pacijenti potvrde, na osnovu svog iskustva, da neki novi lek ili način lečenja uspeva, biće on posmatran veoma skeptično ako ne bude moguće naći i neko reduktivno objašnjenje za njegov uspeh, svodenjem na zakone iz neke nauke kao što je biohemija i biologija ćelija. Pretpostavimo da u nekom medicinskom časopisu izađu naporedo dva članka sa izveštajima o leku protiv otoka žlezda prouzrokovanog tuberkulozom: u jednom članku neka bi bila izneta tvrdnja da se otok može izlečiti pomoću pileće supe, a u drugom članku, pomoću dodira kraljevske ruke. Čak i ako bi statistički dokazi izneti za ova dva 'leka' imali jednaku težinu, mislim da bi doktori (a i svako drugi) reagovali na ta dva članka veoma različito. O pilećoj supi većina ljudi bi verovatno nastojala da zadrži neki uzdržan stav, 'otvoren um': gledali bi da se baš i ne izjasne kategorično, dok stvar ne bude potvrđena ili odbačena nekim objektivnim testiranjem. Pileća supa je složena mešavina dobrih stvari, pa ko zna kako bi njena sadržina mogla delovati na mikobakterije koje izazivaju tuberkulozu? Međutim, koliko god statističkih dokaza bilo da su tuberkulozni izlečeni kad ih je pipnuo kralj, čitaoci bi ispoljili veliku nevericu, zato što ne bi videli nikakav način da se takvo izlečenje objasni reduktivno. Zašto bi jednoj mikobakteriji bilo važno da li čovek koji pipka domaćina jeste najstariji sin ranijeg monarha, propisno krunisan i miropomazan? (Čak i u srednjem veku, kad je bilo široko rasprostranjeno verovanje da kraljevski dodir leči otok žlezda, sami kraljevi kao da nisu bili veoma uvereni u to. Koliko je meni poznato, ni u jednom od onolikih silnih srednjovekovnih rvanja za vlast, recimo između Plantageneta i Valoa, ili između kuća Jork i Lankaster, nijedan pretendent na presto nije pokušao da pipanjem leči tuberkulozne i na taj način dokaže da baš on treba da bude vladar.) Ako bi danas jedan biolog počeo govoriti da ovaj drugi način lečenja nije potrebno objašnjavati zato što je moć kraljevskog pipanja jedan autonomni zakon prirode,

jednako temeljan kao i ma koji drugi, ne bi dobio neku naročitu podršku od svojih kolega, jer oni se rukovode redukcionističkim pogledom na svet, pogledom u kome nema mesta za takav autonomni zakon.

Isto ovo važi i u svim ostalim naukama. Ne bismo obratili mnogo pažnje na neki predloženi zakon makroekonomike ako se on ne bi mogao objasniti ponašanjem jedinki; niti na hipotezu o superprovodljivosti koja se baš nikako ne bi mogla objasniti odlikama elektrona, fotona i jezgara. Redukcionistički stavovi daju nam jedan koristan filter, koji naučnicima u svim oblastima ušteduje vreme koje bi inače protraćili na ispitivanje bezvrednih zamisli. U tom smislu reči, mi smo sada svi redukcionisti.

4. KVANTNA MEHANIKA I NJENA NEZADOVOLJSTVA

Jedan igrač je stavio kuglu na sto i udario je vrhom bilijarskog štapa. Gledajući njeno kotrljanje, gospodin Tompkins primeti, na svoje veliko iznenađenje, da se počela 'širiti u stranu'. Jedino tim rečima mogao je da opiše čudnovato ponašanje bilijarske kugle, koja je, u pokretu preko zelenog polja, gubila oštre obrise i dobijala neki ispran izgled. Činilo se da to nije jedna kugla zakotrljana preko stola, nego mnoštvo kugli, koje se sve delimično međusobno preklapaju. Gospodin Tompkins je pojave analogne ovoj viđao već mnogo puta, ali danas nije popio ni kap viskija, pa mu nije bilo jasno kako je moguće da se ta pojava dešava sad.

Džordž Gamov, Gospodin Tompkins u Zemlji čuda

Otkriće kvantne mehanike sredinom dvadesetih godina bilo je najdublja revolucija u teoriji fizike još od rođenja moderne fizike u sedamnaestom veku. Kad smo ranije pričali o osobinama krede, lanac pitanja nas je dovodio ponovo i ponovo do odgovora datih terminima kvantne mehanike. Sve one kitnjaste matematičke teorije za kojima su fizičari išli poslednjih godina - teorije kvantnih polja, gejdž teorije, teorije superstruna - formulisane su unutar već datih okvira kvantne mehanike. Ako u našem sadašnjem razumevanju prirode postoji išta što ima izgleda da se očuva i u konačnoj teoriji, to je kvantna mehanika.

Istorijski značaj kvantne mehanike leži ne toliko u činjenici da je ona dala odgovore na izvestan broj starih pitanja o prirodi materije - mnogo je važnije to što je izmenila našu predstavu o vrsti pitanja koja nam je dozvoljeno da postavimo. Za one koji su u fizici bili naslednici Njutna, fizičke teorije bile su nešto što nam je trebalo poslužiti kao matematička mašina pomoću koje bismo izračunali položaje i brzine čestica u bilo kom sistemu u svim budućim vremenima, pod pretpostavkom da imamo potpuno znanje (neostvarivo, dabome, u praksi) o položajima i brzinama svih tih čestica u jednom, bilo kom, trenutku. Kvantna mehanika je, međutim, uvela jedan sasvim novi način govora o stanju sistema. U kvantnoj mehanici, govorimo o matematičkim konstrukcijama koje se zovu 'talasne funkcije', a koje nas obaveštavaju samo o verovatnoćama da će čestice imati razne moguće položaje i brzine. Tako je duboka ova promena da fizičari danas koriste reč 'klasični' ne u značenju 'grčko-rimski' niti 'kao Mocart i njemu slični', nego: 'onaj pre kvantne mehanike'.

Ako postoji jedan trenutak koji označava rođenje kvantne mehanike, to je onaj kad je mladi Verner Hajzenberg (Werner Heisenberg) otišao na letovanje godine 1925.

Pošto je bio alergičan na seno, koje je kod njega izazivalo sensku groznicu, Hajzenberg je pobjegao sa cvetnih polja blizu Getingena na usamljeno ostrvo Helgoland u Severnom moru. Već godinama pre toga, Hajzenberg i njegove kolege vodili su borbu sa problemom koji je pokrenut Borovom teorijom atoma 1913. godine: zašto elektroni u atomima zauzimaju samo izvesne, određene orbite, sa određenim energijama? Na Helgolandu, Hajzenberg je krenuo iz početka. Zaključio je da, pošto niko ne može da posmatra orbitu jednog elektrona u atomu, on, Hajzenberg, treba da uzme u obzir samo one količinske vrednosti koje se mogu izmeriti: konkretno, enegije kvantnih stanja, u kojima svi elektroni jednog atoma zauzimaju dopuštene orbite, i verovatnu učestalost pojave da neki elektron spontano pređe iz jednog od tih stanja u neko drugo tako što će emitovati jednu česticu svetlosti, jedan foton. Od tih učestalosti događanja Hajzenberg je sačinio nešto što je nazvao 'tablica' i uneo u nju matematičke operacije koje će dati nekoliko novih tabela, i to po jednu vrstu tabele za svaku fizičku količinu, kao što je položaj ili brzina ili kvadrat brzine jednog elektrona. Tačnije rečeno, stavke unete u te Hajzenbergove tabele bile su ono šta mi nazivamo 'tranzicione amplitude', veličine čiji kvadrati daju verovatnoće prelaza. Kad se Hajzenberg vratio sa Helgolanda u Getingen, rekoše mu da računске operacije koje je on izveo na tim tablicama jesu već dobro poznate matematičarima: zovu se matrice, a operacija kojom od tablice sa upisanim brzinama jednog elektrona napraviš drugu, u koju će biti upisani kvadrati tih brzina - to je množenje matrice. Ovo je jedan primer avetinjske sposobnosti matematičara da se pripreme za pojavu struktura koje stvarno postoje negde na svetu, ali još nisu otkrivene. Pošto je znao na koji način energija čestice u jednom jednostavnom sistemu zavisi od njene brzine i mesta, Hajzenberg je uspeo, na ovaj način, da izračuna tablicu koja pokazuje koju energiju taj sistem ima u raznim svojim kvantnim stanjima; taj njegov posao bio je svojevrsna parodija načina na koji se u njutnovskoj fizici izračunava energija jedne planete na osnovu podataka o njenoj brzini i položaju.

Ako čitaocu, ili čitateljki, nije baš najjasnije šta je to Hajzenberg radio, nema problema - nije ni meni. Nekoliko puta sam čitao taj rad koji je Hajzenberg napisao kad se vratio sa Helgolanda. Ja baš mislim da razumem kvantnu mehaniku, ali nikad nisam shvatio koje su pobude navodile Hajzenberga da čini te matematičke korake u svom radu. Teorijski fizičari u svojim najuspešnijim radovima preuzimaju na sebe najčešće jednu od sledeće dve uloge: ili su mudraci ili čarobnjaci. Fizičar-mudrac razmišlja, uredno i sređeno, o fizičkim problemima, i to na osnovu temeljnih zamisli o tome kako priroda treba da dejstvuje. Ajnštajn je, na primer, razvijajući opštu teoriju relativnosti, igrao ulogu mudraca: imao je pred sobom jasno određen problem - kako da uklopi teoriju gravitacije u svoje nove poglede na vreme i prostor koje je predložio 1905. godine u posebnoj teoriji relativnosti. Imao je neke vredne naznake pravca pred sobom, ponajpre jednu izvanredno zanimljivu činjenicu koju je otkrio Galilej: naime, da kretanje malih tela u gravitacionom polju ne zavisi od prirode tih tela. Ovo je Ajnštajna navelo na pomisao da bi gravitacija mogla biti osobina samog prostorvremena. Ajnštajn je, osim toga, imao na raspolaganju i dobro razvijenu matematičku teoriju zakrivljenih prostora, koju su razradili Riman (Georg Friedrich Bernhard Riemann) i drugi matematičari u devetnaestom veku. Danas je moguće držati predavanja iz teorije relativnosti i pri tome se služiti manje-više istim pravcem razmišljanja kojim je išao i sam Ajnštajn kad je konačno, 1915. godine, napisao svoj rad. Ali postoje i fizičari-čarobnjaci, koji, čini se, ne idu putevima razmišljanja, nego preskoče sve međukorake i uskoče pravo u svoja nova

uviđanja istine o prirodi. Posle pisci udžbenika fizike moraju da preuređuju rad ovih čarobnjaka tako da izgleda kao da je bio rad mudraca; inače nijedan čitalac ne bi razumeo taj deo fizike. Plank je bio čarobnjak godine 1900. kad je smislio teoriju toplotnog zračenja, a Ajnštajn je ulogu čarobnjaka poneo na svojim plećima 1905. kada je predložio teoriju fotona. (Možda je zbog toga kasnije opisivao teoriju fotona kao najrevolucionarniju stvar koju je ikad uradio.) Obično nije teško razumeti radove fizičara-mudraca, ali radovi fizičara-čarobnjaka su često nerazumljivi. U tom smislu, Hajzenbergov rad iz 1925. bio je čisto čarobnjaštvo.

Možda ne treba suviše pomno da zavirujemo u taj Hajzenbergov prvi rad. Hajzenberg je bio u dodiru sa nekoliko nadarenih teorijskih fizičara, među kojima su bili Maks Born (Max Born) i Paskval Žordan (Pascual Jordan) u Nemačkoj i Pol Dirak u Engleskoj, i pre nego što se godina 1925. završila oni su Hajzenbergovu zamisao uobličili u jednu shvatljivu i sistematičnu verziju kvantne mehanike; ta verzija je danas poznata kao matrična mehanika. Već u januaru sledeće godine, Hajzenbergov stari školski drug Wolfgang Pauli (Wolfgang Pauli) u Hamburgu uspeo je da upotrebi matričnu mehaniku za rešavanje jednog tipičnog, paradigmatičnog problema atomske fizike, a to je izračunavanje energije različitih kvantnih stanja vodonikovog atoma, i na taj način da dokaže opravdanost Borovih ranijih ad hoc rezultata.

Taj kvantnomehanički proračun energetskih nivoa vodonikovog atoma, koju je Pauli izveo, bilo je ispoljavanje matematičke brilijantnosti, mudra upotreba Hajzenbergovih pravila i posebnih simetrija vodonikovog atoma. Iako su Hajzenberg i Dirak bili možda veći stvaraooci od Paulija, nijedan živi fizičar u ono doba nije bio pametniji od njega. Ali čak ni Pauli nije bio sposoban da proširi svoja izračunavanja na sledeći najjednostavniji atom, helijumov, a kamoli na još teže atome ili na molekule.

Kvantna mehanika koja se danas predaje studentima i koja se koristi u svakidašnjem radu hemičara i fizičara, zapravo, nije ta matrična mehanika Hajzenberga, Paulija i njihovih saradnika, nego jedan njen matematički ekvivalent - mnogo pogodniji za upotrebu; naime, jedan matematički formalizam koji je uveo malo kasnije Ervin Šredinger (Erwin Schrödinger). U Šredingerovoj verziji kvantne mehanike, svako moguće kvantno stanje jednog sistema opisuje se tako što se daje jedna količina, poznata kao talasna funkcija sistema, otprilike kao što svetlost opisujemo kao talas električnih i magnetnih polja. Talasno-funkcijski pristup kvantnoj mehanici pojavio se pre Hajzenbergovog rada, i to godine 1923. u radovima čoveka koji se zvao Luj De Brojli (Louis de Broglie), zatim i godine 1924. u njegovoj doktorskoj tezi koju je odbranio u Parizu. De Brojli je pogodio da se elektron može posmatrati kao neka vrsta talasa, sa talasnom dužinom koja je u nekoj vezi sa njegovim impulsom na isti način na koji talasi svetlosti, po Ajnštajnu, imaju vezu sa impulsom fotona: talasna dužina je u oba slučaja jednaka jednoj temeljnoj konstanti prirode, koja se zove Plankova konstanta, podeljenoj tim impulsom. De Brojli pojma nije imao, baš nikakvu ideju, o fizičkom značenju tog talasa, niti je izmislio ma koju vrstu jednačine dinamičkog talasa; on je naprosto pretpostavio da će dozvoljene orbite elektrona u vodonikovom atomu biti taman dovoljno velike da izvestan broj potpunih talasnih dužina može da se uklopi u prostor oko orbite na sledeći način: jedna talasna dužina za stanje najniže energije, dve talasne dužine za sledeće stanje, i tako dalje. I, začudo, ovo jednostavno, a prilično slabo obrazloženo nagađanje dalo je upravo iste one uspešne odgovore za energije orbita tog jednog elektrona u vodonikovom atomu kao Borova izračunavanja deceniju ranije.

Pošto je De Brojli iza sebe imao takav doktorat, od njega se moglo očekivati da će jurnuti dalje i rešiti sve probleme fizike. A, zapravo, on nije postigao, do kraja svog života, ništa više u fizici, nijedno iole značajno otkriće. Tek je Šredinger u Beču godine 1925. i 1926. preobrazio De Brojlijeve prilično mutne zamisli o elektronskom talasu u precizan i koherentan matematički formalizam koji se mogao primeniti na elektrone ili druge čestice u bilo kom atomu ili molekulu. Šredinger je, osim toga, uspeo pokazati da je njegova 'talasna mehanika' ekvivalent Hajzenbergove matrične mehanike; te dve se mogu matematički izvesti jedna iz druge.

U srcu Šredingerovog pristupa bila je jedna dinamička jednačina (od tada poznata kao Šredingerova jednačina) koja je nalagala na koji način će se bilo koji dati talas-čestica menjati sa protokom vremena. Neka od rešenja Šredingerove jednačine za elektrone u atomima naprosto osciliraju u jednoj jedinoj čistoj frekvenciji, kao zvučni talas koji dobijamo iz savršene zvučne viljuške. Takva posebna rešenja podudaraju se sa mogućim stabilnim kvantnim stanjima nekog atoma ili molekula (dakle, nešto nalik na stabilne talase, odnosno vibracije u zvučnoj viljuški), pri čemu energiju tog atomskog stanja dobijamo množenjem frekvencije tog talasa sa Plankovom konstantom. To su energije koje nam se otkrivaju kroz boje svetlosti koje jedan atom može emitovati ili apsorbovati.

Šredingerova jednačina je matematički ista vrsta jednačine (poznata kao parcijalna diferencijalna jednačina) koju ljudi koriste još od devetnaestog veka da proučavaju talase zvuka ili svetlosti. Fizičari su u dvadesetim godinama već tako pouzdano vladali takvim jednačinama, da su se odmah bacili na izračunavanje energija i drugih osobina svakojakih atoma i molekula. Bilo je to zlatno doba fizike. Uspeh je za uspehom stizao, i to brzo, a tajne kojima je atom bio okružen topile su se.

Ali i pored ovih uspeha, ni De Brojli ni Šredinger, a ni ma ko drugi, nisu u prvo vreme znali koja to vrsta fizičke količine osciluje u elektronskom talasu. Talas bilo koje vrste mi možemo opisati u bilo kom željenom trenutku tako što ćemo napisati spisak brojeva, po jedan broj za svaku tačku u prostoru kroz koju talas prolazi. Na primer, u zvučnom talasu brojevi daju pritisak vazduha u svakoj tački vazduha. U talasu svetlosti, brojevi daju jačine i pravce električnih i magnetnih polja u svakoj tački prostora kroz koju svetlost putuje. Elektronski talas bi se takođe mogao opisati u svakom trenutku kao niz brojeva, po jedan broj za svaku tačku prostora u atomu i oko njega. E, taj niz je poznat kao talasna funkcija, a pojedinačni brojevi u njemu nazivaju se vrednosti talasne funkcije. Ali u prvo vreme čovek je o toj talasnoj funkciji mogao reći samo jedno: naime, da ona jeste rešenje Šredingerove jednačine; niko još nije znao koju fizičku veličinu ti brojevi opisuju.

Kvantni teoretičari sredinom dvadesetih godina bili su u istom položaju kao fizičari koji su proučavali svetlost na početku devetnaestog veka. Posmatranje pojava kao što je difrakcija (neuspeh svetlosnog zraka da ide dalje u pravoj liniji kad prođe kroz vrlo malu rupu, ili vrlo blizu nekog predmeta) navelo je Tomasa Janga (Thomas Young) i Ogastina Fresnela (Augustin Fresnel) na pomisao da je svetlost nekakav talas, i da, protiskujući se kroz rupicu, ne uspeva više ići u pravoj liniji zato što je prečnik rupice manji od talasne dužine svetlosti. Ali niko na početku devetnaestog veka nije znao da kaže čega je svetlost talas; tek u radovima Džejsa Klerka Maksvela u šezdesetim godinama devetnaestog veka postalo jasno da je svetlost talas varirajućih električnih i magnetnih polja. Ali šta je to što varira u elektronskom talasu?

Odgovor je došao iz jedne teorijske studije o načinu na koji će se slobodni elektroni ponašati kad budu ispaljeni na atome. Prirodna je stvar opisivati jedan elektron koji putuje kroz prazan prostor kao talasni paketić, svežnjić elektronskih talasa koji putuju zajedno, nalik na 'puls' svetlosnih talasa koji će nastati ako upalimo reflektor samo na tren. Šredingerova jednačina pokazuje da, kad takav paketić tresne u jedan atom, trebalo bi da se razbije; još sitniji talasići da se razlete na sve strane, kao kapljice vode kad mlaz vode iz baštenskog creva udari u kamen. Ovo je bilo zbunjujuće. Jer, u stvarnosti, elektron koji udari u atom - odleti na jednu stranu, ceo. Ne raspadne se; ostane elektron. Godine 1926, u Minhenu, Maks Born je predložio da se ovo neobično ponašanje talasne funkcije shvati u terminima verovatnoće. Ne, ne raspadne se elektron ni na kakve deliće; ali mogao bi odleteti na ma koju stranu, a verovatnoća da će odleteti na neku određenu stranu najveća je u onim pravcima gde su vrednosti talasne funkcije najveće. Drugim rečima, elektronski talasi nisu talasi nečega; njihov smisao je samo u tome što nam vrednost talasne funkcije za bilo koju tačku u prostoru kaže kolika je verovatnoća da se elektron nalazi baš u toj tački ili negde blizu.

Ni Šredingeru ni De Brojlju nije prijalo ovakvo tumačenje elektronskih talasa. Verovatno iz tog razloga njih dvojica nisu više ništa važno dala daljem razvoju kvantne mehanike. Ali je tumačenje elektronskih talasa putem verovatnoće dobilo podršku tako što je sledeće godine Hajzenberg ponudio jedan zaista izvanredan argument. Hajzenberg je razmotrio probleme na koje fizičar nailazi kad krene da meri položaj i impuls jednog elektrona. Da bi tačno izmerio položaj tog elektrona, mora upotrebiti svetlost neke kratke talasne dužine, zato što difrakcija uvek zamuti sliku svakog predmeta koji je manji od talasne dužine korišćene svetlosti. Međutim, svetlost kratkih talasnih dužina sastoji se od fotona sa impulsom odgovarajuće velikim, a kad takvi fotoni tresnu u elektron, on neizbežno mora da bude odgurnut tim udarom, pri čemu odnosi sa sobom delić impulsa tih fotona. Prema tome, što tačnije pokušavamo izmeriti položaj jednog elektrona, to manje tačno možemo izmeriti njegov impuls. Ovo pravilo postalo je poznato kao Hajzenbergovo načelo neodređenosti. Budimo malo tačniji: pošto talasna dužina svetlosti jeste jednaka Plankovoj konstanti podeljenoj impulsom fotona, neodređenost položaja ma koje čestice ne može biti manja od Plankove konstante podeljene neodređenošću impulsa te čestice. Ne primećujemo ovu neodređenost kod običnih predmeta kao što je bilijarska kugla zato što je Plankova konstanta tako malena. U sistemu mernih jedinica kojim se fizičari najradije služe, a koji je zasnovan na centimetru, gramu i sekundi kao osnovnim jedinicama dužine, mase i vremena, Plankova konstanta iznosi 6,626 hiljaditih delova milionitog dela milionitog dela milionitog dela, dakle, 6,626 kroz hiljadu miliona miliona miliona miliona; to vam je nula, pa decimalna zapeta, pa još dvadeset šest nula, i tek tada 6626. Ovo je tako maleno, da je talasna dužina bilijarske kugle koja se kotrlja po stolu mnogo manja od prečnika jednog atomskog jezgra, zbog čega možemo lako i tačno izmeriti i položaj i brzinu te kugle u isto vreme. Elektronski talas sa vrlo velikom amplitudom na nekom određenom mestu u smislu položaja označava elektron čiji položaj prilično pouzdano znamo, ali čiji impuls ne znamo i koji bi mogao imati maltene bilo koju vrednost. Nasuprot tome, elektronski talas uobličen tako da se u njemu glatko i često smenjuju mnoga mala izdignuća i ulegnuća raširena preko mnogih talasnih dužina predstavlja elektron čiji impuls prilično tačno znamo, ali čiji je položaj veoma neodređen. Tipičniji elektroni, kao što su oni u atomima i molekulima, nemaju tačno određen ni položaj ni impuls.

Iako su se navikli da rešavaju Šredingerovu jednačinu, fizičari su nastavili da raspravljaju još godinama o načinu na koji kvantnu mehaniku treba tumačiti. Ajnštajn je bio neobičan po tome što je odbacio kvantnu mehaniku u celosti; većina fizičara je naprosto nastojala da je shvati. Veliki deo ove rasprave vodio se na Univerzitetском institutu za teorijsku fiziku u Kopenhagenu, pod rukovodstvom Nilsa Bora. Imao sam sreću da se susretnem sa Borom lično, iako je to bilo pred kraj njegove karijere, a na početku moje. Bor je bio moj domaćin kad sam otišao u njegov institut u Kopenhagenu da tamo provedem prvu godinu mojih postdiplomskih studija. Međutim, razgovarali smo samo kratko, i ja od njega nisam dobio nikakve reči mudrosti - Bor je bio poznati 'mrmljator', i uvek je bilo teško shvatiti šta pokušava da kaže. Pamtim užasnuti izraz lica moje žene kad je Bor nešto govorio njoj, prilično opširno, na zabavi u trpezariji njegove kuće, i kad je ona shvatila da joj izmiče baš sve što joj taj veliki čovek govori. Bor se, delimično, usmerio na jednu čudnovatu odliku kvantne mehanike, koju je nazvao komplementarnost: znanje o jednom vidu nekog sistema onemogućuje ti da stekneš znanje o nekom drugom vidu tog istog sistema. Hajzenbergovo načelo neodređenosti jeste jedan primer komplementarnosti: znanje o položaju (ili impulsu) jedne čestice onemogućuje ti da saznaš koji je impuls (odnosno položaj) te čestice. U poznijim godinama Bor je naglašavao značaj komplementarnosti u temama veoma dalekim od fizike. Priča se da su Bora jednom prilikom pitali na nemačkom jeziku koja osobina je komplementarna istini (nemački Wahrheit, čita se 'varhajt' - prim. prev.). On je porazmislio, pa rekao: jasnoća (nemački Klarheit, čita se 'klarhajt' - prim. prev.) Snagu te opaske osetio sam dok sam pisao ovo poglavlje.

Negde oko 1930. godine rasprave u Borovom institutu dovele su do ortodoksne 'kopenhagenske' formulacije kvantne mehanike, u terminima koji su sad postali mnogo opštiji nego što su oni o talasnoj mehanici pojedinačnih elektrona. Bez obzira na to da li se jedan sistem sastoji od jedne čestice ili od mnogo čestica, njegovo stanje u svakom trenutku opisuje se spiskom brojeva koji su poznati kao vrednosti talasne funkcije, pri čemu po jedan broj odgovara svakoj mogućoj konfiguraciji sistema. Isto ovo stanje može se opisati tako što ćemo dodeliti vrednosti talasnih funkcija konfiguracijama koje se opisuju na razne druge načine - na primer, položajima svih čestica u sistemu, ili impulsom svih čestica u sistemu, ili već nekako, samo nikako ne položajem i impulsom svih čestica u sistemu.

Suština kopenhagenskog tumačenja jeste oštro razdvajanje samog sistema od aparata pomoću koga merimo konfiguraciju sistema. Kao što je naglasio Maks Born, između dva trenutka u kojima mi vršimo merenja, vrednosti talasnih funkcija nastavljaju evoluirati, i to načinom savršeno kontinuiranim i determinističkim, pod diktatom neke od opštih verzija Šredingerove jednačine. Dok se to nastavlja, za sistem se ne može reći da se nalazi u ma kojoj određenoj konfiguraciji. Ako izmerimo konfiguraciju jednog sistema (na primer, tako što ćemo izmeriti položaje svih čestica ili impulse svih čestica, ali ne oba), sistem preskače u jedno stanje koje sasvim sigurno jeste u jednoj konfiguraciji, ili u drugoj, sa verovatnoćama koje su određene kvadratima vrednosti talasne funkcije za te konfiguracije neposredno pre merenja.

Opisivanje kvantne mehanike jedino rečima dovodi, neizbežno, do toga da ljudi samo nejasno shvate o čemu je tu, uopšte, reč. Ali kvantna mehanika sama po sebi nije nimalo nejasna; iako u prvo vreme izgleda 'uvrnuto', ona daje tačan okvir za izračunavanje energija, učestalosti prelaza i verovatnoća. Želim da pokušam povesti

čitaoca malo dublje u kvantnu mehaniku, a da bih to postigao, razmatraću najjednostavniji mogući sistem, koji ima samo dve moguće konfiguracije. Možemo ga zamisliti ovako: to je ona mitska (ne postoji stvarno) čestica koja ima samo dva moguća položaja, a ne beskonačno mnoštvo mogućih položaja; reći ćemo da su to položaji ovde i tamo. Dakle, stanje ovog sistema može se u svakom trenutku opisati pomoću dva broja: to su dve vrednosti talasne funkcije, jedno je vrednost ovde, a drugo je vrednost tamo.

U klasičnoj fizici opis naše mitske čestice je veoma jednostavan: ona sasvim sigurno jeste ovde ili jeste tamo, a od ovde do tamo i nazad može da preskače, na način koji nalaže neki zakon dinamike. Međutim, u kvantnoj mehanici stvari su kudikamo zapetljanije. Kad mi ne pazimo na tu česticu, tada bi stanje sistema moglo biti čisto ovde, u kom slučaju bi vrednost tamo njene talasne funkcije sasvim iščezla; ili bi moglo biti čisto tamo, u kom slučaju bi vrednost ovde njene talasne funkcije sasvim iščezla; ali isto tako je moguće (a uobičajenije) da ne iščezne nijedna od te dve vrednosti, i da čestica, samim tim, nije nesumnjivo ovde, ali nije ni nesumnjivo tamo. E, kad pogledamo da li je čestica tamo ili je ovde, ustanovimo, dabome, da jeste u jednom od ta dva položaja; verovatnoća da će se pokazati da je ovde data je kvadratom vrednosti ovde neposredno pre merenja, a verovatnoća da je ipak tamo data je kvadratom vrednosti tamo. Prema kopenhagenskom tumačenju, kad merimo da li je čestica u konfiguraciji ovde ili u konfiguraciji tamo, vrednosti ovih talasnih funkcija preskoče do nekih novih vrednosti; pa ili vrednost funkcije ovde postane jednaka jedinici, a vrednost funkcije tamo postane jednaka nuli, ili obratno; ali poznajući njihove talasne funkcije mi ne možemo predvideti šta će se desiti, samo znamo verovatnoće događaja.

Ovaj sistem sa samo dve konfiguracije toliko je jednostavan da u Šredingerovoj jednačini može biti opisan bez simbola. Između dva naša merenja, brzina promene vrednosti talasne funkcije za ovde dobija se izračunavanjem vrednosti za ovde pomnožene jednim konstantnim brojem i sabiranjem tog rezultata sa vrednošću za tamo koja mora biti takođe pomnožena jednim, ali ne tim istim, konstantnim brojem; a brzina promene vrednosti za tamo dobija se tako što se vrednost za ovde pomnoži trećim konstantnim brojem i tako dobijena vrednost sabere sa vrednošću za tamo pomnoženom četvrtim konstantnim brojem. Ta četiri konstantna broja zovu se, kolektivno, hamiltonovski brojevi za ovaj jednostavni sistem. Hamiltonovski brojevi karakterišu sam sistem, a ne bilo koje određeno stanje sistema; kažu nam sve što se ima znati o načinu na koji se stanje sistema razvija od ma kojih datih početnih uslova. Sama po sebi, kvantna mehanika nam ne kaže koliki su hamiltonovski brojevi, nego njih moramo da izvedemo iz našeg eksperimentalnog i teorijskog znanja o prirodi sistema o kome je reč.

Ovaj naš jednostavan sistem može se, vidite, upotrebiti i kao ilustracija za Borovu ideju komplementarnosti, tako što ćemo razmotriti druge načine za opisivanje stanja te iste čestice. Na primer, postoji jedan par stanja, nešto nalik na stanja pouzdano utvrđenog impulsa, kojima možemo dati nazive stani i kreni, pri čemu je vrednost talasne funkcije za ovde ili jednaka vrednosti takve iste funkcije za tamo, ili jednaka njenoj minusnoj vrednosti. Pa, zato, možemo opisati, ako nam je volja, talasnu funkciju u terminima njenih stani i kreni vrednosti, a ne njenih ovde i tamo vrednosti: vrednost stani je zbir vrednosti za ovde i tamo, a kreni je njihova razlika. Ako, sticajem okolnosti, sigurno znamo da je položaj čestice sasvim sigurno ovde, a nije tamo, vrednost talasne funkcije za tamo mora, dabome, iščeznuti, iz čega proističe da vrednosti stani i kreni kod ove talasne funkcije moraju biti međusobno jednake, a to znači da mi pojma nemamo kakav

je njen impuls: verovatnoća je izjednačena, 50% za jednu i 50% za drugu mogućnost. Obratno, ako znamo da je čestica sasvim sigurno u stanju stani, odnosno nepomična, ne kreće se, što znači da je njen impuls jednak nuli, onda vrednost talasne funkcije za kreni iščezava, a pošto je vrednost talasne funkcije za kreni razlika vrednosti za ovde i za tamo, proističe da vrednosti za ovde i za tamo moraju biti međusobno jednake; drugim rečima mi nemamo pojma da li je čestica ovde ili tamo - verovatnoća je 50% za prvu i 50% za drugu od te dve mogućnosti. Sagledavamo, dakle, potpunu komplementarnost između merenja ovde ili tamo i merenja stani ili kreni: možemo izvršiti jedno, ili drugo, ali koje god od ta dva da izvršimo, ostajemo sasvim u mraku po pitanju ishoda koje smo mogli dobiti da smo izvršili onu drugu vrstu merenja.

Svi su saglasni oko toga kako treba kvantnu mehaniku koristiti, ali postoje velika neslaganja kako treba razmišljati o onome što radimo kad je koristimo. Za neke ljude, i to one koji su bili ranjeni redukcionizmom i determinizmom njutnovske fizike, dva vida kvantne mehanike kao da su ponudila dobrodošli melem. Dok u njutnovskoj fizici ljudska bića nisu imala nikakav poseban status, u kopenhagenskom tumačenju kvantne mehanike ljudska bića igraju presudnu ulogu, jer, kad vrše merenje, u isti mah i daju talasnoj funkciji njen smisao. Štaviše, njutnovski fizičar je govorio o tačnom predviđanju, dok stručnjak za kvantnu mehaniku nudi samo proračune verovatnoća, što opet kao da otvara prostor za ljudsku slobodnu volju ili za božanski upliv.

Neki naučnici i pisci, kao što je Frithof Kapra (Fritjof Capra) pozdravljaju ove činjenice, u kojima vide mogućnost za pomirenje duha nauke sa nekim blažim delovima naše prirode. A mogao bih tako i ja, kad bih mislio da je to stvarno postojeća mogućnost, ali ne mislim da jeste. Kvantna mehanika je za fiziku bila od ogromnog značaja, ali ja u kvantnoj mehanici ne uspevam pronaći baš nijednu poruku za ljudska bića koja bi se u bilo čemu značajnom razlikovala od poruke njutnovske fizike.

Pošto su ova pitanja još i sad protivurečna, pridobio sam dvojicu dobro poznatih ljudi da ovde povedu raspravu o tome.

DIJALOG O SMISLU KVANTNE MEHANIKE

MALI TIMI: Ja mislim da je kvantna mehanika naprosto divna. Nikad mi se nije dopadalo ono kako u njutnovskoj mehanici, ako znaš položaj i brzinu svake čestice u jednom trenutku, možeš predvideti sve o budućnosti, a za slobodnu volju i za neku posebnu ulogu ljudskih bića da ne ostane ništa. Sad su u ovoj kvantnoj mehanici sva vaša predviđanja mutna i zasnivaju se na verovatnoćama, i ništa nije ni u kakvom određenom stanju sve dok ljudsko oko to ne osmotri. Siguran sam da je neki mistik sa Istoka rekao, nekad, nešto tako.

CICIJA SKRUDŽ: Bah! Možda sam se ja predomislio za ono oko Božića, ali sačuvao sam sposobnost da prepoznam koještariju kad je čujem. Istina je, dakako, da elektron nema u isto vreme i određeni položaj i određenu brzinu, ali to samo znači da te dve veličine nisu one prave, prikladne veličine koje treba da upotrebljavamo kad opisujemo elektron. Ono što u svakom trenu imaju i elektron i svaki mogući skup čestica jeste talasna funkcija. Ako neko ljudsko biće posmatra sistem, onda je tom talasnom funkcijom opisano stanje celoga sistema, uključujući i to ljudsko biće. Razvoj jedne talasne funkcije podjednako je deterministički kao što su to orbite čestica u njutnovskoj mehanici. U stvari, i više je deterministički, jer jednačine koje nam kažu kako se talasna

funkcija razvija u vremenu tako su jednostavne da tu haotična rešenja nisu dopuštena. I gde ti je tu slobodna volja?

MALI TIMI: Stvarno me iznenađuje da ti odgovaraš tako nenaučno. Talasna funkcija ne poseduje nikakvu objektivnu stvarnost, odnosno nije uopšte stvarna, jer se ne može meriti. Na primer, ako mi uočimo da čestica jeste ovde, na osnovu toga ne možemo zaključiti da je pre tog našeg merenja vrednost za tamo bila nula; ma, mogla je ona imati ma koju vrednost i za ovde i za tamo, a potom se naprosto desilo da je iskočila ovde, a ne tamo kad smo mi uzeli da je osmotrimo. Pošto talasna funkcija ne postoji stvarno, onda što si se ti toliko oduševio zbog njenog determinističkog evoluiranja? Šta mi uopšte možemo izmeriti? Samo vrednosti kao što su mesta, impulsi i spinovi, a i o takvima predviđati možemo samo verovatnoće. Dok se ne umeša neko ljudsko biće da izmeri te veličine, ne možemo reći da čestica uopšte ima ikakvo stanje.

CICIJA SKRUDŽ: Dragi moj mladiću, ti si, izgleda, nekritično progutao jednu doktrinu iz devetnaestog veka, koja se zvala pozitivizam, a koja je govorila da nauka treba da se bavi samo onim stvarima koje se mogu, stvarno i konkretno, posmatrati. Slažem se ja da nije moguće nikakvim opitom izmeriti talasnu funkciju. Pa šta? Ako ponoviš mnogo puta merenja polazeći svaki put od istog početnog stanja, moći ćeš da odrediš kakva mora biti talasna funkcija tog stanja, i pomoću dobijenih rezultata provericeš tačnost naših teorija. Šta bi više od toga hteo? Doista bi trebalo da prebaciš svoj način mišljenja u dvadeseti vek. Talasne funkcije su stvarne iz istog razloga iz koga su kvarkovi i simetrije stvarni: zato što su korisne kad ih uključimo u naše teorije. Svaki sistem je uvek u nekom određenom stanju, bez obzira na to da li ga neko ljudsko biće posmatra ili ne; a to stanje nije opisano ni položajem, ni impulsom, nego talasnom funkcijom.

MALI TIMI: Nisam raspoložen da se raspravljam o tome šta je stvarno, a šta ne, sa nekim ko provodi svoje noći lutajući u društvu duhova. Kao što je Skrudž činio u priči Čarlsa Dikensa 'Božićna pesma' - prim. prev. Nego, da ja tebe samo podsetim u kakav ozbiljan problem upadaš ako zamisliš da je talasna funkcija nešto što stvarno postoji. Ajnštajn je to pomenuo u jednom svom napadu na kvantnu mehaniku, znaš, u onom govoru na konferenciji 'Solvej' u Briselu, a posle i u onom slavnom tekstu koji su zajednički napisali on, Boris Podolski (Boris Podolsky) i Natan Rozen (Nathan Rosen). Pretpostavimo da imamo sistem sačinjen od dva elektrona, pripremljen tako da elektroni u jednom trenutku imaju poznato, veliko međusobno rastojanje i poznat ukupan impuls. (Ovo nije protiv Hajzenbergovog načela neodređenosti. Recimo, mogli bismo meriti njihovo rastojanje tako što bismo slali svetlosne talase vrlo kratkih talasnih dužina od jednog elektrona do drugog, i nazad, i stalno tako; pri svakom naletu, svetlosni talasi bi promenili impuls jednog od ta dva elektrona, ali zbog očuvanja impulsa ne bi se promenio zbir njihovih impulsa.) Ako neko, tada, izmeri impuls prvog elektrona, impuls drugog biće istog trena poznat: to ti je čas posla, pošto znaš zbir impulsa njih dva. A ako neko, na onom drugom mestu, izmeri položaj drugog elektrona, stvarno je lako odmah ustanoviti položaj i prvog, jer se njihovo rastojanje zna. Međutim, ovo bi značilo da ti, čim osmotriš stanje prvog elektrona, trenutno menjaš talasnu funkciju tako da sad onaj drugi elektron ima tačno određen položaj ili tačno određen impuls, iako ni blizu njega nisi išao. Je li ti stvarno prija da zamišljaš da su talasne funkcije stvarne, kad ih može čovek menjati tako?

CICIJA SKRUDŽ: Pa, ja to mogu prihvatiti. I ne brinem se, da znaš, zbog onog pravila u posebnoj teoriji relativnosti koje zabranjuje odašiljanje bilo kakvih signala bržih od svetlosti; nema ovde sukoba sa tim pravilom. Fizičarka koja izmeri impuls drugog elektrona nema nikakav način da zna da li je, ili nije, nađena vrednost pretrpela neku promenu zbog toga što je neko posmatrao prvi elektron. Koliko god je njoj, toj fizičarki, poznato, pre njenoga merenja taj njen elektron je mogao imati i određen položaj i određen impuls. Čak ni sam Ajnštajn nije mogao pomoću te vrste merenja poslati trenutni signal od jednog elektrona drugom. (A kad već o tome govorimo, mogao si baš pomenuti da se Džon Bel /John Bell/ dosetio izvesnih još uvrnutijih posledica kvantne mehanike, a u vezi sa atomskim spinovima, i da su potom eksperimentalni fizičari dokazali da se spinovi u atomskim sistemima odista ponašaju onako kako to kvantna mehanika predviđa; ali šta ćemo, svet naprosto jeste takav.) Meni se čini da nas ništa od pomenutog ne prisiljava da prestanemo smatrati talasnu funkciju stvarnom; nego se ona naprosto ponaša drugačije nego što smo mi navikli da mislimo, a u to njeno neobično ponašanje spadaju i trenutne (bez ikakvog proticanja vremena) promene koje utiču čak i na talasnu funkciju celog svemira. Ja da ti kažem: mani se traganja za nekakvim filozofskim porukama u kvantnoj mehanici i pusti me da je i ubuduće koristim.

MALI TIMI: Bez uvrede, ali ako ti veruješ da se može trenutno izmeniti jedna talasna funkcija razapeta preko cele celcate Vaseljene, onda si zaista spreman da poveruješ u sve i svašta. Oprostićeš mi ako ukažem da si maločas govorio sam protiv sebe. Pričaš da se talasna funkcija svakog sistema razvija na savršeno deterministički način i da se verovatnoće pojavljuju u toj slici tek kad mi potegnemo da nešto konkretno izmerimo. Ali upravo prema tvojim sopstvenim tvrdnjama, ne samo elektron, nego i merni instrument, pa i ljudsko biće koje mernim instrumentom rukuje, jesu jedan, celovit, veliki sistem, opisan talasnom funkcijom koja ima ogroman broj svojih vrednosti, a sve te vrednosti nastavljaju se razvijati deterministički čak i dok merenje traje. Pa lepo, ako se sve odvija deterministički, kako može biti ikakve neizvesnosti o rezultatima merenja? Odakle to verovatnoće 'uskaču' dok vršimo merenje?

Ja imam razumevanja za obe strane u ovoj raspravi, mada nešto više za realistu Skrudža nego za pozitivistu Timija. Dodelio sam Malom Timiju pravo da završna reč bude njegova zbog toga što je problem koji on na kraju pominje bio i ostao najvažnija zagonetka u tumačenju kvantne mehanike. Ortodokсно kopenhagensko tumačenje koju sam dosad opisivao zasniva se na oštrm razdvajanju fizičkog sistema, na koji se mogu primeniti pravila kvantne mehanike, i instrumenata pomoću kojih želimo sistem ispitivati: njih opisujemo u skladu sa klasičnim, pretkvantnim pravilima fizike. Naša mitska čestica mogla bi imati jednu talasnu funkciju koja bi imala vrednosti i za ovde i za tamo, ali kad izvršimo posmatranje, one se nekako pretvore u jedno određeno ovde ili tamo, na način koji je u suštini nepredvidljiv, osim što se možemo pozivati na verovatnoće. Ali ova razlika tretmana, odnosno različitost načina na koji tretiramo posmatrani sistem i merni uređaj, mora biti fiktivna. Verujemo da kvantna mehanika vlada svim stvarima u celom kosmosu, ne samo pojedinačnim elektronima, atomima i molekulima nego i opitnim instrumentima, kao i fizičarima koji ih koriste. Ako talasna funkcija opisuje i merni aparat, i posmatrani sistem, i ako evoluiru deterministički, po zakonima kvantne mehanike, uvek pa i za vreme trajanja opita, onda, kao što pita Mali Timi, odakle 'uskaču' verovatnoće?

Nezadovoljstvo ovim veštačkim rasepom između sistema i onih koji ga posmatraju, rasepom toliko приметnim u kopenhagenskom tumačenju, povelо je mnoge teoretičare ka jednom unekoliko drugačijem gledištu, a to je takozvano tumačenje o mnogo svetova ili o mnogo istorija kvantne mehanike. Ovo tumačenje prvi put je prezentovano u doktorskoj tezi Hjuа Evereta (Hugh Everett) na Prinstonu. Prema njegovoj zamisli, merenje ovde-ili-tamo, koje bismo izvršili nad našom mitskom česticom, znači nekakvo međudejstvo između nje i posmatračkih instrumenata - takvo, zapravo, da talasna funkcija tog objedinjenog sistema na kraju ima merive vrednosti za samo dve konfiguracije; jedna vrednost odgovara konfiguraciji u kojoj je čestica ovde, a kazaljka instrumenta pokazuje takođe ka reči ovde; druga vrednost odgovara mogućnosti da je čestica tamo, pri čemu će i kazaljka instrumenta biti uperena ka oznaci tamo. Postoji, dakle, još i sad, jedna određena talasna funkcija, proizvedena na način sasvim deterministički, međudejstvom čestice sa mernim uređajima, a sve to po pravilima kvantne mehanike. Međutim, ova dva stanja talasne funkcije odgovaraju stanjima sa različitom energijom, a pošto su merni instrumenti makroskopske (a ne mikroskopske) veličine, i ta razlika energije je veoma velika, a iz toga proističe da te dve vrednosti osciluju na veoma različitim frekvencijama. Kad pogledaš u kom pravcu je uperena kazaljka na tom mernom instrumentu, to ti je kao da nasumce nalaziš na radio-aparatu jednu od dve moguće stanice, 'Radio Ovde' i 'Radio Tamo'. Pod uslovom da su frekvencije na kojima rade te dve stanice dobro razdvojene, jedna drugoj neće smetati (nema interferencije, odnosno mešanja), pa ćeš ti primati ili jednu ili drugu, sa verovatnoćom srazmernom njihovoj jačini. Ovo odsustvo interferencije između dveju vrednosti jedne iste talasne funkcije znači, zapravo, da se istorija sveta rasepila u dve zasebne istorije, i to jednu gde je čestica ovde i drugu gde je čestica tamo, i da će odsad obe te istorije nastaviti da se odvijaju zasebno, ne utičući jedna na drugu.

Primenjujući pravila kvantne mehanike na kombinovani sistem, sačinjen od čestice i mernog aparata kojim hoćemo česticu da posmatramo, mi možemo zaista dokazati da verovatnoća da ćemo česticu naći ovde, a da će pri tom i kazaljka biti uperena na ovde, jeste srazmerna kvadratu vrednosti talasne funkcije te čestice za ovde u trenu neposredno pre početka međudejstva čestice sa mernim instrumentom, baš kao što postulira kopenhagensko tumačenje kvantne mehanike. Međutim, ovaj argument ne odgovara stvarno na pitanje Malog Timija. Kad izračunavamo verovatnoće u tom kombinovanom sistemu (čestica plus merni aparati, sve zajedno kao jedna konfiguracija), mi prećutno uvlačimo u to i naučnicu koju Skrudž pominje. Ona je posmatrač, ona očitava skalu i vidi da li je kazaljka uperena ka ovde ili ka tamo. Iako je u ovoj analizi merni instrument tretiran kvantnomehanički, tu damu smo tretirali klasično; a ona gleda i nalazi da kazaljka jasno, nesumnjivo, pokazuje ovde ili pokazuje tamo, na način koji, opet, mi ne možemo predvideti, osim tako što ćemo se pozivati na verovatnoće. Mogli bismo, naravno, tretirati i posmatračicu kvantnomehanički, ali samo po cenu da uvedemo drugog posmatrača, koji opaža zaključke naše dame: taj, recimo, čita njen članak u nekom časopisu za fiziku. I tako dalje.

Dug je spisak fizičara koji su radili sa željom da iz temelja kvantne mehanike iščiste sve izjave o verovatnoći i svaki drugi interpretativni postulat koji povlači liniju razgraničenja između posmatrača i posmatranih sistema. Traži se kvantnomehanički model sa talasnom funkcijom koji opisuje ne samo razne posmatrane sisteme, nego i nešto što predstavlja (ili zastupa) svesnog posmatrača. Sa takvim modelom pokušalo bi se

pokazati da se, kao ishod ponavljanih međudejstava posmatrača sa pojedinim sistemima, talasna funkcija kombinovanog sistema pouzdano razvija ka jednoj konačnoj talasnoj funkciji, u kojoj se posmatrač uverio da verovatnoće prilikom pojedinačnih merenja jesu ono što kopenhagensko tumačenje propisuje. Nisam ubeđen da je ovaj program rada dosad bio sasvim uspešan, ali mislim da na kraju može biti. Ako tako bude, onda će se dokazati da je Cicija Skrudž, sa svojim realizmom, sasvim u pravu.

Zaista je iznenađujuće koliko bi se malo time promenilo. Većina fizičara koristi kvantnu mehaniku svaki dan u svom radu, i ne brine o suštinskom problemu njenog tumačenja. Pošto su to razumni ljudi, sa vrlo malo vremena raspoloživog za ispitivanje svih ideja i podataka u svojim užim poljima specijalizacije, i pošto ne moraju da se brinu o ovom suštinskom problemu, oni se o njemu i ne brinu. Pre oko godinu dana, dok smo Filip Kandelas (Philip Candelas), sa Katedre za fiziku Univerziteta u Teksasu, i ja čekali lift, naš razgovor se usmerio ka jednom mladom teoretičaru koji je kao postdiplomac mnogo obećavao, a onda nestao sa vidika. Pitao sam Fila šta je zasmatalo radu tog bivšeg studenta. Fil je zatresao glavom i pokunjeno rekao: "Pokušao je da shvati kvantnu mehaniku."

Do te mere je filozofija kvantne mehanike nebitna za njenu upotrebu da čovek počne podozrevati da su sva ta duboka pitanja o smislu merenja, zapravo, prazna, i da nam ih nameće naš jezik, jezik koji se razvio u jednom svetu kojim gotovo u celosti vlada klasična fizika. Ali priznaću da mi je malčice nelagodno što ceo život provedoh radeći unutar jednog teorijskog okvira koji nikome nije baš jasan. Osim toga, nama je zaista potrebno da shvatimo kvantnu mehaniku bolje, i to nam je potrebno u kvantnoj kosmologiji, primeni kvantne mehanike na celokupnu Vaseljenu, gde se nikakav spoljašnji posmatrač ne može ni zamisliti. Sada je Vaseljena daleko prevelika da bi kvantna mehanika mogla bitno da je izmeni, ali prema teoriji Velikog praska, bilo je u prošlosti jedno vreme kad su čestice bile toliko zbijene da su kvantna dejstva morala biti značajna. Niko danas ne zna čak ni pravila za primenu kvantne mehanike u ovom kontekstu.

Meni se čini da je od još većeg značaja pitanje da li je kvantna mehanika uopšte istinita. Imala je sjajan uspeh u objašnjavanju osobina čestica, atoma i molekula, tako da mi znamo da je vrlo bliska istini. Znači, pitanje je postoji li neka druga logički moguća teorija čija su predviđanja veoma bliska, ali ne sasvim ista kao predviđanja kvantne teorije. Lako je smisliti načine da se gotovo sve fizičke teorije izmene u nekim sitnicama. Na primer, Njutnov zakon gravitacije, koji kaže da je gravitaciono privlačenje između dve čestice obrnuto srazmerno kvadratu njihovog rastojanja, mogao bi se izmeniti samo malčice, tako što bismo pretpostavili da ne odgovara sasvim kvadratu rastojanja, nego da mu je vrednost malo viša ili malo manja. Mogli bismo eksperimentalno oprobati Njutnovu teoriju, tako što bismo uporedili osmatranja Sunčevog sistema sa onima koja bi se očekivala od sistema u kome se sila teže menja malo drugačije; na taj način utvrdili bismo koliko daleko od kvadrata udaljenosti može biti ta sila. Pa, i opšta teorija relativnosti mogla bi se izmeniti malčice, na primer tako što bismo u jednačine polja uključili i složenije male članove ili bismo u teoriju mogli uvesti nova polja slabog međudejstva. Veoma je upečatljiva činjenica da dosad nije uspelo iznalaženje nijedne logički dosledne teorije koja bi bila bliska kvantnoj mehanici, osim kvantne mehanike same.

Pokušao sam i ja da sazdam jednu takvu teoriju pre nekoliko godina. Moja namera bila je ne da ozbiljno predložim alternativu kvantnoj mehanici nego da dobijem bar kakvu-takvu teoriju koja bi bila bliska kvantnoj mehanici, ali ne sasvim istovetna sa njom, i koja bi, zato, mogla poslužiti kao probni kamen za eksperimentalnu proveru. Pokušavao sam, na ovaj način, da pružim eksperimentalnim fizičarima predstavu o vrsti opita koji bi dali zanimljive načine da količinski proverimo istinitost ili neistinitost kvantne mehanike. Trebalo bi malo proveriti samu kvantnu mehaniku, a ne bilo koju određenu teoriju kvantne mehanike kao što je standardni model; iz tog razloga, da bi se mogla eksperimentalno uočiti razlika između kvantne mehanike i njenih alternativa, čovek mora da potraži neku, veoma uopštenu, crtu koja postoji u svakoj mogućoj kvantnomehantičkoj teoriji. Izmišljajući, dakle, nekakvu alternativu kvantnoj mehanici, ja sam sa zakačio za jednu njenu opštu crtu, koja mi je uvek izgledala proizvoljnija od drugih, a to je njena linearnost.

Ovde treba da kažem poneku reč o značenju linearnosti. Prisetimo se da se vrednosti talasne funkcije u svakom sistemu menjaju nekom brzinom, koja zavisi od samih tih vrednosti, ali i od prirode sistema, i od okoline. Na primer, ritam promene vrednosti za ovde kod talasne funkcije naše mitske čestice jeste jedan konstantan broj pomnožen vrednošću za ovde, plus jedan drugi konstantan broj pomnožen vrednošću za tamo. Dinamičko pravilo ove vrste naziva se linearno, zato što, ako u bilo kom trenutku izmenimo jednu vrednost talasne funkcije, pa onda ucrtamo grafikon bilo koje vrednosti talasne funkcije u bilo kom kasnijem trenutku naspram one vrednosti koju smo izmenili, dobijamo grafikon koji je prava linija, ukoliko su sve druge vrednosti ostale iste. Hajde da se izrazimo veoma približno i da kažemo: reagovanje sistema na bilo koju promenu srazmerno je toj promeni. Jedna veoma važna posledica ove linearnosti jeste to što, kao što je Cicija Skrudž istakao, kvantni sistemi ne mogu ispoljiti haotičnost: mala promena u početnim uslovima daje samo malu promenu u vrednostima talasne funkcije u bilo koje kasnije vreme.

Postoje mnogi klasični sistemi koji su u ovom smislu linearni, ali linearnost u klasičnoj fizici nije nikad tačna. Nasuprot tome, smatra se da je kvantna mehanika baš tačno linearna, pod svim okolnostima. Ako čovek želi potražiti načine za menjanje kvantne mehanike, prirodno je da oproba mogućnost da razvoj talasne funkcije ipak nije sasvim tačno linearan.

Uložio sam nešto truda, i posle izvesnog vremena smislio sam jednu malčice nelinearnu alternativu kvantnoj mehanici. Ova alternativa ostavljala je utisak da je, sa stanovišta fizike, razumna, a mogla se lako i proveriti, sa veoma visokom tačnošću, tako što bi se ispitala jedna opšta posledica linearnost - naime, činjenica da u svakom linearnom sistemu frekvencije svih oscilacija ostaju nezavisne od načina na koji su te oscilacije pobuđene. Na primer, Galilej je primetio da učestalost kojom klatno ide napred-nazad ne zavisi od toga koliko ga daleko napred i koliko daleko nazad nose ti zamasi. To je zato što, dokle god magnituda oscilacije ostaje dovoljno mala, klatno jeste linearan sistem; brzina promene njegovog otklona u jednu stranu i njegovog impulsa srazmerne su njegovom (tim redom) impulsu i otklonu u jednu stranu. Svi časovnici su zasnovani na ovoj osobini oscilacija u linearnim sistemima, svejedno da li su to časovnici sa klatnom, ili oprugom, ili kvarcnim kristalom. Pre nekoliko godina, posle jednog razgovora sa Dejvidom Vajnlendom (David Wineland) iz Nacionalnog biroa za standarde, uvideo sam da spin jezgra koje taj Biro koristi da bi odredio tačno vreme daje

divan test linearnosti kvantne mehanike: u mojoj malčice nelinearnoj alternativni kvantnoj mehanici, frekvencija precesije ose spina jezgra oko linija sila magnetnog polja zavisice, doduse veoma slabo, od ugla koji zaklapaju osa spina i linije sila magnetnog polja. Činjenica da nikakvo dejstvo slicno tome nisu primetili u Birou za standarde meni je odmah rekla da bi svi eventualni nelinearni efekti kod proučavanoga jezgra (jednog izotopa berilijuma) mogli doprinositi energiji jezgra manje od jednog milijarditog dela milijarditog dela. Posle ovog mog rada, Vajnlend i nekoliko drugih eksperimentalista u Harvardu, Princetonu i drugim laboratorijama izveli su još tačnija merenja, pa se pokazalo da bi nelinearni efekti morali biti čak i manji od toga. Dakle, ako je linearnost kvantne mehanike samo približna, onda je to, ipak, jedna veoma, veoma dobra približnost.

Ništa od ovog nije bilo osobito iznenađujuće. Čak i ako postoje neke male nelinearne korekcije koje treba uneti u kvantnu mehaniku, nije bilo razloga da očekujemo da će te korekcije biti dovoljno krupne da se pokažu u prvoj rundi opita smišljenih da bi se one otkrile. Ali ono što me jeste razočaralo bila je činjenica da je moja nelinearna alternativa kvantnoj mehanici naletela na izvesne čisto teorijske unutrašnje teškoće. Kao prvo, nisam uspevaao pronaći nikakav način da proširim nelinearnu verziju kvantne mehanike na one teorije koje su zasnovane na Ajnštajnovoj posebnoj teoriji relativnosti. Kao drugo, posle objavljivanja mog rada, N. Gisin (N. Gisin) u Ženevi i moj kolega Džozef Polčinski (Joseph Polchinski) na Univerzitetu Teksas ukazali su, nezavisno jedan od drugog, da bi u onom Ajnštajn-Podolski-Rozenovom opitu (pomenuo ga je Mali Timi) nelinearnost opšte teorije mogla biti upotrebljena da se signali šalju trenutno na velika rastojanja, što je ishod zabranjen posebnom relativnošću. Zasad sam odustao od rada na tom problemu; ja naprosto ne znam kako bi se kvantna mehanika mogla i najmanje izmeniti, a da se ne sruši cela, do temelja.

Ovaj teorijski neuspeh da se nađe prihvatljiva alternativa kvantnoj mehanici meni je nagovestio, čak i više nego što je to učinila tačna eksperimentalna potvrda linearnosti, da kvantna mehanika jeste takva kakva jeste zbog toga što bi i najmanja izmena u njoj dovela do logičkih apsurdna. Ako je to tako, onda kvantna mehanika može ostati trajni deo fizike. Štaviše, kvantna mehanika bi mogla preživeti ne samo kao aproksimacija jedne dublje istine, u onom smislu u kome je Njutnova teorija gravitacije bila aproksimacija kasnije Ajnštajnovne opšte teorije relativnosti, nego i kao tačno važeći sastavni deo konačne teorije.

5. PRIČE O TEORIJAMA I OPITIMA

Dok starimo
svet čudnovatiji postaje, obrazac složeniji
mrtvih i živih. Ne jedan silovit trenutak
izdvojen, bez 'pre' i 'posle',
nego životni vek čiji svaki trenutak bukti.

Tomas Sternz Eliot, Istočni Kouker

Sada želim ispričati tri priče o uspesima postignutim u fizici dvadesetog veka. Jedna čudnovata činjenica proističe iz te tri priče: fizičare je, iznova i iznova, usmeravalo

njihovo osećanje za lepotu, ne samo prilikom razvijanja novih teorija, nego i u odmeravanju koliko vrede one već razvijene. Čini se da mi tek učimo kako da predvidimo lepotu prirode, na jednom najtemeljnijem nivou. A šta ćete bolju potvrdu da se zaista krećemo ka otkriću konačnih zakona prirode.

Prva moja priča odnosi se na opštu teoriju relativnosti, a to je Ajnštajnova teorija gravitacije. Ajnštajn je ovu teoriju razvijao od 1907. do 1915. godine, a zatim ju je predstavio svetu nizom radova tokom 1915. i 1916. godine. Najkraće rečeno, umesto njutnovske slike, u kojoj je gravitacija privlačenje koje postoji između svih tela sa masom, opšta teorija relativnosti opisuje gravitaciju kao posledicu zakrivljenja prostorvremena, nastalog dejstvom i materije i energije. Do sredine dvadesetih, ova revolucionarna teorija već je bila opšteprihvaćena kao ispravna teorija gravitacije, i na tom položaju ostala je, evo, sve do danas. Kako se ovo dogodilo?

Ajnštajn je 1915. godine uvideo da njegova teorija rešava jedan stari sukob između uočenih osobina Sunčevog sistema i njutnovske teorije. Još od 1859. bilo je teško shvatiti orbitu planete Merkur saglasno pravilima Njutnove teorije. Prema Njutnovoju mehanici i teoriji gravitacije, ako u Vaseljenu ne bi postojalo baš ništa osim Sunca i jedne jedine planete, ta planeta bi se kretala u savršenoj elipsi oko Sunca. Orijehtacija te elipse - usmerenost njene duže i kraće ose - nikada se ne bi izmenila; orbita bi se držala kao da je pričvršćena, u prostoru. Pošto Sunčev sistem sadrži nekoliko različitih planeta, koje malčice uznemiravaju gravitaciono polje Sunca, orbite svih planeta (a sve te orbite su eliptične) ispoljavaju svojstvo precesije; to znači, polagano se okreću. U devetnaestom veku doznalo se da orbita planete Merkur menja svoju orijentaciju za približno 575 lučnih sekundi u jednom veku. (Ugao od jednog lučnog jednog stepena deli se na 3.600 lučnih sekundi.) Međutim, Njutnova teorija zahteva da ta precesija iznosi 532 lučne sekunde u jednom stoleću; razlika, dakle, iznosi 43 lučne sekunde u svakom veku. Drugi način da kažemo ovo isto bio bi sledeći: ako čekate 225.000 godina, Merkurova eliptična orbita okrenuće se za jedan pun krug kroz kosmos, vrteći se oko Sunca, i naći će se opet u onoj istoj orijentaciji koju ima danas. A Njutnova teorija predviđa da bi trebalo da čekate 244.000 godina. Dakle, nije neka žestoka drama; ali ipak, u pitanju je nepodudarnost koja je astronomima smetala više od pola veka. Kad je Ajnštajn 1915. godine izračunao posledice svoje nove teorije, našao je da ona pretpostavlja Merkurovu precesiju koja je brža za 43 lučne sekunde godišnje. (Jedno od dejstava koja doprinose ovom preteku precesije u Ajnštajnovoj teoriji jeste dodatno gravitaciono polje koje nastaje zbog prisustva energije samog gravitacionog polja. Po Njutnu, gravitaciju proizvodi samo masa, ne energija, pa ne bi ni moglo biti takvog dodatnog gravitacionog polja.) Ajnštajn je posle pričao kako je zbog ovog uspeha bio nekoliko dana van sebe od radosti.

Posle rata, astronomi su podvrgli opštu teoriju relativnosti još jednoj eksperimentalnoj proveru: naime, izmerili su koliko Sunce zakrivljuje zrake svetlosti koji prolaze blizu njega. Ovo je urađeno za vreme pomračenja Sunca godine 1919. Fotoni u zraku svetlosti prema Ajnštajnovoj teoriji takođe su podložni dejstvu gravitacije, koja vuče taj zrak ka sebi, baš kao što kometa koja iz velikih daljina uđe u Sunčev sistem mora znatno izmeniti putanju, napraviti zaokret oko Sunca i onda se odbaciti nazad u međuzvezdani prostor. Naravno, savijanje zraka svetlosti znatno je manje nego savijanje putanje komete, zato što svetlost putuje mnogo brže; isto tako, putanju brže komete Sunce će povijati manje, a putanju sporije komete uspeće da povije više. Ako je opšta

teorija relativnosti tačna, povijanje svetlosnog zraka koji samo što ne okrzne Sunce iznosiće 1,75 lučnih sekundi, odnosno oko pet desetihiljaditih delova ugla od jednog stepena. (Da bi izmerili otklon od pravolinijske putanje zraka svetlosti sa udaljene zvezde, astronomi moraju čekati potpuna pomračenja Sunca. Tada Mesec zakloni sjajni Sunčev disk i moguće je videti zrak svetlosti zvezde koji prolazi tik pored Sunca. Zato astronomi izmere položaje nekoliko zvezda na nebeskoj sferi šest meseci pre pomračenja, kad je Sunce na drugoj strani neba, onda čekaju šest meseci i, kad počne pomračenje, izmere koliko su zraci tih zvezda povijeni usled prolaska pored Sunca, a to se vidi na taj način što se položaj tih zvezda na nebu prividno promeni.) Godine 1919. britanski astronomi preduzeli su pohod radi posmatranja pomračenja Sunca. Njihova ekspedicija otišla je na dva ostrva u Atlantiku, jedno u blizini severoistočne obale Brazila, a drugo u Gvinejskom zalivu. Ustanovili su da povijanje svetlosnih zraka sa nekoliko zvezda zaista jeste onoliko koliko je to Ajnštajn predvideo, uzevši u obzir i nepouzdanosti upotrebljenih instrumenata za posmatranje. Tako je opšta teorija relativnosti stekla priznanje celog sveta i postala tema za ćaskanje uz koktele svuda na ovoj planeti.

Znači, šta ima više da se priča, sve je jasno, zar ne? Opšta teorija relativnosti nasledila je Njutnovu teoriju gravitacije zato što je objasnila jednu staru nepravilnost, preveliku precesiju Merkurove orbite, a i zato što je tačno predvidela jedno upečatljivo novo dejstvo, povijanje svetlosnih zraka koji prolaze blizu Sunca.

Nepravilnost Merkurove orbite i povijanje svetlosti bili su, naravno, važni delovi te priče. Ali kao i sve drugo u istoriji nauke (ili u istoriji ma čega drugog, pretpostavljam), i ovo je jednostavno kad se gleda izdaleka, a kad pogledaš malo поближе, jednostavnost iščezava.

Razmotrimo sukob između Njutnove teorije i opaženog ponašanja Merkura. Zar nije ta nepodudarnost jasno pokazivala, čak i bez opšte teorije relativnosti, da sa Njutnovom teorijom gravitacije nešto nije u redu? Možda; a možda i ne. Svaka teorija slična Njutnovoju teoriji gravitacije koja ima ogroman raspon primene uvek je podložna mnoštvu opitnih nepravilnosti. Ne postoji teorija koju nije osporio bar jedan opit. Njutnovu teoriju Sunčevog sistema opovrgavali su nalazi raznih astronomskih posmatranja, od početka do kraja istorije te teorije. Do 1916. godine nagomilalo se tu štošta: ne samo ta jedna nepravilnost orbite Merkurove nego i nepravilnosti u kretanju Halejeve i Enkeove komete, kao i u kretanju Meseca. U ta četiri slučaja javljala su se kretanja u neskladu sa Njutnovom teorijom. Sad znamo da nepravilnosti sa kometama i Mesecom nisu imale nikakve veze sa temeljnim pitanjima teorije gravitacije. Halejeva i Enkeova kometa su odstupale od ponašanja očekivanog po Njutnovoju teoriji zato što tada niko nije umeo da valjano izračuna pritisak gasova koji beže iz rotirajuće komete kad se ona, prolazeći pored Sunca, zagreva. Slično tome, kretanje Meseca je vrlo složeno zbog toga što je Mesec prilično veliki objekat, te zato podložan svakojakim složenim plimnim silama. Kad gledamo unazad, nismo iznenađeni da se kretanje ta tri objekta nije podudaralo sa Njutnovom teorijom. Bilo je, slično ovome, i nekoliko predloga kako da se nepravilnosti Merkurove orbite objasni unutar Njutnove teorije. Jedna mogućnost, koja se početkom ovog veka uzimala za ozbiljno, bila bi da se između Merkura i Sunca nalazi neka materija koja malčice uznemirava Sunčevo gravitaciono polje. Ne postoji nikad, ni u jednom neslaganju između teorije i opita, ništa što bi ustalo i mahnulo zastavicom i povikalo: "Ja sam važna nepravilnost!" Nije postojao nijedan pouzdan način da naučnik, kritički osmatrajući podatke u poslednjim godinama devetnaestog ili u prvoj deceniji

dvadesetog veka, zaključi da je bilo koja od te četiri nepravilnosti u Sunčevom sistemu značajna. Tek uz pomoć teorije sagledalo se koja su osmatranja važna.

Kad je Ajnštajn izračunao, godine 1915, da opšta teorija relativnosti pretpostavlja dodatnu Merkurovu precesiju od 43 lučne sekunde godišnje, tačno kao što je posmatranjima utvrđeno, onda je to, naravno, postalo važan deo dokaza u prilog njegovoj teoriji. Zapravo, kao što ću dokazati kasnije, možda je trebalo da stvar bude još ozbiljnije shvaćena. Možda zbog širokog izbora drugih mogućih objašnjenja za Merkurovu nepravilnost, ili zbog predrasude da teoriju ne treba braniti podacima koji su bili poznati još pre njenog formulisanja, ili možda naprosto zbog Prvog svetskog rata - tek, Ajnštajnov uspeh u objašnjavanju Merkurove precesije nije imao ni približno onoliki odjek u javnosti kao izveštaj britanskog pohoda koji je prilikom pomračenja 1919. potvrdio Ajnštajnovu prognozu o savijanju svetlosnih zraka pod dejstvom Sunčeve gravitacije.

Posvetimo se, zato, sad tom savijanju zraka. Posle 1919. astronomi su nagrnuli da proveravaju Ajnštajnovu prognoze i pri raznim drugim pomračenjima. Bilo je jedno pomračenje 1922. godine, koje se moglo gledati iz Australije; pa jedno godine 1929. na Sumatri; pa jedno 1936. godine u SSSR-u; i jedno 1947. godine u Brazilu. Neka od tih posmatranja dala su rezultate u skladu sa Ajnštajnovom teorijom, ali druga su dala rezultate u ozbiljnom neskladu sa njom. Iako je pohod iz 1919. prijavio 10% merne nesigurnosti pri posmatranju desetak zvezda, kao i podudaranje sa Ajnštajnovim predviđanjima do tačnosti od približno 10%, nekoliko pohoda pri potonjim pomračenjima nije uspeo postići toliku tačnost, čak ni uz osmatranje daleko većeg broja zvezda. Istina je, doduše, da je pomračenje 1919. godine bilo izuzetno pogodno za taj posao. Pa ipak, sklon sam da verujem da su se članovi pohoda iz 1919. malo zaneli svojim oduševljenjem za teoriju relativnosti, te da je to uticalo na njihov rad kad su analizirali podatke.

Još u ono vreme, neki naučnici su sa uzdržanošću primili podatke dobijene prilikom pomračenja iz 1919. Podnoseći izveštaj Nobelovom odboru 1921. godine, Svante Arenijus (Svante Arrhenius) pomenuo je razne kritike upućene tom izveštaju o savijanju svetlosti. Jednom prilikom, ja sam u Jerusalimu imao susret sa jednim postarijim profesorom, Samburskim (Sambursky), koji je 1919. bio Ajnštajnov kolega u Berlinu. On mi je rekao da su astronomi i fizičari u Berlinu sa skepsom primili tvrdnje britanskih astronoma da je Ajnštajnova teorija proverena sa baš tolikom tačnošću.

Ovde ja nipošto ne sugerišem da se nekakva nečasna namera uvukla u rad tog pohoda. Zamislite samo koliko vas raznih neizvesnosti opseda dok merite to savijanje svetlosti što prolazi pored Sunca. Gledaš neku zvezdu koja iskrсне na nebu blizu Sunčevog diska, čim Mesec zakloni Sunce. Porediš položaje te zvezde na dve fotografske ploče, načinjene u razmaku od šest meseci. Šta ako je teleskop bio malo drugačije fokusiran? Mogla se i foto-ploča za šest meseci malo raširiti ili skupiti. I tako dalje. Kao i u svim opitima, potrebne su svakojake korekcije. Astronom unosi te ispravke najbolje što može. Ali ako je tačan odgovor već unapred poznat, postoji u čoveku prirodna težnja da unosi ispravku za ispravkom sve dok ne dobije 'dobar' rezultat, da bi potom prestao da unosi ispravke. I zaista, astronomi iz pohoda prilikom pomračenja iz 1919. bili su optuženi za pristrasnost zato što su izostavili podatke sa jedne fotografske ploče, rezultate koji bi bili u neskladu sa Ajnštajnovim predviđanjem; a oni su se branili da je ta ploča bila neispravno snimljena zbog promene u fokusiranju teleskopa. Sada, gledajući unazad, zaključujemo da su Britanci o toj stvari rekli istinu, ali ne bih bio iznenađen da su

preduzimali sve nove i nove ispravke, sve dok konačno nisu svoje rezultate uklopili u Ajnštajnovu teoriju.

Opšte je prihvaćeno uverenje da pravi test valjanosti jedne teorije jeste poređenje njenih predviđanja sa kasnijom opitnom proverom. Pa ipak, koristeći se nadmoćnim položajem ljudi koji sa današnjim znanjem gledaju šta se radilo u prošlosti, mi možemo reći da je Ajnštajново uspešno objašnjenje, u godini 1915, već ranije izmerene nepravilnosti Merkurove orbite bilo daleko bolja potvrda njegove opšte teorije relativnosti nego ona druga, kasnija potvrda, zasnovana na savijanju zraka zvezdane svetlosti prilikom pomračenja Sunca godine 1919. i kasnije. Dakle, u slučaju opšte teorije relativnosti, jedna retrodikcija, izračunavanje već znanog nepravilnog kretanja Merkura, bila je u stvari test daleko pouzdaniji nego kasnija predikcija novog učinka, savijanja svetlosti u gravitacionim poljima.

Mislím da ljudi naglašavaju predviđanje kao glavni metod potvrđivanja istinitosti naučnih teorija zato što je klasični stav komentatora nauke sledeći: nemati poverenja u teoretičara. Ljudi se plaše da će teoretičar podešavati svoju teoriju da bi se uskladila sa već poznatim opitnim činjenicama, i da, zbog toga, sklad teorije sa već znanim činjenicama nije pouzdan dokaz njene tačnosti.

Ali, iako je Ajnštajn već 1907, ako ne i ranije, doznao za preveliku precesiju Merkura, niko kome je iole poznato kako je on razvijao opštu relativnosti, niko ko je iole pratio Ajnštajnovu logiku, neće ni slučajno pomisliti da je on razvijao relativnost zato da bi objasnio tu precesiju. (Uskoro ću se vratiti Ajnštajnovom lancu razmišljanja.) Često treba biti nepoverljiv upravo prema uspešnom predviđanju. U slučaju predviđanja koje se ostvari, kao što se ostvarilo Ajnštajново o savijanju svetlosnih zraka gravitacijom Sunca, istina je da teoretičar ne zna, dok razvija teoriju, kakvi će se nalazi kasnije dobiti prilikom provere; ali, s druge strane, eksperimentator i te kako zna teorijski rezultat kad kreće u opit. To može dovesti, a u istoriji i jeste dovodilo, do pogrešaka, jednako često kao i preterano oslanjanje na uspešno naknadno potvrđivanje teorije. Ponavljam: neće eksperimentatori krivotvoriti podatke. Koliko je meni poznato - zaista, po svemu onome što sam ikada čuo i video - u celokupnoj istoriji fizike nije se nikada dogodio ni jedan jedini važan slučaj bukvalnog krivotvorenja podataka. Ali kad eksperimentator zna rezultat koji bi, po teoriji, trebalo da dobije, njemu je teško da prestane tragati za greškama u svom radu kad taj rezultat ne dobija, i jednako teško, kad dobije taj rezultat, da nastavi traganje za greškama. U prilog poštenja eksperimentatora ide to što ne dobiju svaki put one rezultate koje očekuju.

Da sumiram dosadašnju priču: videli smo da su rani opitni dokazi za opštu teoriju relativnosti knjiga koja je spala na samo dva slova: na jedan pozitivan dokaz a posteriori (o nepravilnosti u Merkurovom kretanju) koji verovatno nije shvaćen onako ozbiljno kako je trebalo da bude shvaćen, i na jedno uspešno predviđanje, o defleksiji svetlosti u prolasku pored Sunca, čiji je uspeh silno odjeknuo širom sveta, iako podaci nisu bili baš tako ubedljivi kako se tada mislilo, i iako su još tada neki naučnici, možda malobrojni, a možda i ne baš tako malobrojni, dočekali te podatke sa skepsom. Tek posle Drugog svetskog rata nove tehnike u radarskoj i radio-astronomiji omogućile su da se izvedu novi, daleko tačniji testovi u cilju provere opšte teorije relativnosti. Sada možemo kazati da su predviđanja teorije relativnosti u vezi sa savijanjem (kao i sa kašnjenjem) svetlosnog zraka koji prolazi pored Sunca, odnosno njena predviđanja u vezi sa orbitalnim kretanjem ne samo Merkura, nego i asteroida Ikarus i drugih prirodnih i

veštačkih tela, potvrđena tako dobro, da su preostale opitne nepouzdanosti u iznosu manjem od 1%. Ali na ovo je trebalo dugo, dugo čekati.

Svejedno, iako se u prvim decenijama oslanjala samo na tako slabe opitne dokaze, Ajnštajnova opšta teorija relativnosti postala je ona standardna, zvanično važeća, uneta u udžbenike, još dvadesetih godina, i održala se na tom položaju iako se u dvadesetim i tridesetim godinama čulo, od raznih pohoda koji su pratili pomračenja, da novi nalazi posmatranja jesu u najboljem slučaju dvosmisleni. Pamtim kako sam, učeći opštu teoriju relativnosti u pedesetim godinama, pre nego što su savremena radarska astronomija i radio-astronomija počele davati upečatljive nove dokaze o tačnosti te teorije, verovao, zapravo, smatrao da se samo po sebi podrazumeva da je opšta teorija relativnosti manje-više tačna. Možda smo svi mi bili naprosto lakoverni i imali sreće, ali ne verujem da je to pravi odgovor. Verujem da je opšta teorija relativnosti bila tako rado prihvaćena dobrim delom zbog privlačnosti same teorije - drugim rečima, zbog njene lepote.

Ajnštajn je, razvijajući opštu teoriju relativnosti, išao istom linijom razmišljanja koju su jasno mogli pratiti i fizičari potonjih pokolenja kad su preduzimali da tu teoriju uče; a ta linija razmišljanja delovala je i na njih jednako zavodljivo kao i na samog Ajnštajna. Početak ove priče možemo naći u godini 1905, Ajnštajnovoj annus mirabilis. U toj jednoj godini on je još radio na kvantnoj teoriji svetlosti i na teoriji kretanja čestica u fluidima, ali razvio je i svoj novi pogled na prostor i vreme, koji je danas poznat pod nazivom posebna teorija relativnosti. Ta teorija dobro se uklopila sa prihvaćenom teorijom elektriciteta i magnetizma, Maksvelovom elektrodinamikom. Posmatrač koji bi se kretao stalnom brzinom, uočio bi da su prostorni i vremenski intervali, a i električna i magnetna polja promenjeni njegovim kretanjem u tačno tom obimu da Maksvelove jednačine ostanu u celosti na snazi. (Nimalo iznenađujuće, jer je Ajnštajn svoju teoriju razvijao imajući od početka nameru da zadovolji upravo taj zahtev.) Ali posebna teorija relativnosti nije se nimalo dobro uklopila sa Njutnovom teorijom gravitacije. Kao prvo, u Njutnovoj teoriji gravitaciona sila između Sunca i neke planete zavisi od njihove udaljenosti, odnosno mesta gde se nalaze u isto vreme, dok u posebnoj teoriji relativnosti ne postoji nikakvo apsolutno značenje istovremenosti - različiti posmatrači, koji se različito kreću, mogu se ne slagati između sebe ako se zapitaju da li se neki događaj desio pre nekog drugog događaja, posle njega, ili istovremeno.

Na nekoliko načina se mogla Njutnova teorija 'zakrpiti' da bi bila dovedena u sklad sa posebnom relativnošću, i Ajnštajn je bar jedan od tih načina oprobao pre nego što je došao do opšte relativnosti. Ključni podatak koji ga je poveo stazom ka opštoj relativnosti odnosio se na jedno dobro znano svojstvo kojim se odlikuje gravitacija: sila gravitacije srazmerna je masi tela na koju deluje. Ajnštajn je razmišljao da se to baš podudara sa takozvanim inercijalnim silama koje deluju na nas kad se krećemo neujednačenom brzinom ili menjamo pravac kretanja. Inercija jeste ona sila koja gurne putnike dublje u njihova sedišta kad avion počne ubrzavati svoje kretanje po pisti sa koje će uzleteti. Centrifugalna sila zahvaljujući kojoj Zemlja ne pada na Sunce takođe je inerciona sila. Sve te inercione sile su, kao i gravitaciona, srazmerne masi tela na koje deluju. Mi, na Zemlji, ne osećamo ni gravitaciono polje Sunca, a ni centrifugalnu silu koju stvara Zemljino okretanje oko Sunca zato što su te dve sile jednake i međusobno se potiru; ali ova ravnoteža bila bi narušena ako bi samo jedna od njih bila srazmerna masi objekata na koje deluje, a druga ne. Onda bi neki predmeti popadali sa Zemlje na Sunce, a neki drugi bi odleteli sa Zemlje u međuzvezdani prostor. Uopšteno govoreći, činjenica

da su i sila gravitacije i sila inercije srazmerne masi tela na koje deluju, ali ne zavise ni od jedne druge odlike tog tela, omogućuje nam da u bilo kojoj tački svakog gravitacionog polja prepoznamo jedan 'referentni okvir slobodnog padanja' (inercijalni sistem) u kome se ne oseća ni prva sila, a ni druga, zato što su njih dve tu savršeno uravnotežene za sva tela. Kad osećamo težu, ili kad osećamo da nas vuče inercija, to je zato što nismo u slobodnom padu. Na primer, na površini Zemlje telo u slobodnom padu ubrzava ka središtu Zemlje stopom od 9,81 metar u sekundi na kvadrat, i mi ćemo tu gravitacionu silu osećati, osim ako nekim slučajem ne jurimo nadole i ne ubrzavamo svoj pad tačno toliko. Ajnštajn je napravio logički skok i počeo nagađati da su sila gravitacije i sila inercije, u osnovi, jedna ista stvar. On je ovo nazvao načelom ekvivalencije gravitacije i inercije, ili, sažeto rečeno, načelom ekvivalencije. Prema ovom načelu, svako gravitaciono polje je u celosti opisano ako kažemo koji je njegov referentni sistem za slobodni pad u svakoj tački prostora i vremena.

Ajnštajn je utrošio gotovo deset godina posle 1907. godine tragajući za odgovarajućim matematičkim okvirom za ove zamisli. Naposljetku je našao tačno ono što mu je bilo potrebno, u dubokoj analogiji između uloge gravitacije u fizici i uloge zakrivljenja u geometriji. Činjenica da se može postići da sila teže nestane tokom jednog kraćeg vremena u bilo kojoj tački gravitacionog polja i u maloj oblasti oko te tačke (tako što ćemo usvojiti odgovarajući referentni sistem slobodnog pada), sasvim nalikuje na činjenicu da mi, na zakrivljenim površinama, možemo napraviti mapu zakrivljenosti i u nju tačno uneti daljine i pravce, za bilo koju tačku koja nam se sviđa i za njeno neposredno, vrlo blisko, susedstvo. Ako je jedna površina zakrivljena, onda nema te mape koja će tačno prikazati sve daljine i pravce na njoj; mapa bilo kog prostranog područja predstavljaće kompromis, na neki način će izobličiti daljine ili pravce. Mnoge mape sveta prave se pomoću poznate Merkatorove projekcije, koja dobro prikazuje pravce i daljine blizu polutara, ali ih sasvim izobličuje blizu polova, tako da se Grenland 'naduje' i postane mnogo puta veći nego što stvarno jeste. Na isti način, jedan od znakova da smo u gravitacionom polju jeste taj da ne možemo pomoću jednog referentnog sistema slobodnog pada poništiti gravitaciona i inerciona dejstva svuda.

Sa ove analogije između gravitacije i zakrivljenosti Ajnštajn je načinio sledeći skok - do zaključka da je gravitacija u osnovi samo posledica zakrivljenosti vremena i prostora. Da bi ovu teoriju primenio, bila mu je potrebna neka matematička teorija zakrivljenih prostora koja bi išla dalje od dobro znane geometrije Zemljine sferične, dvodimenzionane površine. Ajnštajn je bio najveći svetski fizičar posle Njutna, a matematiku je znao jednako dobro kao većina fizičara tog doba, ali ipak nije bio matematičar. Konačno je našao tačno ono što mu je bilo potrebno, i to već urađeno, spremno za upotrebu: našao je teoriju zakrivljenih prostora koju su razradili Riman i drugi matematičari u prethodnom veku. U svom konačnom obliku, opšta teorija relativnosti i nije ništa drugo nego ponovljeno tumačenje već ranije stvorene matematike zakrivljenih prostora, ali sad u terminima gravitacije, zajedno sa jednom jednačinom polja koja tačno određuje koliku zakrivljenost će proizvesti bilo koja data količina materije ili energije. I, za divno čudo, opšta teorija relativnosti dala je, za tela u Sunčevom sistemu koja imaju male gustine i male brzine, rezultate sasvim iste kao Njutnova teorija gravitacije; razlika se mogla uočiti tek na nekim sićušnim dejstvima kao što je precesija orbita ili savijanje svetlosti.

Imaću kasnije još ponešto da kažem o lepoti opšte teorije relativnosti. Nadam se da sam dosad uspeo da vam, bar donekle, dočaram privlačnost te zamisli. Uveren sam da je upravo ta unutrašnja privlačnost održala veru fizičara u opštu teoriju relativnosti u onim decenijama kad su dokazi prikupljeni na uzastopnim posmatranjima raznih pomračenja ostajali onako razočaravajući.

Ovaj utisak postaje jači kad pogledamo kako je opšta relativnost primljena u prvih nekoliko godina, pre pohoda povodom pomračenja iz 1919. godine. Najvažnije je, zapravo, bilo kako ju je primio sam Ajnštajn. Na dopisnici koju je poslao starijem teoretičaru Arnoldu Zomerfeldu (Arnold Sommerfeld), a na kojoj stoji datum '8. februar 1916', dakle tri godine pre pohoda povodom pomračenja, Ajnštajn komentariše: "U tačnost opšte teorije relativnosti bićeš ubeđen kad je pročitaš. Iz tog razloga, ja je neću braniti ni jednom jedinom reči." Nemam načina da saznam u kojoj meri je uspešno izračunavanje precesije Merkurove orbite doprinelo Ajnštajnovom pouzdanju u opštu teoriju relativnosti godine 1916, ali znatno pre toga, pre nego što je izvršio to izračunavanje, nešto mu je moralo dati dovoljno pouzdanja u ideje koje leže u temeljima te teorije - toliko pouzdanja da je on nastavio na njoj raditi; a to 'nešto' su jedino mogle biti same te ideje.

Ne bi trebalo da potcenjujemo ovo rano pouzdanje. Istorija nauke nudi nam nebrojeno mnoštvo primera naučnika koji su imali dobre ideje, ali ih nisu razradili, a godinama kasnije pokazalo se (često na taj način što su neki drugi naučnici utvrdili) da te zamisli vode ka značajnom napretku. Česta je greška pomisliti da svaki naučnik odano brani sve svoje ideje. Vrlo često, naučnik koji se prvi doseti neke mogućnosti podvrgava svoju zamisao neosnovanoj ili preteranoj kritici, zato što bi on (ili ona) morao raditi dugo i naporno ili (još važnije) odustati od neke druge ideje ako bi za ovom prvom ozbiljno pošao.

Desilo se, eto, da fizičari jesu bili impresionirani opštom teorijom relativnosti. Jedna grupa znalaca nastanjenih u Nemačkoj i drugde čula je za opštu teoriju relativnosti i došla do zaključka da je to važna i obećavajuća teorija znatno pre pohoda povodom pomračenja iz 1919. U ovoj grupi bili su ne samo Maks Born i Zomerfeld u Minhenu, Dejvid Hilbert u Getingenu, i Hendrik Lorenc u Lajdenu (sa svima njima Ajnštajn je bio u dodiru tokom rata), nego i Pol Lanžven (Paul Langevin) u Francuskoj i Artur Edington (Arthur Eddington) u Engleskoj, čovek koji je pokrenuo pohod povodom pomračenja 1919. godine. Poučno je videti kako je Ajnštajn od 1916. kandidovan za Nobelovu nagradu. Prvi put ga je nominovao Feliks Erenhaft (Felix Ehrenhaft) već godine 1916, i to za teoriju o Braunovom kretanju i za posebnu i opštu relativnost. Godine 1917. A. Has (A. Haas) ga je nominovao, predlažući da Ajnštajn tu nagradu dobije za opštu teoriju relativnosti i navodeći, kao dokaz, uspešno izračunavanje precesije Merkurove orbite. Te iste, 1917. godine Emil Varburg (Emil Warburg) nominovao je Ajnštajna, navodeći nekoliko njegovih doprinosa nauci, pa i opštu teoriju relativnosti. Još nekoliko predlagača nominovalo je Ajnštajna tokom godine 1918. sa sličnim obrazloženjima. Onda je Maks Plank, jedan od očeva moderne fizike, 1919. godine, i to četiri meseca pre pohoda povodom pomračenja, nominovao Ajnštajna za opštu teoriju relativnosti, primetivši tim povodom da je Ajnštajn "učinio prvi korak dalje od Njutna".

Nemam nameru da ovim sugerišem da je svetska zajednica fizičara jednoglasno i bez rezerve stala na stranu opšte teorije relativnosti od početka. Nije. Na primer, Nobelov odbor je 1919. godine u svome izveštaju preporučio da se pričeka do 29. maja, dana

pomračenja, pa tek potom da se donese odluka o opštoj relativnosti; a kad je Ajnštajnu konačno data Nobelova nagrada, godine 1921, nije eksplicitno rečeno da je to za teoriju bilo opšte, bilo posebne relativnosti, nego je sročeno ovako: "Za njegove doprinose teorijskoj fizici, a naročito za otkriće zakona o fotoelektričnom efektu".

Nije stvarno mnogo važno ustanoviti tačno trenutak kad su fizičari postali 75% uvereni, ili 90% ili 99% uvereni da je opšta teorija relativnosti tačna. Za napredovanje fizike od bitnog značaja jeste ne zaključak da je neka teorija istinita, nego zaključak da neka teorija zaslužuje da se shvati ozbiljno - i da se predaje postdiplomcima, da se o njoj pišu udžbenici, a nadasve, da tu teoriju ugradiš u svoj sopstveni istraživački rad. Sa te tačke gledanja, najpresudniji rani preobraćenici koje je opšta teorija relativnosti osvojila (posle samog Ajnštajna) bili su oni britanski astronomi koji su stekli uverenje ne da je ta teorija istinita nego da je dovoljno verodostojna i lepa da njoj posvete jedan delić svojih istraživačkih karijera, kako bi bila proverena; oni su, u tom cilju, potegli na put iz Britanije do mesta udaljenih više hiljada kilometara, i posmatrali su pomračenje 1919. Ali još pre toga, pre nego što je opšta teorija relativnosti upotpunjena i pre nego što je Merkurova orbitalna precesija uspešno izračunata po njoj, lepota Ajnštajnovih ideja navela je Ervina Frojndliha (Erwin Freundlich) sa Kraljevske opservatorije u Berlinu da pripremi ekspediciju na Krim, koju je finansirao Krup, sa ciljem da osmatra pomračenje do koga je došlo 1914. godine. (Frojndlih nije uspeo obaviti posmatranja zbog rata - štaviše, u Rusiji je nakratko dopao i u zatvor; to mu je bila nagrada za uloženi trud.)

Prijem na koji je nailazila opšta teorija relativnosti nije zavisio samo od opitnih podataka, niti, opet, samo od unutrašnjih kvaliteta te teorije, nego od zamršene mreže vršenja opita i teoretisanja. Ja sam ovde naglašavao teorijsku stranu, da bih napravio protivtežu naivnom prenaplašavanju opita. Naučnici i istoričari nauke odavno su odustali od starog gledišta Frensisa Bejkona (Francis Bacon) da naučne hipoteze treba razvijati strpljivim i nepristrasnim posmatranjem prirode. Očigledno je, i zaista je nesumnjivo, da Ajnštajn nije razvijao opštu teoriju relativnosti zureći u astronomske podatke. Pa ipak, i danas nalazimo da ljudi široko prihvataju uverenje Džona Stjuarta Mila (John Stuart Mill) da teorije možemo proveriti jedino posmatranjem. Dok je, kao što smo videli, proveravanje opšte teorije relativnosti u stvarnosti išlo kao nerazdvojan proces estetskih ocena i opita.

U izvesnom smislu može se reći da je od samog početka postojala ogromna količina opitnih podataka u prilog teoriji relativnosti. U to spadaju posmatranja načina na koji Zemlja kruži oko Sunca i kako Mesec kruži oko Zemlje; isto tako, sva druga podrobna posmatranja Sunčevog sistema, čak i ona koja je vršio Tiho Brahe (Tycho Brahe), pa i još ranija; a sva ta posmatranja već su bila objašnjena Njutnovom teorijom. Ovo može, na prvi pogled, izgledati kao vrlo neobična vrsta dokaza. Ne samo što sad navodimo kao dokaze za opštu teoriju relativnosti izračunavanje planetnih kretanja koje je bilo već obavljeno pre nego što je ta teorija nastala - nego i govorimo o astronomskim posmatranjima urađenim mnogo pre Ajnštajna i odavno objašnjenim pomoću druge teorije, Njutnove. Kako se bilo kakva predviđanja ili naknadni dokazi u prilog takvih posmatranja mogu predstaviti kao trijumf opšte teorije relativnosti?

Da bismo ovo razumeli, moramo pažljivije osmotriti i Njutnovu i Ajnštajnovu teoriju gravitacije. Njutnova fizika jeste objasnila gotovo sva primećena kretanja u Sunčevom sistemu, ali za to je platila određenu cenu: morala se osloniti na jednu grupu polaznih pretpostavki koje su bile donekle proizvoljne. Na primer, pogledajte zakon koji

kaže da se gravitaciona sila koju proizvodi bilo koje telo smanjuje upravo srazmerno povećanju kvadrata rastojanja od tog tela. U Njutnovoj teoriji ne postoji nikakav ubedljiv razlog zašto bi to morala biti baš ta veličina - rastojanje dignuto na kvadrat. Njutn je razvio zamisao o tome zato da bi objasnio već poznate činjenice o Sunčevom sistemu - na primer, Keplerovu relaciju između veličine planetnih orbita i vremena potrebnog da planete obiđu oko Sunca. Da nije bilo tih već izvršenih posmatranja, čovek bi mogao u Njutnovu teoriju uneti, umesto rastojanja dignutog na kvadrat, rastojanje dignuto na kub, ili dignuto na 2,01, bez i najmanje izmene u konceptualnom okviru teorije. Takva jedna promena bila bi samo menjanje jedne sporedne pojedinosti u teoriji. Ajnštajnova teorija bila je daleko manje proizvoljna, imala je daleko veću krutost. Kad se tela kreću polako kroz slaba gravitaciona polja, gde čovek može legitimno govoriti o običnoj gravitacionoj sili, opšta teorija relativnosti zahteva da sila privlačenja opada baš srazmerno kvadratu rastojanja. Ne postoji način da vi 'malo podesite' Ajnštajnovu teoriju i ugradite vrednost makar i malčice drugačiju, umesto kvadrata rastojanja, a da pri tom ne pogazite i najosnovnije postavke same teorije.

Osim toga, kao što je Ajnštajn u svojim spisima veoma isticao, činjenica da dejstvo sile teže na mali predmet jeste srazmerno masi tog predmeta, ali ne zavisi ni od koje druge osobine tog predmeta, nekako se proizvoljno pojavljuje u Njutnovoj teoriji. Moglo je biti drugačije, moglo je dejstvo sile teže zavisiti bar donekle i od veličine, ili oblika, ili hemijskog sastava tog malog tela, a da se konceptualna osnova Njutnove teorije nimalo ne naruši. U Ajnštajnovoj teoriji, sila kojom gravitacija deluje na bilo koji predmet mora biti srazmerna njegovoj masi i nezavisna od ma koje druge osobine tog predmeta; Strogo uzev, ovo važi samo za male i spore predmete. Kod predmeta koji se kreće brzo, gravitaciono delovanje na njega zavisi i od njegovog impulsa. Iz tog razloga, gravitaciono polje Sunca može savijati zrake svetlosti, koji imaju impuls, ali nemaju masu. da nije tako, onda bi se gravitacione i inercione sile uravnoteživale različito kod raznih tela, pa se ne bi moglo govoriti o inercijalnom referentnom sistemu u kome nijedno telo ne oseća posledice gravitacije. Ovim bi bilo isključeno svako objašnjavanje gravitacije kao geometrijskog dejstva prostorvremenske zakrivljenosti. Prema tome, vidimo, još jednom, da Ajnštajnova teorija ima tu krutost koja je Njutnovoj nedostajala; zato je Ajnštajn mogao osetiti da je kretanje Sunčevog sistema objasnio bolje nego što je to Njutn uspeo.

Na nesreću, ovu postavku o krutosti fizičkih teorija ne možemo jasno definisati. I Njutn i Ajnštajn su znali opšte odlike kretanja planeta pre nego što su formulisali svoje teorije; Ajnštajnu je bilo jasno da će morati da ugradi nešto nalik na zakon o kvadratu rastojanja da bi njegova teorija mogla uspešno ponoviti ono što je Njutn već dobro objasnio. Osim toga, bilo mu je vrlo jasno da će morati na kraju da ima gravitacionu silu srazmernu masi. Tek naknadno, kad mi gledamo celinu te teorije u njenom konačno razvijenom obliku, u mogućnosti smo da kažemo da je Ajnštajnova teorija objasnila to pravilo o kvadratu rastojanja i to drugo o srazmernosti gravitacione sile masi - jer ocenjujemo da bi Ajnštajnova teorija, da je bila nekako preoblikovana da dopusti neku alternativu pravilu o kvadratu rastojanja ili da dopusti nejednakost gravitacione mase i inercione mase, postala odmah nepodnošljivo ružna. I tako, opet nosimo sa sobom i estetske ocene i celokupno naše nasleđeno teorijsko blago kad ocenjujemo šta znače neki dobijeni podaci.

Moja sledeća priča odnosi se na kvantnu elektrodinamiku - kvantnomehaničku teoriju o elektronima i svetlosti. Ona je, na neki način, naličje prve priče. Četrdeset godina je izdržala opšta teorija relativnosti kao široko prihvaćena ispravna teorija gravitacije, iako je imala na svojoj strani samo svoju neodoljivu lepotu i vrlo 'tanak' dokazni materijal. Nasuprot tome, za kvantnu elektrodinamiku postojalo je od samog početka veliko bogatstvo opitnih dokaza, ali je ona ipak posmatrana, dvadeset godina, sa nepoverenjem, i to zbog jedne unutrašnje teorijske protivurečnosti za koju se činilo da može biti razrešena samo na razne ružne načine.

Kvantna mehanika primenjena je na električna i magnetna polja u jednom od prvih radova o ovoj oblasti, takozvanom 'radu trojice', čiji su autori bili Maks Born, Verner Hajzenberg i Paskval Žordan godine 1926. Oni su uspeli izračunati da energija i impuls električnih i magnetnih polja u zraku svetlosti dolaze u paketićima koji se ponašaju kao čestice; time su opravdali Ajnštajnovu uvođenje čestice svetlosti zvane foton iz 1905. godine. Drugi glavni sastojak kvantne elektrodinamike dao je Pol Dirak 1928. godine. Dirakova teorija je, u svom prvobitnom obliku, pokazivala kako se mogu elektroni opisivati terminima talasnih funkcija, a da to bude u skladu sa posebnom teorijom relativnosti. Jedna od najvažnijih posledica Dirakove teorije bila je to da za svaku vrstu naelektrisanе čestice kao što je elektron mora postojati i druga vrsta sa istom masom ali suprotnim naelektrisanjem, za koju će se moći kazati da je antičestica. Antičestica elektrona otkrivena je 1932. godine i danas je za nju prihvaćeno ime 'pozitron'. Kvantna elektrodinamika korišćena je u poznim dvadesetim i ranim tridesetim godinama za izračunavanja u širokoj raznovrsnosti fizičkih procesa (kao što je rasejanje jednog fotona kad se sudari sa jednim elektronom, rasejanje jednog elektrona u sudaru sa drugim elektronom, potiranje, i proizvodnja jednog elektrona i jednog pozitrona istovremeno) sa ishodima koji su se, najčešće, izvrsno podudarali sa rezultatima opita.

Pa ipak, sredinom tridesetih godina preovladalo je, kao standardna mudrost, uverenje da se kvantna mehanika ne može uzimati ozbiljno osim kao jedna približnost, koju treba pogledati samo kad su u pitanju reakcije fotona, elektrona i pozitrona dovoljno niske energije. Problem nije bio od one vrste koja se obično pojavljuje u popularnim istorijama nauke, u nepodudaranju teorijskih očekivanja i opitnih činjenica, nego je bio u jednoj upornoj unutrašnjoj protivurečnosti u samoj toj fizičkoj teoriji. Naime, u beskonačnostima.

Primitili su ga, na različite načine, i Hajzenberg, i Pauli i švedski fizičar Ivar Valer (Ivar Waller), ali se on najjasnije, i na način ponajviše uznemiravajući, pojavio 1930. godine u jednom članku mladog američkog teoretičara po imenu Džulius Robert Openhajmer (Julius Robert Oppenheimer). Openhajmer se trudio da izračuna, pomoću kvantne elektrodinamike, jedno istančano dejstvo u vezi sa energijama atoma. Može se, naime, dogoditi da elektron u jednom atomu emituje česticu svetlosti, dakle foton, zatim da neko vreme nastavi kretanje po svojoj orbiti, a onda da ponovo apsorbuje taj isti foton, kao kad u američkom ragbiju četvrt-bek sam sustigne i uhvati loptu koju je bacio daleko napred. Taj foton nijednog trenutka ne iziđe iz tog atoma; ostaje unutra, u njemu, a svoje prisustvo odaje samo posredno, tako što deluje na izvesne odlike atoma, kao što su energija i magnetno polje. (Za takve fotone se kaže da su virtuelni.) Po pravilima kvantne elektrodinamike, ovaj proces dovodi do promene energije tog atomskog stanja. Ova promena može se izračunati sabiranjem beskonačnog broja zasebnih doprinosa. Po jedan doprinos mora se dati za svaku moguću vrednost energije koju može imati taj virtuelni

foton; ali nema nikakvih ograničenja njegove energije. Openhajmer je u svom izračunavanju ustanovio da, pošto u taj zbir ulaze doprinosi od fotona neograničeno visoke energije, i sam zbir postaje, dabome, beskonačno veliki, što vodi do beskonačno velikog povećanja energije atoma. Nije svaki zbir beskonačnog broja sabiraka beskonačan. Na primer, iako zbir $1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + \dots$ jeste beskonačan, zbir $1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots$ nije beskonačan nego iznosi tačno 2, a to vam je vrednost sasvim konačna. Viša energija odgovara kraćim talasnim dužinama; pošto ultraljubičasta svetlost ima kraću talasnu dužinu nego vidljiva svetlost, ova beskonačnost postala je poznata pod imenom 'ultraljubičasta katastrofa'.

Tokom tridesetih i ranih četrdesetih godina dvadesetog veka među fizičarima je vladalo slaganje oko toga da pojava ultraljubičaste katastrofe u Openhajmerovim i drugim sličnim izračunavanjima pokazuje da naprosto ne možemo u postojeću teoriju elektrona i fotona verovati kada su u pitanju čestice sa energijama iznad nekoliko miliona volti. Najistaknutiji zastupnik ovog gledišta bio je sam Openhajmer, delimično i zbog toga što je bio vođa jedne grupe za proučavanje kosmičkih zraka, čestica visoke energije koje stižu iz kosmosa, zaleću se u Zemljinu atmosferu i silovito 'oru' kroz nju; Openhajmerova izučavanja načina na koji te čestice kosmičkih zraka stupaju u međudejstvo sa atmosferom pokazivala su da se nešto čudno dešava sa česticama visoke energije. A zaista se i dešavalo nešto čudno, ali ne zbog nekog sloma kvantne teorije elektrona i fotona, nego zato što su se tu proizvodile čestice novog tipa, čestice za koje danas imamo naziv 'muoni'. Ali čak i kad je ova zabuna sasvim raščišćena godine 1937, otkrićem muona, opšteprihvaćeno uverenje bilo je da kvantna elektrodinamika počinje negde da greši čim je primenimo na elektrone i fotone visoke energije.

Problem ovih beskonačnosti mogao je biti presečen grubom silom - naime, ljudi su mogli naprosto izreći dekret, svoju jednostranu 'odluku', da elektroni mogu emitovati i apsorbovati samo fotone sa energijama ispod neke granične vrednosti. Svi uspesi koje je kvantna elektrodinamika u tridesetim godinama postigla objašnjavajući međudejstva elektrona i fotona odnosili su se na fotone niskih energija; bilo je, dakle, moguće da sačuvamo te uspehe tako što ćemo pretpostaviti da postoji neka gornja granica, dovoljno visoka, recimo 10 miliona volti. Određujući neku takvu granicu energiji virtuelnih fotona, mogli smo postići da kvantna elektrodinamika predviđa samo vrlo male energetske pomake atoma. Niko u to doba nije mogao meriti energije atoma dovoljno tačno da bi ustanovio da li se taj veoma maleni pomak zaista događa ili ne; dakle, nije se imalo šta pričati o podudaranju ili nepodudaranju sa rezultatima opita. (Zapravo, kvantna elektrodinamika bila je posmatrana sa toliko pesimizma, da niko nije ni pokušao da izračuna koliko bi tačno mogao iznositi taj maleni pomak u energiji.) Nevolja sa ovim rešenjem problema pomenutih beskonačnosti bila je ne u nekom neskladu sa ishodima opita nego u činjenici da bi takvo rešenje bilo odveć proizvodljivo i ružno - toliko da niko nije mogao da podnese ni samo razmišljanje o takvom nečem.

U fizičkoj literaturi iz tridesetih i četrdesetih godina dvadesetog veka možete naći čitave hrpe drugih ponuđenih, takođe neukusnih rešenja za problem tih beskonačnosti; bilo je čak i teorija da se beskonačnost stvorena emitovanjem i reapsorbovanjem visokoenergetskog fotona odmah potire nekim drugim procesima koji imaju negativnu verovatnoću. Pominjati 'negativnu verovatnoću' u ovom smislu reči predstavlja, naravno, čisti besmislicu; činjenica da je neko pokušao i to uvesti u fiziku samo je mera očajanja koje su ljudi nad tim problemom osećali.

Na kraju je, u poznim četrdesetim godinama dvadesetog veka, izronilo pravo rešenje, ali ono je bilo daleko prirodnije i daleko manje revolucionarno. Sada se priča i prepričava kao dobra šala da je rešenje došlo naučnicima bukvalno u glavu - i to glavu ovna; jer, nađeno je početkom juna 1947. godine na konferenciji u jednom hotelu koji se zove 'Ovnujska glava' na ostrvu Šelter, nedaleko od obale Long Ajlenda. Ova konferencija organizovana je da bi se našli u istoj prostoriji oni fizičari koji su, posle ratnih godina, bili spremni da počnu iznova razmišljati o temeljnim problemima fizike. Po rezultatima koji su na njoj postignuti, bila je to najvažnija konferencija fizičara posle one 'konferencije Solvej' u Briselu na kojoj su Ajnštajn i Bor vodili bitku o budućnosti kvantne mehanike, petnaest godina ranije.

Među fizičarima na ostrvu Šelter bio je i Vilis Lamb (Willis Lamb), mladi eksperimentator sa Univerziteta Kolumbija. Upotrebom mikrotalasne radarske tehnologije razvijene u vreme rata, Lamb je neposredno pre konferencije uspeo da tačno izmeri onaj efekat koji je Openhajmer izračunao 1930. godine, dakle pomak energije vodonikovog atoma zbog emitovanja i reapsorbovanja fotona. Ovaj pomak od tada se zove Lembov pomak. Rešenje koje je tad nađeno određuje putanju fizike sve do danas.

Nekoliko teoretičara već je, pre dolaska na konferenciju, doznalo za Lembov rezultat. Oni su stigli na konferenciju naoružani jednom idejom o tome kako bi se Lembov pomak mogao izračunati upotrebom načela kvantne elektrodinamike uprkos problemu sa beskonačnostima. Razmišljali su ovako: pomak u energiji jednog atoma, nastao zbog emisije i reapsorpcije jednog fotona, nije stvarno opaziva veličina; jedino je opaziva ukupna energija atoma, a ona se izračunava tako što se ovaj energetski pomak sabere sa energijom koju je 1928. godine izračunao Dirak. Ta ukupna energija zavisi od gole mase i od golog naelektrisanja elektrona. To su masa i naelektrisanje koji se pojavljuju u jednačinama kvantne teorije pre nego što se počnemo brinuti o emitovanju i reapsorbovanju fotona. Ali slobodni elektroni, a isto tako i elektroni u atomima, stalno emituju i reapsorbuju fotone, što stalno utiče na elektronovu masu i na elektronovo naelektrisanje; iz ovoga sledi da gola masa i golo naelektrisanje nisu isti kao izmerena masa elektrona i izmereno naelektrisanje elektrona koje vidimo zapisane u tablicama elementarnih čestica. Zapravo, da bismo objasnili te opažene veličine (koje su, dabome, konačne) - masu i naelektrisanje elektrona - moramo uvideti da su gola masa i čisti naboj elektrona beskonačni. Ukupna energija jednog atoma je, dakle, zbir dve veličine, obe beskonačne: čiste energije, koja je beskonačna zato što zavisi od beskonačne čiste mase i od naelektrisanja, kao i od onog energetskog pomaka koji je Openhajmer izračunao, a koji je beskonačan zato što prima energiju od virtuelnih fotona koji imaju beskonačnu energiju. Time se došlo do pitanja: da li je moguće da se te dve beskonačnosti međusobno poništavaju i da ostavljaju jednu konačnu energiju kao svoj zbir?

Na prvi pogled, odgovor je moralo biti jedno obeshrabrujuće 'ne'. Ali Openhajmer je iz svojih proračuna nešto izostavio. Taj energetski pomak dobija priloge ne samo od onih procesa u kojima elektron emituje jedan foton, pa ga onda ponovo apsorbuje, nego i iz onih procesa u kojima se jedan pozitron, jedan foton i još jedan elektron pojavljuju spontano iz praznog prostora, posle čega taj foton biva apsorbovan prilikom anihilacije pozitrona i prvobitnog elektrona. Zapravo, ovaj bizarni proces se mora uključiti u izračunavanje, da bi konačno rešenje o energiji tog atoma zavisilo od brzine atoma na tačno onaj način na koji to nalaže posebna teorija relativnosti. (Eto jednog primera za istinu koju je Dirak otkrio još mnogo ranije: naime, da kvantnomehanička teorija atoma

jeste u saglasnosti sa posebnom teorijom relativnosti samo ako sadrži u sebi i pozitron, antičesticu elektrona.) Jedan od teoretičara na ostrvu Šelter bio je Viktor Vajskopf (Victor Weisskopf), koji je još 1936. godine izračunao energetska pomak koji bi trebalo da proističe iz ovog pozitronskog procesa, i ustanovio da njime može, zamalo, da poništi onu beskonačnost koju je Openhajmer našao. Budimo malo konkretniji: zahvaljujući uključenju pozitronskog procesa, zbir energija počao se ponašati kao niz $1 + 1/2 + 1/3 + \dots$ umesto kao niz $1 + 2 + 3 + 4 \dots$. Oba ta zbira su beskonačna, ali je prvi manje beskonačan od drugog, u smislu da je potrebno manje napora da izračunamo šta sa njim da radimo. Nije bilo mnogo teško pogoditi da, ako čovek uzme u obzir ne samo pozitronski proces nego i razliku između elektronove gole mase i golog naelektrisanja i njihovih uočenih iznosa, beskonačnosti u tom energetskom pomaku mogu da se sasvim ponište.

Iako su i Openhajmer i Vajskopf prisustvovali konferenciji na ostrvu Šelter, teoretičar koji je prvi izračunao Lembov pomak bio je Hans Bete (Hans Bethe), već proslavljen zbog svog rada u nuklearnoj fizici, a naročito zbog radova u tridesetim godinama, kad je opisao lance nuklearnih reakcija koji dovode do toga da zvezde sijaju. Gradeći dalje na idejama o kojima se govorilo na ostrvu Šelter, Bete je u vozu, na povratku sa ostrva Šelter, načinio jedan grub proračun o sada izmerenom Lembovom energetskom pomaku. Bete, doduše, još nije imao na raspolaganju zaista delotvorne tehnike kojima bi uključio u svoje izračunavanje i pozitron i druge posledice posebne teorije relativnosti, pa je njegov rad u vozu bio poprilično sličan Openhajmerovom radu sedamnaest godina pre toga. Ali razlika je postojala, a sastojala se u tome što je Bete sada, dolazeći do bilo koje beskonačnosti, izbacivao ono što energetskom pomaku doprinose emisije i reapsorpcije visokoenergetskih fotona (pretpostavio je, donekle proizvoljno, da gornja granica moguće energije fotona jeste ona energija koja je sadržana u elektronovoj masi), pa je zato i dobio jedan konačan rezultat, koji nije bio mnogo daleko od Lembovog merenja. Maltene je mogao i Openhajmer isto to izračunati 1930. godine; maltene - ali nije. Tek je hitnost jednog opitnog rezultata koji je sad trebalo objasniti, udružena sa ohrabrujućim idejama koje su bile svuda u vazduhu na konferenciji na ostrvu Šelter, konačno naterala nekoga da navali na posao i izgura ta izračunavanja do kraja.

Uskoro potom, fizičari su izračunali Lembov pomak tačnije, uzimajući u obzir i pozitrone i druga relativistička dejstva. Važnost ovih izračunavanja nije bila toliko u njihovom tačnijem rezultatu, koliko u činjenici da je problem onih beskonačnosti ukroćen; došlo se do načina da se te beskonačnosti ponište, a da se pri tome ne moraju proizvoljno izbacivati doprinosi visokoenergetskih virtuelnih fotona.

Kao što Niče (Nietzsche) kaže, 'Ono što nas nije ubilo, ojačalo nas je'. Kvantnu elektrodinamiku zamalo da ubije problem tih beskonačnosti; spasena je idejom da beskonačnosti mogu da budu poništene opisanim postupkom redefinicije ili renormalizacije elektronove mase i elektronovog električnog naboja. Ali da bi se problem tih beskonačnosti tako rešio, potrebno je da se one pojavljuju u izračunavanjima samo na nekoliko vrlo ograničenih načina, što je moguće samo u jednoj ograničenoj klasi teorija izuzetno jednostavnih kvantnih polja. Za takve teorije kažemo da su renormalizabilne. Najjednostavnija verzija kvantne elektrodinamike renormalizabilna je u ovom smislu reči, ali i najmanja promena ma koje vrste uneta u takvu teoriju pokvarila bi ovaj ishod,

odvela bi do neke teorije u kojoj se te beskonačnosti ne bi mogle međusobno poništiti nikakvim redefinisanjem konstanti same teorije. Otud je ta teorija bila ne samo matematički zadovoljavajuća i usaglašena sa rezultatima opita, nego je, činilo se, sadržala u samoj sebi i objašnjenje zašto jeste takva kakva jeste: zato što bi i najmanja izmena u njoj vodila ne samo ka neslaganju sa opitom, nego i ka rezultatima koji su sasvim besmisleni - ka beskonačnim odgovorima na sasvim razumna pitanja.

Izračunavanja Lembovog pomaka u godini 1948. bila su još strašno složena zato što su, iako su sad uključivala i pozitrone, davala Lembov pomak kao zbir iznosa koji, svaki ponaosob, krše posebnu teoriju relativnosti, ali kad se saberu daju konačan odgovor koji jeste u saglasnosti sa teorijom relativnosti. Nezavisno su Ričard Fajnmen (Richard Feynman), Džulijan Švinger (Julian Schwinger) i Sinitiro Tomonaga (Sinitiro Tomonaga) krenuli da razvijaju mnogo jednostavnije postupke izračunavanja, i to izračunavanja koje će pri svakom koraku biti u skladu sa teorijom relativnosti. Te svoje tehnike iskoristili su da izvrše i neka druga izračunavanja, postižući, ponekad, spektakularno dobru podudarnost sa obavljenim opitima. Na primer, elektron ima svoje majušno magnetno polje; prvi ga je izračunao Dirak godine 1928, oslanjajući se na svoju relativističku kvantnu teoriju elektrona. Neposredno posle konferencije na ostrvu Šelter, Švinger je objavio rezultate jednog svog približnog izračunavanja koliko bi, zbog tih procesa u kojima se virtuelni foton emituje i reapsorbuje, trebalo da bude promenjena snaga magnetnog polja elektrona. Od tog doba pa do danas ovo izračunavanje je neprestano usavršavano, i današnji je rezultat sledeći: magnetno polje elektrona pojačava se, zbog raznih fotonskih emisija, reapsorpcija i sličnih dejstava, za činilac 1,00115965214 (sa nesigurnošću koja iznosi otprilike 3 u poslednjoj brojki) u odnosu na staro Dirakovo predviđanje u kome su te fotonske emisije i reapsorpcije bile zanemarivane. Približno u isto vreme kad je Švinger obavljao svoja izračunavanja, vršio je opite I. I. Rabi (I. I. Rabi) sa svojom grupom na Kolumbiji, i dokazao da je magnetno polje elektrona odista malčice veće nego što je stari Dirakov proračun predvideo; a to 'malčice' ispalo je taman koliko je Švinger izračunao. Najnoviji opitni rezultati pokazuju da je magnetno polje elektrona jače od Dirakove vrednosti za činilac 1,001159652188, sa nesigurnošću koja iznosi otprilike 4 u poslednjoj brojki. Ovo numeričko podudaranje između teorije i opita možda je najupečatljivije u sveukupnoj nauci.

Posle takvih uspeha, nije nikakvo čudo da je kvantna mehanika, u svojoj jednostavnoj renormalizabilnoj verziji, postala opšteprihvaćena kao tačna teorija fotona i elektrona. Ipak, i posle uspeha teorije na takvim opitnim oprobavanjima, i posle nalaženja načina da se sve te beskonačnosti međusobno ponište ako se njima rukuje korektno, činjenica da se jednog trenutka pojavljuju nekakve beskonačnosti izaziva i dalje nova gundanja protiv kvantne elektrodinamike i sličnih teorija. Naročito se u tome isticao Dirak, koji je govorio da kad izvršimo renormalizaciju, mi samo pometemo beskonačnosti pod tepih. Ja se po tom pitanju nisam slagao sa Dirakom i raspravljao sam se sa njim o ovome na konferencijama u Koral Gejblsu i na jezeru Konstans. Uzimanje u obzir razlike između golog naelektrisanja i čiste mase elektrona i izmerenih vrednosti mase i naelektrisanja elektrona nije samo trik izmišljen da se otarasimo onih beskonačnosti; to je nešto što se u svakom slučaju moralo uraditi, čak i da je sve od samog početka bilo konačno. U toj proceduri nema ničeg proizvoljnog i ničeg ad hoc; tu je naprosto reč o korektnom prepoznavanju šta mi to, zapravo, merimo kad u laboratoriji merimo masu i naelektrisanje elektrona. Ja nisam video šta je tako strašno u beskonačno

velikoj goloj masi i beskonačno velikom golom naelektrisanju, ako se na kraju dobiju za te veličine rezultati koji su konačni, nedvosmisleni i u saglasnosti sa opitima. Meni se činilo da teorija koja je tako spektakularno uspešna kao što to kvantna elektrodinamika jeste, mora biti manje-više tačna, iako je moguće da je mi još nismo formulisali na pravi način. Ali ovi argumenti nisu nimalo uticali na Diraka. Nisam se složio sa njegovim stavom prema kvantnoj elektrodinamici, ali nisam ni mislio da je to kod njega samo neka puka tvrdoglavost; zahtev da teorija bude u svojoj celosti konačna sličan je mnogim drugim estetskim sudovima koje su teorijski fizičari uvek morali donositi.

Moja treća priča u vezi je sa razvijanjem i konačnim prihvatanjem moderne teorije o slaboj nuklearnoj sili. Ova sila nije u svakodnevnom životu onako važna kao što su važne električna, magnetna ili sila teže, ali ona ima ključnu ulogu u onim lancima nuklearnih reakcija koji stvaraju energiju i proizvode razne hemijske elemente u jezgrima zvezda.

Slaba nuklearna sila se prvi put pojavila kad je Anri Bekerel otkrio radioaktivnost godine 1896. Kasnije, tokom tridesetih godina dvadesetog veka, postalo je jasno da u onoj vrsti radioaktivnosti koju je Bekerel otkrio, a koja se zove beta raspad, slaba nuklearna sila dovodi do toga da se u jezgru atoma jedan neutron pretvori u proton, stvarajući pri tome jedan elektron i još jednu česticu, koja je danas poznata kao antineutrino; te dve bivaju 'ispljunute' iz jezgra. Ovo je nešto što se ne sme dogoditi delovanjem ma koje druge sile: nije dozvoljeno. Jaka nuklearna sila, koja drži protone i neutrone na okupu, u jezgru, kao i elektromagnetna sila, koja pokušava prisiliti protone u jezgru da se odgurnu jedan od drugoga, jesu sile koje ne mogu promeniti identitet tih čestica, a gravitaciona sila svakako ne čini ništa slično; preme tome, kad je primećeno da se neki neutroni pretvaraju u protone ili obratno, bio je to nagoveštaj da bi u prirodi mogla postojati još jedna, nova vrsta sile. Kao što joj ime kaže, slaba nuklearna sila je slabija od elektromagnetne i slabija od jake nuklearne sile. Ovo se pokazuje, na primer, kroz činjenicu da je nuklearni beta raspad tako spor; najbrži nuklearni beta raspad traju, u proseku, jedan stoti deo sekunde, a to je zaista ležerno i dremljivo u poređenju sa tipičnim trajanjem procesa koje izaziva jaka nuklearna sila, obavljajući posao za jedan milioniti deo milionitog dela milionitog dela milionitog dela sekunde - odnosno, iskazano razlomkom, jedan kroz milion miliona miliona miliona.

Godine 1933. Enriko Fermi (Enrico Fermi) načinio je prvi značajan korak prema teoriji ove nove sile. U njegovoj teoriji, slaba nuklearna sila ne deluje iz daljine, kao gravitaciona, električna ili magnetna; umesto toga, ona preobrati jedan neutron u jedan proton, jedan elektron i jedan antineutrino, i to sve trenutno i sve u jednoj jedinoj, istoj tački u prostoru. Usledilo je četvrt veka mukotrpnog vršenja opita, ne bi li se nekako pohvatali svi 'nevezani krajevi kanapa' koji su iz Fermijeve teorije stršili na sve strane. Najglavnije od tih nerešenih pitanja bilo je: kako slaba sila zavisi od relativne orijentacije spinova onih čestica koje su u taj događaj umešane. Godine 1957. ovo je rešeno, i Fermijeva teorija o slaboj nuklearnoj sili dobila je svoj konačni oblik.

Posle ovog proboja postignutog 1957. godine, moglo se kazati da više nema nepravilnosti u našem razumevanju slabe nuklearne sile. Pa ipak, iako smo imali teoriju koja je uspešno objašnjavala sve što se opitima utvrdilo o slaboj nuklearnoj sili, fizičari su (većina njih) i dalje smatrali da je to veoma nezadovoljavajuća teorija. Zato smo

nastavili rad, mnogi od nas, pokušavajući da tu teoriju nekako očistimo i da je prisilimo da zazvuči razumno.

Stvari koje su u Fermijevoj teoriji škripale bile su teorijske, ne opitne. Kao prvo, iako je ova teorija dobro radila kod nuklearnog beta raspada, pri pokušaju da se primeni na neke egzotičnije procese davala je besmislene rezultate. Teoretičari postavili su savršeno razumno pitanje - na primer, kakva je verovatnoća da se jedan neutrino u sudaru sa drugim neutrinom raseje; prionu na posao, obave izračunavanja (uzimajući u obzir emisiju i reapsorpciju jednog neutrona i jednog antiprotona) i dobiju kao odgovor nešto beskonačno veliko. Samo, da se razumemo, niko nije obavljao takve opite; ali izračunavanja su davala rezultate koji ni slučajno ne bi mogli nikakvim opitom biti potvrđeni kao istiniti. Kao što smo ranije videli, neke slične beskonačnosti iskršavale su u teoriji elektromagnetnih sila koju su dali Openhajmer i drugi početkom tridesetih godina dvadesetog veka, ali krajem četrdesetih teoretičari su našli da se sve takve beskonačnosti u kvantnoj elektrodinamici mogu poništiti ako se masa i naboj elektrona definišu kako valja, odnosno 'renormalizuju'. Kako se naše znanje o slaboj sili povećavalo, postajalo je sve jasnije da se beskonačnosti u Fermijevoj teoriji slabe sile ne mogu tako poništavati; ta teorija nije bila renormalizabilna.

Druga stvar koja u njoj nije valjala bilo je prisustvo velikog broja proizvoljnih elemenata. Osnovni oblik slabe sile bio je manje-više shvaćen već iz samih opita, i mogao je biti i sasvim drugačiji, a da se ne naruši nijedno poznato načelo fizike.

Ja sam na teoriji slabih sila radio, sa prekidima, još od kad sam položio maturu, ali zadesilo se da sam godine 1967. radio, umesto toga, na jakim nuklearnim silama, a to su one koje drže neutrone i protone zajedno u atomskom jezgru, na okupu. Pokušavao sam da razvijem jednu teoriju jakih sila zasnovanu na analogiji sa kvantnom elektrodinamikom. Smatrao sam da bi razlika između jakih nuklearnih sila i elektromagnetizma možda mogla da se objasni pomoću jedne pojave koja je poznata kao razbijena simetrija o kojoj ću govoriti kasnije. Nije uspevalo. Zašao sam u razrađivanje nekakve teorije koja nije nimalo ličila na ono što smo opitima doznali o jakim silama. Onda mi je najednom palo na pamet da te moje ideje, iako se pokazalo da u oblasti jakih sila nisu nizašta, daju matematičku osnovu za jednu teoriju slabe nuklearne sile, teoriju pomoću koje čovek može postići šta god želi. Uočio sam priliku da razvijem teoriju slabe sile analognu kvantnoj elektrodinamici. Baš kao što elektromagnetnu silu između udaljenih naelektrisanih čestica izaziva razmena fotona, tako i slaba sila ne bi delovala cela odjednom u jednoj tački prostora (kao kod Fermija) nego bi bila izazvana razmenom čestica sličnih fotonu između dvaju čestica koje se nalaze na dva razna mesta. Te nove čestice nalik fotonu ne bi mogle biti bez mase, kao što foton jeste (jer, kao prvo, da su bile bez mase bile bi otkrivene odavno), ali ja sam ih uveo u teoriju na način toliko sličan ulaženju fotona u kvantnu elektrodinamiku da se, po mom mišljenju, teorija mogla posle renormalizovati u istom smislu kao kvantna elektrodinamika - naime, kad iskršnu beskonačnosti, ja ih poništavam redefinisanjem masa i drugih veličina u teoriji. Štaviše, moja teorija bila bi u veoma velikoj meri 'sputana', odnosno vezana svojim sopstvenim osnovnim načelima, tako da bi se izbegla glavna proizvoljnost ranijih teorija.

Razradio sam jedno određeno, konkretno izvođenje ove teorije - što će reći, jedan određeni skup jednačina koje određuju kako će se čestice ponašati u međusobnim reakcijama; postavio sam ih tako da Fermijeva teorija ostane kao približno tačno rešenje za niže energije. Ispalo je da sam, radeći ovo, počeo da radim i nešto što mi uopšte nije

bila u početku namera: da pravim teoriju ne samo slabih sila zasnovanu na analogiji sa elektromagnetizmom, nego objedinjenu teoriju slabih i elektromagnetnih sila, koja će pokazati da su te dve vrste sila, zapravo, samo vidovi jedne iste sile, koja je kasnije dobila naziv elektroslaba. Foton, ta temeljna čestica čije emitovanje i apsorbovanje prouzrokuje pojavu elektromagnetnih sila, sad se našao udružen u čvrsto spletenu grupu, ili porodicu, drugih sličnih, nalik njemu, čije je postojanje moja teorija predvidela: u toj grupi bile su naelektrisane 'W' čestice čijom se razmenom proizvodi slaba sila beta radioaktivnosti, pa jedna neutralna (nenaelektrisana) čestica kojoj sam dao naziv 'Z', a o kojoj ću govoriti kasnije. (Čestice 'W' bile su već stara priča, odavno su se pominjale u svakojakim nagađanjima o slabim silama; slovo 'W' je prvo slovo engleske reči za 'slab' /weak/. A slovo 'Z' sam odabrao za novog brata (ili sestru) ovih čestica zato što ta čestica ima električni naboj 'nula' /zero/, kao i zato što je 'Z' poslednje slovo u engleskoj abecedi, a ja sam se nadao da će to biti poslednja čestica u toj porodici.) U suštini istu ovu teoriju razradio je sasvim nezavisno godine 1968. pakistanski fizičar Abdus Salam (Abdus Salam), radeći u Trstu, u Italiji. Pojedine vidove ove teorije nagovestili su u svojim radovima još ranije Salam i Džon Vord (John Ward), a još ranije, moj drug iz srednje škole, a kasnije kolega u studentskim danima na Univerzitetu Kornel, Šeldon Glešou (Sheldon Glashow).

Ovo ujedinjenje slabe i elektromagnetne sile bilo je baš dobro, u svom skromnom obimu i dometu. Čovek uvek voli da objašnjava sve veći i veći broj različitih stvari pomoću sve manjeg i manjeg broja ideja, mada ja, kad sam počinjao, zaista nisam znao da na tu stranu idem. Ali godine 1967. ta moja teorija nije dala baš nikakvo objašnjenje ni za jednu od eksperimentalno ustanovljenih nepravilnosti u fizici slabih sila. Ta teorija nije objasnila nijednu već postojeću opitnu činjenicu koju već nije objasnila Fermijeva teorija pre nje. I, dodacu, elektroslaba teorija nije privukla gotovo nikakvu pažnju u početku. Ali ne verujem da su drugi fizičari pokazali tako slabo zanimanje samo zato što nije imala nikakvu opitnu podršku. Njima je podjednako značajno bilo to što su ostala otvorena neka čisto teorijska pitanja, o unutrašnjoj doslednosti moje teorije.

I Salam i ja smo izrazili naša uverenja da će ova teorija odstraniti problem beskonačnosti kod slabih sila. Ali nismo bili dovoljno bistri da to i dokažemo. Godine 1971. dobio sam jedan probni otisak iz štamparije, od mladog postdiplomca na Univerzitetu Utreht u Holandiji po imenu Gerard 't Huft (Gerard 't Hooft). U svom članku 't Huft je tvrdio da je pokazao da je problem tih beskonačnosti u elektroslaboj teoriji zaista rešen; one će se zaista međusobno poništiti, dok izračunavamo opazive veličine, baš kao što se međusobno poništavaju u kvantnoj elektrodinamici.

Ja u prvi mah nisam mnogo verovao tom 't Huftovom tekstu. Nikad nisam za tog momka dotad čuo, a osim toga, on je u svom radu upotrebio jedan matematički metod na koji sam odranije gledao sa nepoverenjem. (Taj metod svojevremeno je razvio Fajnmen.) Malo kasnije čuo sam da je teoretičar Ben Li (Ben Lee) prihvatio 't Huftove ideje i dao se na posao da postigne iste rezultate pomoću konvencionalnijih matematičkih metoda. Poznao sam Bena Lija i visoko sam ga poštovao - pa sam rešio: ako on shvata tog 't Hufta ozbiljno, onda ću i ja. (Ben je kasnije postao moj najbolji prijatelj i saradnik u fizici. Tragično je poginuo u automobilskoj nesreći godine 1977.) Posle ovoga, pomnije sam osmotrio šta je to 't Huft uradio, i tada sam uvideo da je on zaista našao ključ za dokazivanje da će se te beskonačnosti međusobno potirati.

Posle 't Huftovog rada, elektroslaba teorija, iako još nije imala ni najmanju mrvicu opitne potvrde, počela je da 'uzleće', da postaje deo radnog programa fizike. U ovom slučaju moguće je prilično tačno odrediti nivo zanimanja za jednu naučnu teoriju, zato što je Institut za naučne informacije (ISI - Institute for Scientific Information) objavio pregled koliko puta je moj prvi rad o elektroslaboj sili naveden u radovima drugih naučnika, kao primer kako je analiza navođenosti korisno sredstvo za osvetljavanje istorije nauke. Taj moj rad napisan je 1967, a navođen je godine 1967, 1968. i 1969. nula puta. (Tokom tog vremena Salam i ja smo se upinjali da dokažemo ono što je tek 't Huft dokazao - naime, da je ta teorija oslobođena beskonačnosti.) Godine 1970. neko je, ne znam ko, naveo elektroslabu teoriju jednom. Godine 1971, kad je 't Huftov rad izišao iz štampe, moj rad iz 1967. naveden je tri puta; jedan od tih navoda bio je u radu samog 't Hufta. Godine 1972, iako još nije bilo nikakvih opitnih potvrda, pomenut je u šezdeset sedam radova drugih naučnika. Godine 1973, 165 puta - i to se tako povećavalo, postupno, sve do 1980. godine kad su ga naveli u 330 radova. Jedna nedavna studija koju je uradio ISI pokazala je da je taj moj rad o elektroslaboj sili najnavođeniji rad o fizici elementarnih čestica koji se pojavio u poslednjih pola veka.

Proboj koji je u prvi mah uzbudio fizičare ogledao se u tome što su oni uvideli da elektroslaba teorija jeste rešila jedan interni konceptualni problem fizike čestica, onaj sa beskonačnostima u slabim nuklearnim silama. Ali godine 1971. i 1972. nije bilo baš ni trunčice opitnog dokaza da je ta teorija bolja od stare Fermijeve.

Onda su opitni dokazi ipak počeli priticati. Razmenjivanje 'Z' čestice moralo je dovesti do jedne nove vrste slabe nuklearne sile, koja je postala poznata kao slaba neutralna struja, a to se moralo pokazati tako što bi jezgra običnih atoma rasipala mlazeve neutrina. (Termin 'neutralna struja' ovde je upotrebljen zato što se u tim procesima ne događa nikakva razmena naelektrisanja između jezgara i drugih čestica.) Preduzeti su opiti sa ciljem da se zaviri u eventualno postojanje takvog rasejanja neutrina, u laboratoriji CERN (to je skraćenica za naziv zajedničke evropske laboratorije u Ženevi: Conseil Europe Qn de Recherches NuclQaires). Kao i u Fermilabu, koji je blizu Čikaga. Za ovo je bio potreban jak podstrek. Za svaki takav opit neophodna je saradnja trideset do četrdeset fizičara. Ne upuštaju se oni lako u takve poduhvate, ako nemaju jasnu predstavu o tome šta žele postići. Otkriće slabih neutralnih struja prvi put je oglašeno godine 1973. u CERN-u, a posle izvesnog oklevanja, i u Fermilabu. Posle 1974, kad su i Fermilab i CERN složno potvrdili da slabe neutralne struje postoje, u naučnom svetu je preovladalo, bar kod većine naučnika, uverenje da je elektroslaba teorija istinita. U Stokholmu je dnevni list 'Dagens Niheter' čak objavio, godine 1975, da ćemo Salam i ja dobiti Nobelovu nagradu za fiziku. (Ali nismo.)

Čovek bi se mogao zapitati zašto je elektroslaba teorija prihvaćena tako brzo i široko. Pa, naravno, zato što je predvidela neutralne struje, a onda su one nađene. Zar nije to način na koji sve teorije bivaju prihvaćene? Mislim da ne valja davati tako jednostavan odgovor na pitanja te vrste.

Kao prvo, neutralne struje nisu bile ništa novo u spekulacijama o slabim silama. Jednom prilikom tražio sam tragove tih razmišljanja, idući unazad, kroz dokumente iz ranijih vremena, i našao da su neutralne struje pominjali još Džordž Gamov (George Gamow) i Edvard Teler (Edward Teller) godine 1937; tada su oni, polazeći od prilično ubedljivih argumenata, predvideli da će neutralne struje biti nađene. Bilo je čak i ranijih opitnih dokaza u prilog neutralnim strujama, u šezdesetim godinama dvadesetog veka, ali

niko nije u to poverovao; eksperimentatori koji su nalazili dokaze za takve slabe struje uvek su saopštavali da je to bio neki element 'u pozadini', 'šum'. Jedino što je 1973. godine bilo novo, a eksperimentatorima veoma značajno, bila je prognoza da snaga neutralne struje mora biti unutar jednog određenog raspona. Na primer, u jednoj vrsti neutrinske reakcije, dejstva neutralnih struja morala bi imati snagu koja bi iznosila 15% do 25% snage običnih slabih sila. Ovo predviđanje omogućilo je da se podesi stepen osetljivosti instrumenata potreban u opitnom traganju za tom pojavom. Ali ono što je zaista presudno delovalo godine 1973. bila je unutrašnja 'prinudujuća' osobina te teorije, njena unutrašnja doslednost i krutost, zahvaljujući kojima je bilo, sa stanovišta fizičara, razumno da poveruju da će u svom sopstvenom daljem radu bolje napredovati ako je prihvate kao tačnu nego ako je izbegavaju i čekaju da nekako sama od sebe nekud ode.

U jednom smislu, elektroslaba teorija jeste imala opitnu podršku čak i pre otkrića neutralnih struja zato što je korektno 'naknadno objasnila' sve one osobine slabih sila koje su već bile objašnjene Fermijevom teorijom, a isto tako i sve osobine elektromagnetnih sila koje su odavno bile objašnjene kvantnom elektrodinamikom. I ovde se čovek može opet zapitati, kao i u slučaju opšte teorije relativnosti, zašto treba da smatramo da je tačno viđenje unazad neki veliki uspeh, kad ono samo objašnjava stvari već objašnjene ranijom teorijom? Evo zašto. Fermijeva teorija objasnila je odlike slabih sila tako što se oslonila na izvestan broj proizvoljnih postavki, proizvoljnih u onom smislu reči kao što je proizvoljno uskočila obrnuta srazmernost kvadratu rastojanja u Njutnovoju teoriji gravitacije. A elektroslaba teorija je, međutim, objasnila te iste pojave (na primer zavisnost slabih sila od spinova učestvujućih čestica) na jedan prinudan način, koji mora biti baš takav, a ne drugačiji. Ali ovakve ocene ne mogu se dati tačno, one su stvar ukusa i iskustva.

Najednom, godine 1976, tri godine posle otkrića neutralnih struja, nastupila je kriza. Nije se više moglo sumnjati u to da neutralne struje postoje, ali opiti izvedeni 1976. godine nagovestili su da te sile nemaju neke od onih odlika koje su teorijom bile predviđene. Nepravilnost je iskrsla u opitima u Sietlu, kao i u Oksfordu, u vezi sa načinom na koji se polarizovana svetlost prostire kroz isparenje bizmuta. Znalo se još od radova Žan-Batista Biota (Jean-Baptiste Biot) godine 1918. da kod polarizovanog svetla, kad prolazi kroz rastvor izvesnih šećera, dolazi do rotacije ravni polarizacije, i to nalevo ili nadesno. Na primer, ravan polarizacije svetlosti zaokrene se nadesno kad ta polarizovana svetlost prolazi kroz rastvor običnog šećera, dekstroze; ali nalevo, kad prolazi kroz rastvor levuloze. Ovo je zato što molekul dekstroze nije isti kao njegova slika u ogledalu, molekul levuloze: razlikuju se na onaj način na koji se desna rukavica razlikuje od leve (dok, recimo, šešir ili kravata izgledaju isto, bez obzira na to da li ih gledate neposredno ili u ogledalu.) Čovek ne bi normalno očekivao da se ta vrsta rotacije dogodi polarizovanoj svetlosti koja prolazi kroz gas sačinjen od pojedinačnih atoma, kao što je bizmutova para. Ali elektroslaba teorija predvidela je da će postojati asimetrija između leve strane i desne strane u slaboj nuklearnoj sili između elektrona i atomskih jezgara, izazvana razmenom 'Z' čestica, što će atomima dati osobinu levosmernosti ili desnosmernosti kao što imaju rukavice ili molekuli šećera. (Očekivalo se da će ovaj efekat biti naročito izražen kod bizmuta zbog jedne neobičnosti u njegovim atomskim energetskim nivoima.) Izračunavanja su pokazala da će asimetrija između levog i desnog u bizmutovom atomu uzrokovati polaganu rotaciju polarizacije nalevo dok polarizovana svetlost prolazi kroz isparenje bizmuta. Na svoje iznenađenje, eksperimentatori u

Oksfordu i u Sietlu nisu našli nikakvu rotaciju te vrste; zato su saopštili da, ako takve rotacije uopšte ima, ona mora biti mnogo sporija nego što je bilo predviđeno.

Ovo je odjeknulo kao bomba, i to velika. Ovi opiti kao da su pokazali da teorija koju smo Salam i ja razradili, radeći svaki zasebno, u godinama 1968. i 1969, nikako ne može biti tačna u svojim pojedinostima. Ali ja nisam bio spreman da napustim osnovne zamisli elektroslabe teorije. Još od 't Huftovog rada iz 1971. godine bio sam sasvim ubeđen u tačnost glavnih crta ove teorije, ali onu verziju koju smo Salam i ja sazdali smatrao sam za samo jednu od mogućnosti, i to izuzetno jednostavnu. Na primer, moglo bi biti još članova te iste porodice koju čine foton, 'W' čestica i 'Z' čestice, ili bi moglo biti i nekih drugih čestica u srodstvu sa elektronom i neutrinom. Pjer Diem (Pierre Duhem) i V. Van Kvin (W. Van Quine) još su odavno ukazali na to da nijedna naučna teorija ne može biti baš sasvim srušena opitnim isprobavanjem zato što uvek postoji neki način da se preuredi ili teorija ili neke postavke oko nje, i da se postigne saglasnost teorije i proveru. U nekom trenutku čovek naprosto mora da donese odluku: da li su ta dodatna zapetljavanja, koja je potrebno načiniti da bi se izbegao sukob sa opitnim rezultatima, naprosto suviše ružna da bi se u njih moglo verovati.

I zaista, posle tih opita u Oksfordu i Sietlu, mnogi od nas teoretičara prionuli su na posao da nađu, eventualno, neko malo preinačenje elektroslabe teorije, takvo koje bi objasnilo zašto sile neutralnih struja nemaju onu očekivanu asimetriju između leve strane i desne strane. U prvo vreme smo mislili da će biti moguće načiniti teoriju samo malčice ružnijom i nategnuti je dovoljno da se uskladi sa svim dobijenim podacima. Pamtim da je u jednom trenutku Ben doleteo u Palo Alto, gde sam provodio tu godinu, a ja sam odustao od davno planiranog putovanja u nacionalni park Josemajt i ostao da sa njim razrađujem te naše pokušaje da elektroslabu teoriju uklopimo u najnovije podatke (uključujući i nagoveštaje, koji su, međutim, bili netačni, da se u reakcijama visokoenergetskih neutrina pojavljuju i druge nepodudarnosti). Ali sve uzalud, ništa nam nije polazilo od ruke.

Jedan od naših problema sastojao se u tome što su nam opiti u CERN-u i Fermilabu već dali veliko bogatstvo podataka o rasejanju neutrina u sudarima sa protonima i neutronima, i gotovo svi ti podaci su, činilo se, potvrđivali da je dotadašnja verzija elektroslabe teorije ispravna. Bilo je teško videti kako bi ijedna druga teorija mogla postići to, a istovremeno se uklopiti u rezultate opita sa bizmutom na neki prirodan način - što znači, bez uvođenja mnogih komplikacija pažljivo nameštanih da se to uklapanje postigne. Nešto kasnije, kad sam se vratio u Harvard, Hauard Džordži (Howard Georgi) i ja sačinili smo jedan opšti proglas u kome smo objavili da ne postoji nikakav prirodni način da se elektroslaba teorija dovede u saglasnost sa rezultatima pristiglim iz Oksforda i Sietla, kao i sa starijim podacima o neutrinским reakcijama. Ovo, dabome, nije sprečilo neke teoretičare da sačine vrlo neprirodne teorije (aktivnost koja je oko Bostona postala poznata pod nazivom 'protivprirodni trud'), u skladu sa najstarijim pravilom naučnog rada, a to je da je bolje raditi išta nego ništa.

Onda je godine 1978. izveden novi opit u Stanfordu; slaba sila između elektrona i atomskih jezgara izmerena je na sasvim drugi način. Nisu upotrebljeni elektroni u atomima bizmuta, nego su jezgra deuterijuma gađana zrakom elektrona ubrzanim u tamošnjem visokoenergetskom akceleratoru. Tom prilikom se taj zrak rasipao. (Deuterijum nije izabran iz nekog posebnog razloga; bio je, naprosto, zgodan izvor

protona i neutrona.) Ovi eksperimentatori su našli očekivanu asimetriju između leve strane i desne strane. U ovom opitu, asimetrija se ispoljavala kao razlika u rasipanju onih elektrona čiji je spin usmeren nalevo i onih kod kojih je usmerenje nadesno. (Kažemo da je spin čestice koja se kreće usmeren nadesno ili nalevo ako prsti desne ruke ili leve ruke pokazuju pravac ose spina kad palac pokazuje pravac kretanja čestice.) Jedni su se rasipali približno za jedan desetohiljaditi deo više nego drugi, a teorija je predvidela tačno to.

I gle, odjednom su fizičari čestica širom sveta pohitali da zaključe da je prvobitna verzija elektroslabe teorije bila, ipak, tačna. Ali zapazite da su ostala na vidiku i ona dva opita čiji su rezultati bili u suprotnosti sa predviđanjima elektroslabe teorije o slaboj sili neutralne struje između elektrona i jezgara, naporedo sa tim jednim, samo jednim, koji je teoriju, štaviše u kontekstu malo izmenjenom, potvrđivao. Pa zašto su onda, čim se pojavio taj jedan opit u saglasnosti sa elektroslabom teorijom, fizičari gotovo svi zaključili da elektroslaba teorija mora biti ispravna? Jedan od razloga svakako je bio i taj što nam je svima laknulo što nećemo morati da se petljamo ni sa kakvim neprirodnim varijantama prvobitne elektroslabe teorije. Estetski kriterijum prirodnosti upotrebljen je još jednom da pomogne fizičarima pri odmeravanju vrednosti međusobno protivurečnih opitnih podataka.

Isprobavanje elektroslabe teorije nastavilo se i drugim proverama. Stanfordski opit nije ponovljen, ali je nekoliko grupa atomskih fizičara počelo tragati za asimetrijama leve i desne strane ne samo kod bizmuta nego i kod drugih atoma kao što su talijum i cezijum. (Još pre stanfordskog opita, jedna grupa u Novosibirsku prijavila je da je našla očekivanu asimetriju kod bizmuta, ali na taj izveštaj niko nije obratio mnogo pažnje pre stanfordskog opita, između ostalog i zato što se na Zapadu nije smatralo da su fizičari iz Sovjetskog Saveza veoma pouzdani u pogledu tačnosti.) Izvedeni su novi opiti u Berkliju i u Parizu, a fizičari u Oksfordu i Sietlu ponovili su svoje opite. Sada postoji opšta saglasnost eksperimentalista, ali i teoretičara, da taj očekivani efekat asimetrije leve strane i desne strane zaista postoji i da ima otprilike onu veličinu koja je po teoriji očekivana, kako kod atoma tako i kod rasipanja visokoenergetskih elektrona proučavanih u stanfordskom opitu. Najdramatičniju proveru elektroslabe teorije izveo je, nesumnjivo, Karlo Rubija (Carlo Rubbia) sa svojom grupom u CERN-u. Ti ljudi su 1983. otkrili 'W' česticu, a 1984. i 'Z' česticu; postojanje obe te čestice ispravno je predvidela elektroslaba teorija u svojoj prvobitnoj verziji.

I sad, kad se osvrnem na te događaje, ja se sa žaljenjem zapitam - zašto potroših toliko vremena u pokušajima da krpim elektroslabu teoriju ne bi li se ona nekako uklopila u one nalaze iz Oksforda i Sietla? Eh, kamo sreće da sam otišao na odmor u Josemajt godine 1977. kao što sam i bio planirao; a ovako, evo šta se desilo, ni do danas ne odoh tamo. Cela ta priča lepo ilustruje jednu polušaljivu maksimu koja se pripisuje Edingtonu: ne treba nijednom opitu verovati dok ga ne potvrdi neka teorija.

Ne želim da vas ostavim u utisku da teorije i opiti uvek ovako deluju jedni na druge i na napredak nauke. Naglašavao sam, ovde, značaj teorije zato što želim da stvorim protivtežu jednoj veoma raširenoj vrsti razmišljanja koju smatram preterano empirističkom. Istina je takva da se čovek može prošetati kroz istoriju važnih opita u fizici i naći da su oni odigrali mnoge, veoma različite uloge, kao i to da su međudejstva teorije i prakse bila veoma raznovrsna. Ispada da šta god kažete o tome kako bi teorija i

opit mogli međudejstvovati, najverovatnije ćete biti u pravu, a šta god kažete o tome kako moraju međudejstvovati, najverovatnije ćete pogrešiti.

Traganje za slabim silama neutralne struje u CERN-u i Fermilabu primer je one klase opita koji se preduzimaju u cilju oprobavanja teorijskih zamisli koje još nisu opšteprihvaćene. Ti opiti ponekad potvrde, ali ponekad i opovrgnu teoretičareve ideje. Pre nekoliko godina, Frenk Vilček (Frank Wilczek) i ja smo, nezavisno jedan od drugog, predskazali postojanje još jedne nove čestice. Onda smo se dogovorili da za nju odredimo ime 'aksion', ne znajući da postoji i jedna vrsta deterdženta sa tim nazivom.

Eksperimentalisti su tragali za aksionom i nisu ga našli, bar ne sa onim odlikama koje smo mi predvideli. Naša zamisao ili je pogrešna ili su joj potrebna preinačenja. Jednog dana, međutim, dobio sam poruku od jedne grupe fizičara koji su se bili sastali u Aspen. Poruka je glasila: "Našli smo ga!" - ali je, nažalost, bila prikačena za kutiju deterdženta.

Ima i opita u kojima iskrсну potpuna iznenađenja, stvari koje nijedan teoretičar nije predvideo. U toj su kategoriji opiti u kojima su otkriveni rendgenski zraci, pa oni u kojima su otkrivene takozvane 'čudne čestice', ili, kad već o tome govorimo, ono osmatranje u kome je uočena nepravilnosti u precesiji orbite planete Merkur. Mislim da upravo takvi opiti donose najviše radosti u srca eksperimentalista i novinara.

Postoje i opiti koji pred nas nabace nešto što je maltene potpuno iznenađenje - naime, nađu ona dejstva o kojima se samo raspravljalo, ali se mislilo da su posredi samo mogućnosti, stvari ne logički isključene, ali ipak ni takve da bi ih stvarno trebalo očekivati. U ovu vrstu spadaju opiti koji su otkrili kršenje takozvane 'simetrije preokretanja vremena' i opiti u kojima je nađeno nekoliko novih čestica kao što je kvark dole i jedna vrlo teška vrsta elektrona koji je poznat kao tau lepton.

Postoji i jedna zanimljiva klasa opita u kojima su nađena izvesna dejstva koja neki teoretičari jesu predvideli, ali eksperimentatori tada nisu za to čuli, zato što teoretičar nije imao dovoljno poverenja u svoju ideju i nije hteo da je objavi, da se 'reklamira' i da se nudi sa njom eksperimentalistima, ili zato što je u kanalima naučne komunikacije vladala, naprosto, prevelika vika i galama. U takve spadaju otkriće sveprisutnog pozadinskog šuma na području radio-talasa, preostalog posle Velikog praska, i otkriće pozitrona.

A postoje, vidite, i neki opiti koji se obavljaju iako je ishod unapred poznat, iako su teorijska predviđanja sasvim čvrsta, a teorija nesumnjivo tačna; to se radi zato što su posmatrane pojave do te mere same po sebi zanosne, i nude takvo obilje mogućnosti za dalje vršenje opita, da čovek naprosto mora da krene u njih. Ja bih u tu kategoriju ubrojao otkriće antiprotona i neutrina, i, još skorije, otkriće čestica 'W' i 'Z'. Tu pripadaju i potrage za raznim egzotičnim dejstvima koja predviđa opšta teorija relativnosti, kao što je gravitaciono zračenje.

Konačno, čovek može zamisliti i jednu dodatnu kategoriju, opite koji obaraju opšteprihvaćene teorije, teorije koje su već postale deo standardne fizike i oko kojih postoji opšta saglasnost. Nije mi poznato da se dogodio ijedan takav opit u poslednjih sto godina. Bilo je, naravno, mnogo slučajeva da se opitom dokaže da neka teorija ima užu oblast važenja nego što se do tada verovalo. Pri velikim brzinama, Njutnova teorija kretanja postaje neupotrebljiva. Takozvana parnost, a to je simetrija leve strane i desne strane, ne važi kod slabih sila. I tako dalje. Ali u dvadesetom veku, još nijedna teorija koju je svet fizike prihvatio kao u osnovi tačnu nije se pokazala kao jednostavna greška, u onom smislu u kome je Ptolemejeva teorija epicikala planetnog kretanja bila greška, i

kako je teorija da je toplota jedna tečnost zvana 'kalorik' bila greška. Pa ipak, u ovom, dvadesetom veku, kao što smo videli na primerima opšte teorije relativnosti i elektroslike teorije, opšta saglasnost u prilog ove ili one fizičke teorije često je postizana na osnovu estetskog suda, pre nego što su opitni dokazi u prilog tih teorija postali zaista neodoljivo jaki. Ja u ovome vidim izuzetnu moć fizičarevog osećanja za lepotu, osećanja koje ponekad deluje saglasno sa težinom opitnih dokaza, ali ponekad i protiv.

Iz načina na koji sam opisao događaje može se steći utisak da je proces otkrivanja i potvrđivanja naučnih istina jedna velika, teška zbrka. U ovom pogledu, postoji zgodna paralela između istorije rata i istorije nauke. U obe ove istorije, komentatori su tragali za nekim sistemskim pravilima koja bi omogućila učesniku da u najvećoj meri poboljša svoje izgled na uspeh - dakle, želeli su naći 'nauku o ratovanju' ali i 'nauku o bavljenju naukom'. Možda je to zato što i u ratovanju i u naukovanju postoji, daleko više nego u istoriji kulture, politike ili ekonomije, prilično jasna linija razgraničenja između pobede i poraza. Možemo se mi raspravljati beskrajno o uzrocima i posledicama američkog građanskog rata, ali nema nimalo sumnje u to da je vojska generala Mida potukla vojsku generala Lija 1863. kod Getisburga. U tom istom smislu, nema nimalo sumnje u to da je Kopernikovo viđenje Sunčevog sistema bolje nego Ptolemejevo, a Darwinova teorija evolucije bolja od Lamarkove (Lamarck).

Čak i kad ne pokušavaju formulisati 'nauku ratovanja', vojni istoričari često pišu kao da generali gube bitke zato što se ne pridržavaju nekih čvrsto ustanovljenih pravila te nauke. Evo primera. Za dvojicu generala severnjačke armije u američkom građanskom ratu preovlađuje mišljenje da su bili veoma loši u svom poslu. Jedan od njih je Džordž Mak Klelan (George McClellan), a drugi je Embrous Bernsajd (Ambrose Burnside). Mak Klelana uglavnom osuđuju zato što nije imao odlučnosti da se uhvati u koštac sa neprijateljem - Lijevom armijom Severne Virdžinije. Bernsajda osuđuju što je uludo utrošio živote ogromnog broja svojih vojnika šaljući ih u bezglavi juriš na dobro ušančenog protivnika kod Frederiksburga. Vašoj pažnji neće promaći činjenica da Mak Klelana kritikuju što nije postupio kao Bernsajd, a Bernsajda što nije postupio kao Mak Klelan. I Bernsajd i Mak Klelan su činili ogromne greške, ali ne zbog nepridržavanja nekih ustaljenih pravila vojne nauke.

Najbolji vojni istoričari imaju, ipak, u vidu teškoće oko formulisanja pravila vođenja ratova. Zato i ne govore o vojnoj nauci, nego o obrascima vojnog ponašanja, obrascima koji se ne mogu u školi naučiti niti tačno formulisati, ali koji ponekad vode ka dobijanju bitke. Ovo nazivaju ratna veština ili umetnost rata. Mislim da, u tom istom smislu, treba da se nadamo ne da ćemo imati neku nauku o vođenju nauke, niti formulaciju tačnih pravila o tome kako se naučnici ponašaju ili kako bi trebalo da se ponašaju, nego da ćemo opisati jednu vrstu ponašanja koje je tokom istorije vodilo ka naučnom napretku - umetnost nauke.

6. LEPE TEORIJE

Zagledam se u oblak neki krasan, u cvet,
i moja duša tako provede sat ili dva;
pokušava, trudi se, da nasluti
u tim stvarima slavnim, ali manjim,
kakve nagoveštaje večnosti sadrži ovaj svet.

Henri Von, Mesto za odmor

Godine 1974. Pol Dirak je došao u Harvard da govori o tome kakve je istorijske uspehe postigao kao jedan od osnivača moderne kvantne elektrodinamike. Pred kraj govora, obratio se našim postdiplomcima i posavetovao ih da paze samo na lepotu, a ne na značenje, svojih jednačina. Ne valja studentima davati takve savete; ali traganje za lepotom u fizici bilo je stalna tema u Dirakovom radu, kao i u velikom delu istorije fizike.

Priče o važnosti lepote u fizici ponekad su se svodile na emocionalne izlive. Nemam nameru da potrošim ovo poglavlje samo na to da kažem još mnogo pohvala lepoti. Moja je namera da tačnije osmotrim prirodu lepote u fizičkim teorijama, da istražim zašto naše osećanje za lepotu ponekad jeste dobar vodič, a ponekad nije, i kako ta korisnost estetskog osećanja u fizici može nagovestiti da napredujemo ka konačnoj teoriji.

Fizičar koji kaže da je neka teorija lepa ne misli baš ono isto što misle ljudi koji kažu da je neka umetnička slika lepa, ili neko muzičko delo, ili neka poema. Nije to samo izraz ličnog estetskog zadovoljstva; mnogo je bliže onome što hoće reći konjički trener kad pogleda nekog trkačkog konja i kaže da je to lep konj. U konjičkom sportu, takva izjava trenera predstavlja, naravno, njegovo lično mišljenje, ali to je mišljenje o jednoj objektivnoj činjenici: da, po određenim merilima koje trener ne može lako izraziti rečima, to jeste ona vrsta konja koja pobeđuje na trkama.

Naravno, razni treneri u konjičkom sportu mogu konje ocenjivati različito. Zato i postoje konjičke trke. Ali trenerovo estetsko čulo jeste sredstvo koje služi jednom objektivnom cilju, odabiranju onog konja koji će pobeđivati. Fizičarevo estetsko čulo takođe bi trebalo da služi jednoj svrsi - odabiranju one ideje koja će najbolje pomoći da objasnimo prirodu. Fizičari, kao i konjički treneri, mogu proceniti pogrešno, ali ni jedni ni drugi se procenjivanjem ne bave samo iz ličnog zadovoljstva. Doduše, posao im često prija, i te kako prija, ali ta priyatnost nije glavna svrha zbog koje se bave izricanjem estetskih sudova.

Ovo poređenje vodi ka većem broju pitanja nego što ih rešava. Prvo, šta je to 'lepa' teorija? Koje to odlike jedne fizičke teorije daju, nama, osećanje lepote? Teže pitanje: zašto to fizičarevo osećanje za lepotu uspeva, u onim slučajevima kad uspeva? Priče ispričane u prethodnom poglavlju bile su ilustracija za pomalo avetinjsku činjenicu da nešto što je veoma lično i subjektivno, kao što je to naše osećanje za lepotu, pomaže da smišljamo fizičke teorije, pa čak i da ocenjujemo vrednost teorija. Zašto smo dobili takav blagoslov, takvu moć? A kad pokušamo odgovoriti na to pitanje, javlja se sledeće, još teže: šta to fizičar želi postići?

Šta je lepa teorija? Kustos jednog velikog američkog muzeja likovnih umetnosti jednom prilikom je ispoljio uvređenost zbog načina na koji ja koristim reč 'lepota' u vezi sa fizikom. Rekao je da su profesionalci koji se bave njegovom vrstom posla prestali koristiti reč 'lepota' zato što uviđaju koliko je nju nemoguće definisati. Davno je još istakao fizičar i matematičar Anri Poenkare da "matematičku lepotu može biti prilično teško definisati, ali ona je jednako stvarna kao svaka druga vrsta lepote".

Neću pokušati da definišem lepotu, kao što ne bih pokušavao da definišem ljubav ili strah. Te stvari ne definišeš, nego ih prepoznaješ onda kad ih osetiš. Naknadno, posle

dogadaja, ponekad uspeš da nešto malo i kažeš, u želji da te stvari opišeš; to ću pokušati ovde.

Pod lepotom jedne fizičke teorije svakako ne podrazumevam puku mehaničku lepotu simbola na štampanoj stranici. Metafizički pesnik Tomas Trahern (Thomas Traherne) veoma se trudio da njegove pesme daju lepu sliku, odnosno lep obrazac rasporeda na stranici, ali to sa poslom fizike nema nikakve veze. Takođe bih želeo razgraničiti vrstu lepote o kojoj ja govorim od onoga što matematičari i fizičari ponekad nazivaju elegancija. Elegantan dokaz u nekom izračunavanju jeste onaj dokaz koji postiže moćan rezultat uz minimum nebitnih komplikacija. Za lepotu jedne teorije nije važno da li njene jednačine imaju elegantna rešenja. Jednačine opšte teorije relativnosti su na zlu glasu kao vrlo teške za rešavanje osim u najjednostavnijim situacijama, ali to nimalo ne oštećuje lepotu same teorije. Kao što reče fizičar Lio Šilard (Leo Szilard), koji je otkrio neutronske lančane reakcije, "elegancija je za krojače".

Jednostavnost jeste deo onoga što ja podrazumevam pod pojmom lepote, ali jednostavnost ideja, a ne mehanička vrsta jednostavnosti koja bi se mogla ustanoviti prebrojavanjem jednačina ili simbola. I Ajnštajnova i Njutnova teorija gravitacije sadrže u sebi izvesne jednačine koje nam kažu koliku će gravitacionu silu proizvesti bilo koja količina materije. U Njutnovoju teoriji postoje tri takve jednačine (to odgovara trima dimenzijama prostora), a u Ajnštajnovoj ... četrnaest. To, samo po sebi, ne može biti uzeto kao estetska prednost Njutnove teorije u odnosu na Ajnštajnovu. Istina je, zapravo, to da je Ajnštajnova teorija lepša, jednim delom i zbog jednostavnosti svoje središnje zamisli o ekvivalentnosti gravitacije i inercije. O ovoj oceni postoji opšta saglasnost naučnika; štaviše, kao što smo videli, upravo ta ocena bitno je doprinela ranom prihvatanju Ajnštajnovu teorije.

Postoji, osim jednostavnosti, još jedna osobina koja može učiniti fizičku teoriju lepom - a to je osećanje neizbežnosti u njoj. Kad slušate neku muzičku kompoziciju ili nekoga ko recituje sonet, ponekad osetite veliko estetsko zadovoljstvo proisteklo iz osećanja da u tom umetničkom delu ništa ne bi moglo biti izmenjeno, da nema nijedne note ili nijedne reči za koju biste želeli da bude drugačija. Na Rafaelovoj slici 'Sveta porodica' položaj svake pojedine figure na platnu je savršen. To možda nije vaša najomiljenija umetnička slika na svetu, ali dok je gledate, ne poželite da je Rafael ijedan deo nje naslikao drugačije. Ovo isto važi delimično i za opštu teoriju relativnosti. Kad upoznate opšta fizička načela koja je Ajnštajn usvojio, shvatite da ne postoji nikakva druga, bitno drugačija teorija gravitacije ka kojoj je Ajnštajn mogao krenuti. Kao što je sam Ajnštajn rekao o opštoj teoriji relativnosti: "Njena glavna privlačnost leži u njenoj logičkoj složenosti. Ako se za samo jedan od njenih zaključaka ispostavi da je pogrešan, ona mora biti napuštena; preinačiti je, a pri tom ne uništiti celo zdanje, čini se da je nemoguće."

Ovo u manjoj meri važi za Njutnovu teoriju gravitacije. Njutm je mogao pretpostaviti da sila teže opada upravo srazmerno kubu, a ne kvadratu rastojanja, da su mu astronomski podaci tako nalagali, ali Ajnštajn nikako nije mogao uključiti u svoju teoriju obrnutu srazmernost kubu rastojanja, a da pri tom na baci na smetlišće i konceptualnu osnovu teorije. Otud Ajnštajnovih četrnaest jednačina imaju u sebi jednu neizbežnost, dakle i lepotu, koja Njutnovim trima jednačinama nedostaje. Mislim da je Ajnštajn na to mislio kad je rekao da ona strana njegovih jednačina u opštoj teoriji relativnosti koja se odnosi na gravitaciono polje jeste divna, kao od mermera isklesana, a

da ona druga strana tih istih njegovih jednačina, koja se odnosi na materiju, jeste još ružna, kao da je izdeljana od drveta. Jer, način na koji gravitaciono polje ulazi u Ajnštajnovu jednačinu jeste gotovo neizbežan, ali ništa u opštoj teoriji relativnosti ne objašnjava zašto materija postoji baš u onim oblicima u kojima postoji.

Isto osećanje neizbežnosti može se takođe naći (i opet - samo delimično) u našem modernom standardnom modelu jakih i elektroslabih sila koje deluju na elementarne čestice. Postoji jedna zajednička odlika koja i opštoj teoriji relativnosti i ovom standardnom modelu daje glavninu njihovog svojstva neizbežnosti i jednostavnosti: oni poštuju načela simetrije.

Načelo simetrije jeste naprosto izjava da nešto izgleda isto kad se gleda sa određenih, različitih, tačaka gledanja. Od svih takvih simetrija, najjednostavnija jeste približna dvostrana simetrija ljudskog lica. Pošto se leva strana i desna strana vašeg lica ne razlikuju mnogo, ono izgleda isto kad desna strana dođe levo, a leva desno, što je preokret koji nastaje kad se gledate u ogledalu. Već je poznat postupak, maltene kliše, u filmskoj umetnosti da publici najednom bude otkrivena istina da je lice glumca ili glumice do maločas bilo viđeno u ogledalu; od ovog iznenađenja ne bi ništa bilo kad bismo imali lice kao riba iverak, kojoj su oba oka na istoj strani glave, i kad bi to uvek bila kod svih ljudi ista strana.

Neke stvari imaju obimniju simetriju nego ljudsko lice. Kocka izgleda isto kad se gleda iz šest različitih pravaca koji su svi pod pravim uglom jedan u odnosu na drugi; osim toga, izgleda isto i kad se izvrši reverzija njene leve i desne strane. Savršeni kristali izgledaju isto ne samo kad ih gledamo iz različitih pravaca nego i kad se nalazimo unutar kristala, pa se u određenoj meri pomeramo u raznim pravcima, ne izlazeći pri tom iz njega. Lopta izgleda iz svakog pravca - isto. Prazan prostor izgleda isto iz svakog pravca i sa svakog položaja.

Ovakve simetrije su zabavljale i zanimale umetnike i naučnike već hiljadama godina, ali nisu imale neku stvarno presudnu ulogu u nauci. Mi o soli znamo mnogo toga, ali činjenica da kristal soli jeste kockast i da izgleda isto kad se gleda sa šest različitih tačaka nije nam baš najvažnije od tih znanja. A ni dvostrana simetrija nije baš ono najzanimljivije na ljudskom licu. Simetrije koje su u prirodi zaista važne jesu simetrije ne stvari nego zakona.

Pod simetrijom u zakonima prirode podrazumevamo to da se, onda kada izvršimo određene promene ugla pod kojim posmatramo neke prirodne pojave, zakoni prirode koje otkrivamo ne menjaju. Za takve simetrije često se kaže da predstavljaju načela invarijantnosti. Na primer, zakoni prirode koje otkrivamo zadržavaju isti oblik ma kako stajala naša laboratorija; sasvim je svejedno da li pravce merimo u odnosu na sever, severoistok ili bilo koju drugu stranu. Ovo nije bilo tako očigledno antičkim i srednjovekovnim filozofima prirode; u svakodnevnom životu čovek svakako stekne utisak da postoji razlika između pravca gore-dole i svih mogućih vodoravnih pravaca. Tek sa rođenjem moderne nauke u sedamnaestom veku postalo je jasno da pravac 'dole' nama izgleda drugačiji od pravca 'gore' ili pravca ka severu samo zato što se ispod nas zadesila jedna povelika masa, Zemlja, a ne (kao što je Aristotel mislio) zato što je prirodno mesto teških stvari dole, a lakih gore. Zapazite da simetrija ne kaže da je dole isto što i gore; posmatrač koji mere udaljenja gledajući nagore, odnosno nadole u odnosu na površinu Zemlje daće nam različite opise padanja jedne jabuke, ili nekog drugog takvog događaja,

ali će otkriti iste zakone - na primer, zakon da jabuke bivaju privučene masivnim telom kao što je Zemlja.

Osim toga, zakoni prirode javljaju se u istom obliku ma gde smestili našu laboratoriju; rezultati će ispasti isti bez obzira na to da li opite vršimo u Teksasu, Švajcarskoj ili na nekoj planeti na drugoj strani Galaksije. Zakoni prirode imaju isti oblik bez obzira na to kako podesimo naše časovnike; možemo mi da računamo godine od Hegire ili od rođenja Hristovog ili od početka Vaseljene, promena u tim zakonima neće biti. Da nije ovih simetrija, sva naučna znanja morala bi se sticati ispočetka u svakoj novoj laboratoriji i u svakom sledećem trenutku.

Svako načelo simetrije u isti mah je i načelo jednostavnosti. Ako bi zakoni prirode zaista bili drugačiji za pravce kao što su gore ili dole ili ka severu, onda bismo morali u naše jednačine uneti činioce kojima bismo uzeli u obzir i to kako je laboratorija okrenuta, te bi samim tim one bile srazmerno manje jednostavne. Zapravo, i u sam način označavanja kojim se matematičari i fizičari služe da bi svojim jednačinama dali što jednostavniji i sažetiji izgled uneta je, već, pretpostavka da su svi pravci u prostoru jednako vredni.

Ove simetrije prirodnih zakona važne su i u klasičnoj fizici, ali još više u kvantnoj mehanici. Hajde da razmislimo: po čemu se jedan elektron razlikuje od drugog? Samo po tri svoje osobine, a to su njegova energija, njegov impuls i njegov spin; izuzimajući te tri odlike, svaki elektron u celoj Vaseljini isti je kao svaki drugi. A sve te tri odlike jesu naprosto veličine koje određuju kako kvantnomehanička talasna funkcija tog elektrona reaguje na transformacije simetrija: kako reaguje na načine na koje nameštamo svoje satove ili gde izgradimo laboratoriju ili kako je usmerimo. Na primer, frekvencija kojom osciluje talasna funkcija ma kog sistema koji se nalazi u nekom određenom energetskom stanju data je njegovom energijom podeljenom jednom prirodnom konstantom koja je poznata kao Plankova konstanta. Taj sistem izgleda manje-više isto dvojici posmatrača koji su namestili satove za jedan sekund različito, ali ako obojica osmotre sistem kad kazaljke njihovih satova budu tačno na crtici 'podne', oni će uočiti dve razne faze te oscilacije; pošto su njihovi satovi podešeni različito, njih dvojica, zapravo, gledaju taj sistem u različitim vremenima, tako da jedan posmatrač može videti, recimo, vrh talasa, a drugi posmatrač može videti dolju talasa. Konkretno govoreći, faza se razlikuje po broju ciklusa (ili delova ciklusa) koji se dogode za jedan sekund; drugim rečima, razlikuje se po frekvenciji oscilovanja izraženoj u ciklusima u sekundi, pa zato i po energiji podeljenoj Plankovom konstantom. U današnjoj kvantnoj mehanici, mi opisujemo energiju bilo kog sistema kao promenu u fazi (u ciklusima ili delovima ciklusa) talasne funkcije tog sistema u jednom datom vremenu časovnika, koja nastaje kad pomerimo podešenost naših satova za jedan sekund. Plankova konstanta se ovde uvodi samo zato što se energija, iz istorijskih razloga, meri u jedinicama kao što su kalorije, kilovat-časovi ili elektron-volti - dakle u jedinicama koje su usvojene pre nego što je kvantna mehanika pronađena; Plankova konstanta je naprosto činilac pretvaranja tih starih sistema jedinica u prirodne, kvantnomehaničke jedinice energije: broj ciklusa u sekundi. Može se pokazati da energija, ovako definisana, ima sve one osobine koje normalno povezujemo sa energijom, pa i osobinu očuvanja; uistinu, invarijantnost zakona prirode pod simetrijskim transformacijama pri drugačijem podešavanju satova jeste razlog što uopšte postoji pojava koju nazivamo energija. Na uglavnom isti način, u svakom sistemu komponenta impulsa u ma kom određenom pravcu definiše se kao promena faze talasne funkcije do

koje dolazi kad tačku sa koje merimo položaje pomaknemo za jedan centimetar u tom pravcu, pomnožena, opet, Plankovom konstantom. Posmatrano iz ovog ugla, impuls i spin jesu ono što jesu zbog simetrije zakona prirode pod onim promenama u referentnom okviru koje mi upotrebljavamo da bismo izmerili položaje ili pravce u prostoru. (Nabrajajući osobine elektrona, ne uključujem položaj, zato što su položaj i impuls dve komplementarne osobine; možemo opisati stanje jednog elektrona u terminima njegovog položaja ili u terminima njegovog impulsa, ali nikako oba ta zajedno.) Materija, na taj način, gubi svoju središnju ulogu u fizici: od materije preostaju samo načela simetrije i razni načini na koje se talasne funkcije mogu ponašati pod simetrijskim transformacijama.

Postoje u prostorvremenu izvesne simetrije koje nisu baš tako očigledne kao ove jednostavne translacije i rotacije. Zakoni prirode takođe, koliko znamo, izgledaju jednaki (odnosno imaju isti oblik) za posmatrača koji se kreću različitim stalnim brzinama; svejedno je da li vršimo naše opite ovde u Sunčevom sistemu, ili dok jurimo oko središta Galaksije brzinom od više stotina kilometara u sekundi, ili u nekoj dalekoj galaksiji koja se udaljava od naše brzinom od više desetina hiljada kilometara u sekundi. Ovo poslednje načelo simetrije ponekad se naziva: načelo relativnosti. Široko je rasprostranjen utisak da ga je smislio Ajnštajn, ali načelo relativnosti postoji i u Njutnovoј teoriji mehanike; razlika je samo u načinu na koji u tim dvema teorijama brzina posmatrača utiče na opažanje položaja i vremena. Međutim, Njutn je smatrao da je njegova verzija načela relativnosti nešto što se podrazumeva samo po sebi; Ajnštajn je, međutim, svesno gradio svoju verziju načela relativnosti da bi ona bila u skladu sa jednom opitnom činjenicom: sa okolnošću da brzina svetlosti izgleda ista bez obzira na to kako se posmatrač kreće. U tom smislu, stavljanje naglaska na simetriju kao važno pitanje fizike, u Ajnštajnovom radu iz 1905. o posebnoj relativnosti, označava početak modernog odnosa prema načelima simetrije.

Najvažnija razlika između načina na koji na opažanje prostorvremenskih položaja utiče kretanje posmatrača u Njutnovoј fizici i u Ajnštajnovoj fizici jeste ta što u posebnoj teoriji relativnosti nema nikakvog apsolutnog značenja izjava da su se dva međusobno udaljena događaja dogodila istovremeno. Jedan posmatrač može videti da dva zidna časovnika otkucavaju podne u isto vreme; drugi posmatrač, koji se kreće u odnosu na prvog, videće da jedan od ta dva časovnika otkucava podne pre ili posle drugog. Kao što smo ranije videli, zbog ovoga Njutnova teorija gravitacije, i svaka slična teorija sile, mora biti u neskladu sa posebnom teorijom relativnosti. Njutnova teorija nam kaže da gravitaciona sila kojom Sunce deluje na Zemlju u ma kom trenutku zavisi od toga gde se, u tom istom času, nalazi masa Sunca, ali šta to znači 'u tom istom času' - po čijem opažaju?

Prirodni način da se izbegne ovaj problem jeste da se napusti stara njutnovska zamisao da postoji trenutno delovanje na daljinu, i da se, umesto nje, uvede slika u kojoj sila nastaje delovanjem izvesnih polja. Po ovoj slici, Sunce ne privlači Zemlju neposredno, nego stvara oko sebe jedno polje, koje nazivamo gravitaciono polje, a to polje onda vuče Zemlju. Ovo bi moglo nekome da se učini kao ukazivanje na razliku koja to, zapravo, nije, ali jeste, i ova promena je od ključne važnosti: kad se na Suncu dogodi erupcija, takozvana protuberanca, ona utiče na gravitaciono polje Sunca, ali u prvi mah samo na gravitaciono polje u neposrednoj blizini Sunca. Posle toga, ova majušna promena u gravitacionom polju širi se kroz svemir brzinom svetlosti; širi se poput

vodenih talasića sa mesta gde oblutak padne u vodu, i stigne do Zemlje tek nekih osam minuta kasnije. Sa ovim opisom slažu se svi posmatrači koji se kreću ma kojom stalnom brzinom, zato što su u posebnoj teoriji relativnosti svi posmatrači saglasni oko toga kolika je brzina svetlosti. Isto tako, naelektrisano telo stvara oko sebe jedno polje, koje nazivamo elektromagnetno polje, a koje deluje električnim i magnetnim silama na druga naelektrisana tela. Kad se to naelektrisano telo naglo pomeri, pomera se i njegovo elektromagnetno polje, ali u prvi mah se pomera samo u blizini tog tela, a posle se promene šire kroz to polje brzinom svetlosti. Zapravo, u ovom slučaju, te promene u elektromagnetnom polju i jesu ono što nazivamo svetlost, mada je to često svetlost tako velike ili tako male talasne dužine da nije vidljiva našem oku.

U kontekstu pretkvantne fizike, Ajnštajnova posebna teorija relativnosti dobro se uklapala u dualistički pogled na prirodu, koji nam kaže sledeće: da postoje čestice, kao što su elektroni, protoni i neutroni običnih atoma, i da postoje polja, kao što je gravitaciono ili elektromagnetno. Dolaskom kvantne mehanike, postigli smo jedan znatno objedinjeniji pogled. Kvantnomehantički govoreći, energija i impuls u jednom polju kao što je elektromagnetno stižu u paketićima koji se nazivaju fotoni i ponašaju se baš kao čestice - doduše, čestice bez mase. Slično tome, energija i impuls u gravitacionom polju stižu u paketićima koji se nazivaju gravitoni i koji se takođe ponašaju kao čestice sa masom jednakom nuli. U velikom gravitacionom polju kao što je Sunčevo, mi ne primećujemo pojedinačne gravitone u suštini zato što ih ima tako mnogo.

Godine 1929. Verner Hajzenberg i Wolfgang Pauli, gradeći na ranijim radovima Maksa Borna, Hajzenberga, Paskvala Žordana i Eugena Vignera (Eugene Wigner), objasnili su, u dva svoja rada, kako se i masivne čestice kao što je elektron mogu takođe razumeti kao paketi energije i impulsa, samo u poljima druge vrste, kao što je elektronsko polje. Baš kao što u kvantnoj mehanici elektromagnetna sila između dva elektrona nastaje razmenom fotona, tako isto i sila između fotona i elektrona nastaje razmenom elektrona. Sposobnost razlikovanja između materije i sile gotovo sasvim nestaje; bilo koja čestica može poslužiti kao probno telo na koje će sile delovati ili razmenom te čestice proizvoditi neku drugu silu. Danas je opšteprihvaćeno da se načela posebne teorije relativnosti i kvantne mehanike mogu kombinovati samo kroz kvantnu teoriju polja ili nešto njoj vrlo slično. Upravo je to ona vrsta logičke krutosti koja daje zaista temeljnoj teoriji lepotu: kvantna mehanika i posebna relativnost su maltene nespojive, pa zbog toga njihovo pomirenje u kvantnoj teoriji polja nameće jaka ograničenja načinima na koje čestice mogu delovati jedna na drugu.

Sve dosad pomenute simetrije samo ograničavaju vrste sile i materije koje u jednoj teoriji mogu postojati - ali te simetrije ne zahtevaju, same po sebi, postojanje ma kog određenog tipa materije ili sile. Načela simetrije podigla su se na novi nivo važnosti u ovom veku, a naročito u poslednjih nekoliko decenija; postoje načela simetrije koja nalažu čak i samo postojanje svih poznatih sila prirode.

U opštoj teoriji relativnosti, ono načelo simetrije koje u njenoj osnovi leži kaže nam da su svi inercijalni sistemi jednaki: zakoni prirode izgledaju isto ne samo posmatračima koji se kreću nekom postojanom brzinom, nego svim posmatračima, bez obzira na to kako njihove laboratorije ubrzavaju ili rotiraju. Pretpostavimo da mi sad uzmemo naše fizičarske instrumente i izmestimo ih iz tihe univerzitetske laboratorije; odsad ćemo, recimo, vršiti opite na jednoj vašarskoj vrteški sa konjićima, ali takvoj koja se okreće postojano. Umesto da merimo pravce u odnosu na sever, merićemo ih odsad u

odnosu na konjiće koji su zakovani za platformu, sa kojom se zajedno vrte. Na prvi pogled, zakoni prirode izgledaće sasvim drugačiji. Mi, posmatrači na vrteški, koja se ne prestaje okretati, primećujemo da postoji jedna sila, i to centrifugalna, koja hoće da odvuče nepričvršćene predmete sa platforme i da ih odbaci napolje. Ako tu imamo posmatrače koji su na toj platformi rođeni i odrasli, a koji ne znaju da su na rotirajućoj platformi, oni će opisivati prirodu u terminima takvih zakona prirode koji će obuhvatati, kao sastavni deo, i centrifugalnu silu, pa će njihovi zakoni izgledati sasvim drugačije nego zakoni kakve otkrivaju drugi naučnici.

Činjenica da zakoni prirode, reklo bi se, prave razliku između nekretnih i obrtnih referentnih sistema uznemiravala je Isaka Njutna i stalno dodijavala fizičarima i u sledećim vekovima. U osamdesetim godinama devetnaestog veka bečki fizičar i filozov Ernst Mah (Ernst Mach) ukazao je na put ka mogućem rešenju. Mah je naglasio da se rotirajuća vrteška razlikuje od nepokretne laboratorije po još nečemu, a ne samo po centrifugalnoj sili. Sa tačke gledanja astronoma na vrteški, Sunce, zvezde, galaksije - dakle, glavina materije u Vaseljenu - rotiraju, čini se njemu, oko zenita. Vi i ja bismo rekli da je to zato što se platforma vrti, ali astronom koji je na platformi odrastao i koji koristi nju kao svoj referentni sistem (prirodno, šta bi drugo) ostaće uporan u svom uverenju da se ostatak Vaseljene vrti oko njega. Mah se zapitao postoji li ikakav način da to veliko prividno kruženje materije označimo kao uzrok nastajanja centrifugalne sile. Ako bi postojao, onda bi zakoni prirode otkriveni na vrteški mogli biti bukvalno isti oni zakoni prirode koje naučnici otkrivaju u uobičajenijim laboratorijama; razlika bi bila samo prividna, i poticala bi naprosto od različitih okruženja koje posmatrači iz svojih laboratorija vide.

Ovu zamisao, koju je Mah nabacio, Ajnštajn je prihvatio i detaljno razradio u svojoj opštoj teoriji relativnosti. U opštoj relativnosti, postoji, zaista, jedno delovanje dalekih zvezda na vrtešku, delovanje koje dovodi i do pojave centrifugalne sile: to je sila gravitacije. Naravno da se ništa slično ne dešava u Njutnovoj teoriji gravitacije, koja poznaje samo jednostavno privlačenje svih masa. Opšta relativnost je složenija; u njoj, kružno kretanje materije cele Vaseljene oko zenita, koju opažaju posmatrači na vrteški sa konjićima, proizvodi jedno polje, donekle slično magnetnom polju što nastaje kružnim kretanjem elektriciteta kroz namotaje nekog elektromagneta. Upravo ovo 'gravitomagnetno' polje proizvodi, u referentnom okviru vrteške, ona dejstva koja bi u konvencionalnijim referentnim sistemima bila pripisana centrifugalnoj sili. Jednačina opšte teorije relativnosti, za razliku od jednačina Njutnove mehanike, sasvim su iste u laboratoriji na vrteški i u onoj konvencionalnoj; razlika između onoga što opažamo u jednoj i u drugoj potiče u celosti od njihovog različitog okruženja: naime, da li je laboratorija okružena svemirom koji se vrti oko zenita ili svemirom koji to ne čini. Ali kad ne bi postojala gravitacija, onda ne bi bila moguća ni ova reinterpretacija centrifugalne sile, pa bi, zbog toga, centrifugalna sila koju bismo osećali na vrteški omogućila da načinimo razliku između laboratorije na vrteški i one konvencionalne; samim tim, ne bi bili isti zakoni prirode u laboratorijama koje se vrte i u onima koje se ne vrte. Tako simetrija između različitih referentnih okvira zahteva postojanje sile teže.

U osnovi elektroslabe teorije jeste jedna simetrija koja je u nešto većoj meri ezoterična. Ona se ne odnosi na menjanje naše tačke gledanja u prostoru i vremenu, nego na menjanje naše tačke gledanja u vezi sa identitetom raznih vrsta elementarnih čestica. Baš kao što je moguće da čestica bude u takvom kvantnomehaničkom stanju da nije

određeno je li tu ili je tamo, ili da nije određeno da li je njen spin u smeru kretanja kazaljki na satu ili obratno, tako isto je moguće, kroz čuda kvantne mehanike, da čestica dospe u stanje kad nije baš elektron, ali nije ni neutrino, nego je neodređeno je li jedno ili drugo od ta dva, a postaje određeno tek kad izvršimo merenje neke njene osobine koja čini razliku između ta dva, kao što je naelektrisanje. U elektroslaboj teoriji, oblik zakona prirode na menja se nimalo ako u svim jednačinama sve elektrone i neutrone zamenimo takvim mešovitim stanjima za koja nije određeno da li su elektron ili neutrino. Pošto razne druge čestice, drugih vrsta, stupaju u međudejstvo sa elektronima i neutrinima, potrebno je istovremeno pomešati i porodice tih drugih tipova čestica, tako da, na primer, ne bude jasno koji su kvarkovi gore, a koji dole, da li je nešto foton ili je jedan od fotonove braće i sestara - negativno naelektrisana 'W' čestica ili neutralna 'Z' čestica. To je ta simetrija koja povezuje elektromagnetne sile, koje nastaju razmenama fotona, sa slabim nuklearnim silama, koje nastaju razmenama 'W' i 'Z' čestica. Foton i 'W' i 'Z' čestica pojavljuju se u elektroslaboj teoriji kao paketići energije četiri polja, a ova simetrija elektroslabe teorije zahteva postojanje baš ta četiri polja, otprilike onako kao što simetrije opšte teorije relativnosti zahtevaju postojanje polja gravitacije.

Simetrije te vrste, kao što su ove u osnovi elektroslabe teorije, zovu se unutrašnje simetrije, zato što ih možemo smatrati nečim što se odnosi na unutrašnju prirodu čestica, a ne na njihov položaj ili kretanje. Unutrašnje simetrije su nam teže za shvatanje nego one koje se odnose na običan prostor i vreme, kao što je slučaj sa simetrijama koje upravljaju opštom teorijom relativnosti. Možete zamisliti svaku česticu kao nešto na čemu postoji jedan mali brojčanik sa kazaljkom; kazaljka može, recimo, pokazivati ka oznaci 'elektron' ili ka oznaci 'neutrino' ili ka bilo kom mestu između te dve oznake; isto tako, na drugoj čestici može pokazivati ka oznaci 'foton' ili ka oznaci 'W' ili bilo gde između ta dva. Unutrašnja simetrija kaže da zakoni prirode zadržavaju isti oblik ako, na određeni način, izvršimo razmenu mesta tih oznaka na tim brojčanicima.

Dalje, kod one vrste simetrije koja vlada elektroslabim silama možemo preokretati te naše male brojčanike različito za čestice koje su u raznim vremenima ili položajima. Ovo je uglavnom nalik na simetriju koja leži u osnovi opšte teorije relativnosti, simetriju koja nam dopušta da zaokrećamo našu laboratoriju u prostoru, ali ne samo za neki određeni ugao, nego stalno sve više i više, tako da se zaokretanje vremenom povećava - na primer, ako laboratoriju stavimo na platformu vašarske vrteške sa konjicima. Nepromenljivost zakona prirode u odnosu na grupu takvih unutrašnjih simetrijskih transformacija zavisnih od položaja i od vremena zove se lokalna simetrija (zato što dejstvo simetrijskih transformacija zavisi od smeštanja u vremenu i prostoru), a ima i drugi naziv, 'gejdž simetrija', iz razloga koji su čisto istorijski. Zbog lokalne simetrije između različitih referentnih okvira u prostoru i vremenu, gravitacija je nužna, a na sličan način druga lokalna simetrija, ona između elektrona i neutrina (takođe između kvarkova gore i kvarkova dole i tako dalje) čini da je postojanje fotona, 'W' čestice i 'Z' čestice takođe nužno.

Postoji još jedna, treća tačna lokalna simetrija, u vezi sa jednom unutrašnjom osobinom kvarkova za koju je, malčice maštovito i neozbiljno, usvojen naziv boja. Videli smo da ima kvarkova raznih vrsta, kao što su gore i dole; od tih kvarkova sačinjeni su protoni i neutroni koji postoje u svim običnim atomskim jezgrima. Ali dodatna je istina da svaki tip kvarka može da se pojavi u tri različite 'boje', za koje fizičari u Americi vole da kažu da su crvena, bela i plava. Naravno, ovo nema nikakve veze sa stvarnim bojama;

to su samo etikete koje smo nalepili tim česticama da ih razlikujemo. Koliko nam je poznato, u prirodi postoji tačna simetrija između različitih boja; sila između jednog crvenog i jednog belog kvarka ista je kao sila između belog i plavog, a sila između dva crvena je ista kao između dva plava. Ali ova sila ne ostaje samo na toj razmenljivosti boja. U kvantnoj mehanici možemo razmatrati ona stanja jednog kvarka kad on nije ni crven ni plav nego možda crven, a možda plav. Zakoni prirode zadržavaju tačno isti oblik ako zamenimo crvene, bele i plave kvarkove odgovarajućim mešovitim stanjima (neka to budu purpurni, ružičasti i lavanda). Opet analogno opštoj teoriji relativnosti, činjenica da na zakone prirode ne utiče to mešanje, pa čak ni pomicanje tih mešavina sa jednog mesta na drugo i iz jednog vremena u drugo, zahteva da uključimo u našu teoriju jednu porodicu polja (nekoliko polja) koja će stupati u međudejstvo sa kvarkovima, što će biti analogno gravitacionom polju. Postoji osam ovakvih polja; poznata su kao gluonska polja zato što dejstvom tih polja nastaju jake sile koje kao kakav lepakEngl. glue: lepak - prim. prev. lepe kvarkove jedan za drugi, da bi kvarkovi ostali unutar protona i neutrona. Naša moderna teorija o tim poljima, kvantna hromodinamika, i nije ništa drugo nego teorija kvarkova i gluona koja poštuje ovu lokalnu simetriju boja. Standardni model elementarnih čestica sastoji se od elektroslabe teorije kombinovane sa kvantnom hromodinamikom.

Pominjao sam da načela simetrije daju teoriji jednu vrstu krutosti. Neko bi mogao pomisliti da je to nedostatak, da fizičar želi razvijati teorije koje će moći da opišu široku raznovrsnost pojava, te mu zato odgovara krajnja fleksibilnost teorija - njihova sposobnost da daju razumne rezultate i u veoma različitim mogućim okolnostima. Ovo jeste tako na mnogim područjima nauke, ali nije tako u ovoj oblasti temeljne fizike. Mi smo na tragu nečeg opšteg, nečeg što vlada fizičkim pojavama u celokupnom kosmosu; to nešto nazivamo zakoni prirode. Ne želimo otkriti teoriju koja je sposobna da opiše sve zamislive vrste sila među prirodnim česticama. Umesto toga, nadamo se da ćemo otkriti teoriju koja će nam, zbog svoje krutosti, dopustiti da opišemo samo i jedino one sile - gravitacione, elektroslabe, i jake - koje zaista postoje. Ova vrsta krutosti u našim fizičkim teorijama jeste deo onoga što smatramo lepotom.

Naše teorije krutost dobijaju ne samo od tih načela simetrije nego i od još ponečega. Samo na osnovu načela simetrije nikako ne bismo stigli do elektroslabe teorije, a ni do kvantne hromodinamike, osim ako bi te dve teorije bile jedan poseban slučaj u daleko široj lepezi teorija sa neograničenim brojem podesivih konstanti čije bismo vrednosti ubacivali kako nam drago. Dodatno ograničenje, koje nam je dopustilo da odaberemo naš jednostavni standardni model između velike raznovrsnosti drugih, složenijih teorija koje zadovoljavaju ista ta načela simetrije, bio je sledeći uslov: da one beskonačnosti koje se u izračunavanjima jave jedna drugu i ponište. (Dakle, da teorija bude 'renormalizabilna'.) Pokazalo se da ovaj uslov prisiljava teoretičara da se opredeli za vrlo veliku jednostavnost u jednačinama teorije; taj uslov, zajedno sa raznim lokalnim simetrijama, znatno doprinosi uspostavljanju postojećeg, jedinstvenog oblika standardnog modela elementarnih čestica.

Lepota koju nalazimo u fizičkim teorijama kao što je opšta teorija relativnosti ili standardni model veoma nalikuje na lepotu koju na nas prenose neka umetnička dela, ona koja nam daju osećanje neizbežnosti, osećanje da ne bismo želeli izmeniti nijedan potez četkicom, nijednu notu, nijedan stih. Ali i kad se divimo muzici, slikarstvu ili poeziji, i

kad razmatramo fizičke teorije, ovo osećanje neizbežnosti je stvar ukusa i ne može se svesti ni na kakvu formulu.

Svake druge godine laboratorija 'Lorens Berkli' objavi po jednu knjižicu u kojoj su nabrojane osobine svih elementarnih čestica poznatih do tog trenutka. Ako ja kažem da osnovno načelo koje prirodom vlada jeste to da elementarne čestice moraju imati odlike navedene u toj knjižici, onda je svakako istina da sve poznate osobine elementarnih čestica neminovno proističu iz tog jednog načela. To načelo ima čak i moć predviđanja: svaki novi elektron ili proton stvoren u našim laboratorijama imaće tačno onu masu i naelektrisanje kako to u pomenutoj knjižici piše. Međutim, samo to osnovno načelo toliko je ružno da niko ne bi imao utisak da smo njime išta postigli. Njegova ružnoća ogleda se u nedostatku jednostavnosti i neizbežnosti. U toj knjižici ima na hiljade raznih brojeva, i svaki od njih bi se mogao izmeniti, a da ostatak informacija u knjižici ne postane besmislen. Ne postoji logička formula koja bi odredila oštru liniju razgraničenja između lepe teorije koja nešto objašnjava i pukog spiska podataka, ali kad vidimo jedno i drugo, mi znamo razliku. Da bismo ozbiljno shvatili svoja sopstvena načela, zahtevamo da ona ispolje krutost i jednostavnost. Dakle, naša estetska ocena nije samo sredstvo kojim se služimo da bismo pronašli naučna objašnjenja i ocenili njihovu valjanost - ona ulazi u sastav pojma 'objašnjenje'.

Drugi naučnici ponekad se podsmevaju nama, fizičarima čestica, zato što sada već ima premnogo tih takozvanih elementarnih čestica, tako da moramo nositi pomenutu knjižicu ('berkljevku') u džepu kako bismo se povremeno podsetili kako se koja zove i koje osobine ima. Ali broj čestica nije sam po sebi važan. Kao što reče Abdus Salam, priroda ne štedi na česticama, a ni na silama, nego na načelima. Važno je imati jedan skup jednostavnih i ekonomičnih načela koja će objasniti zašto sve te čestice jesu ono što jesu. Zaista jeste uznemiravajuće to što mi do dana današnjeg nismo pronašli celovitu teoriju koja bi bila takva. Ali kad je jednog dana pronađemo, onda neće biti važno koliko mnoštvo različitih vrsta čestica i sila njome opisujemo, biće važno jedino da teorija to postiže divno, kao neminovnu posledicu jednostavnih načela.

Lepota koju nalazimo u fizičkim teorijama jeste veoma ograničena vrsta lepote. To je, koliko sam ja uspeo rečima iskazati, lepota jednostavnosti i neizbežnosti - lepota savršenstva strukture, lepota kad se sve tačno uklopi jedno s drugim, kad se više ništa tu ne može izmeniti, kad zavlada logička krutost. Škrta i klasična lepota, kao u tragedijama iz antičke Grčke. Ali u umetnostima nalazimo i druge vrste lepote. Šekspirov pozorišni komad ne poseduje tu vrstu lepote, ili bar ne u onoj meri u kojoj je neki od njegovih soneta poseduju. Često se dešava da pozorišni režiser, pripremajući izvođenje nekog Šekspirovog komada, izostavi nekoliko celih govora. U filmskoj verziji Hamleta koju je dao Lorens Olivije, Hamlet nigde ne kaže: "O kakav sam zao rob ja, kakva seljačina i propalica!" A ipak to filmsko izvođenje uspeva, zato što Šekspirovi pozorišni komadi nisu škrte, savršene strukture, kao što je to opšta teorija relativnosti ili tragedija Kralj Edip, nego su velike, 'šljampave' kompozicije čija obilata neurednost odražava složenost koju ima sam život. Upravo to i jeste deo lepote njegovih komada, lepote koja, po mom ukusu, jeste jedna viša lepota, lepota višeg reda, nego što je ona koju nalazimo u pomenutoj Sofoklovoj tragediji ili u opštoj teoriji relativnosti. Neki od najboljih trenutaka kod Šekspira jesu oni gde on namerno napušta grčki model tragedije i ubacuje komičnog proletera, nosača, recimo, ili baštovana ili prodavca smokava ili grobara - neposredno pre nego što se neko od glavnih likova susretne sa svojom sudbinom oči u oči. Dabome da bi

lepota teorijske fizike bila veoma loš primer za umetnost, ali ona postoji i, kakva je - da je, pruža nam zadovoljstvo i vodi nas.

Meni se čini da je teorijska fizika još u jednom pogledu loš primer umetnicima. Naše teorije su veoma ezoterične, a takve i moraju biti, zato što smo prinuđeni da razvijamo te teorije upotrebom jednog jezika, jezika matematike, koji nije postao deo opšteg znanja obrazovane publike. Fizičari, uglavnom, ne vole činjenicu da su naše teorije toliko ezoterične. S druge strane, čuo sam ponekad umetnike kako govore ponosito o svojim delima upravo zato što su dostupna samo maloj grupi vrhunskih znalaca, a onda opravdavaju ovaj svoj stav poredeći ga sa fizičkim teorijama kao što je opšta teorija relativnosti koju, takođe, mogu razumeti samo oni koji su uvedeni u to znanje. Moguće je da umetnici, kao i fizičari, ponekad ostaju neshvaćeni od strane masovne publike, ali biti 'zamumuljen i zakukuljen' zato što to voliš da budeš, to je, naprosto, smešno.

Iako tragamo za teorijama koje su lepe zbog krutosti koja im je nametnuta jednostavnim osnovnim načelima, stvarati jednu teoriju ne znači naprosto matematički je izvoditi iz jednog skupa unapred određenih načela. Često se dešava da mi naša načela izmišljamo 'u hodu', dok radimo, ponekad upravo zato što će nas ona voditi ka željenoj vrsti krutosti. Ne sumnjam da je jedan od razloga što je Ajnštajn bio toliko zadovoljan svojom idejom o ekvivalenciji gravitacije i inercije bio i taj što je to načelo vodilo ka samo jednoj, prilično krutoj teoriji gravitacije, a ne ka nekoj beskrajnoj raznovrsnosti mogućih teorija gravitacije. Izvoditi posledice datog skupa dobro formuliranih fizičkih načela, to može biti teško ili lako, ali to je ono što fizičari nauče da rade još u srednjoj školi, i taj posao im, uglavnom, prija. Stvaranje novih načela fizike je užasno teško i, koliko nam je poznato, ne može se ni u kakvoj školi naučiti.

Pomalo avetinjski - iako je lepota fizičkih teorija ugrađena u krute matematičke strukture zasnovane na jednostavnim osnovnim načelima - strukture koje poseduju tu vrstu lepote umeju da prežive čak i kad se dokaže da su načela, koja su ležala u njihovoj osnovi, bila pogrešna. Dobar primer za ovo jeste Dirakova teorija elektrona. Dirak je 1928. godine pokušavao da preuredi Šredingerovu verziju kvantne mehanike u terminima talasa čestica tako da ona dođe u sklad sa posebnom teorijom relativnosti. Ovaj napor vodio je Diraka zaključku da elektron mora imati izvestan spin, kao i da je Vaseljena ispunjena neopazivim elektronima negativne energije, čije odsustvo u nekoj tački može biti u laboratoriji opaženo kao prisustvo jednog elektrona sa suprotnim nabojem, dakle prisustvo antičestice elektrona. Ova njegova teorija stekla je ogroman ugled kad su 1932. u kosmičkim zracima otkrivene upravo takve čestice, za koje sada imamo naziv pozitroni. Dirakova teorija bila je ključni sastojak u onoj verziji kvantne mehanike koja je razvijana i sa velikim uspehom primenjivana u tridesetim i četrdesetim godinama dvadesetog veka. Ali mi danas znamo da je ovo Dirakovo gledanje bilo većim delom pogrešno. Pravi kontekst za pomirenje kvantne mehanike sa posebnom teorijom relativnosti nije ta relativistička verzija Šredingerove talasne mehanike za kojom je Dirak tragao, niti neka slična, nego jedan uopšteniji formalizam poznat kao kvantna teorija polja, koju su Hajzenberg i Pauli izložili 1929. U kvantnoj teoriji polja, ne samo što foton jeste jedan paketić energije jednog polja, elektromagnetnog, nego i elektron i pozitron jesu paketići energije elektronskog polja, a i sve ostale elementarne čestice jesu paketići energije raznih drugih polja. Dirakova teorija elektrona dala nam je, maltene pukim slučajem, iste rezultate kao i kvantna teorija polja za procese u kojima se javljaju samo elektroni,

pozitroni i/ili fotoni. Ali kvantna teorija polja je opštija - ona uspeva objasniti i procese kao što je nuklearni beta raspad, koji nisu mogli biti objašnjeni Dirakovom teorijom. Ništa u kvantnoj teoriji polja ne zahteva da čestice imaju neki određeni spin. Elektron, eto, naprosto ima onaj spin koji je Dirakova teorija zahtevala, ali ima drugih čestica, sa drugim spinovima, a te druge čestice imaju svoje antičestice, i sve to neme nikakve veze sa 'negativnim energijama' o kojima je Dirak nagađao. Međutim, matematika Dirakove teorije je preživela do danas, kao bitni deo kvantne teorije polja; mora se predavati postdiplomcima na svakom visokom tečaju kvantne mehanike. Dakle, formalna struktura Dirakove teorije preživela je 'pogibiju' onih načela relativističke kvantne mehanike kojima se Dirak, izgrađujući svoju teoriju, rukovodio.

Prema tome, matematičke strukture koje fizičari razvijaju poštujući načela fizike imaju čudnovatu prenosivost - može ih 'poneti' na drugo mesto, iz jednog konceptualnog okruženja u drugo; one mogu poslužiti mnogobrojnim, različitim svrhama, kao ključne kosti u vašim ramenima koje kod neke druge životinjske vrste spajaju krilo i telo (kod ptice) ili peraje i telo (kod delfina). Tačno je da nas načela fizike vode ka tim lepim strukturama, ali lepota ponekad opstane i kad sama ta načela ne opstanu.

Jedno moguće objašnjenje za ovo dao je Nils Bor. Nagađajući godine 1922. o budućnosti njegove ranije teorije o atomskoj strukturi, napomenuo je da "matematika raspolaže samo ograničenim brojem oblika koji mogu biti prilagođeni Prirodi, pa se može desiti da čovek nabasa na prave oblike dok formuliše sasvim pogrešne koncepte". Ispostavilo se da je Borova prognoza o budućnosti njegove sopstvene teorije bila tačna: njena osnovna načela su napuštena, ali jedan deo njenog jezika i njenih metoda izračunavanja koristimo i danas.

Upravo prilikom primene čiste matematike na fiziku, delotvornost estetskih sudova postaje u najvećoj meri zaprepašujuća. Već svako zna da matematičare u njihovom radu pokreće želja da konstruišu formalizme koji će biti i konceptualno lepi. Engleski matematičar G. H. Hardi (G. H. Hardy) objasnio je da "obrasci u matematici, kao i oni u slikarstvu ili poeziji, moraju biti lepi. Ideje se, kao i boje ili reči, moraju uklapati harmonično. Lepota je prvi test. Nema trajnog opstanka ružnoj matematici." A ipak, te matematičke strukture koje matematičari, po sopstvenom priznanju, razvijaju zato što tragaju za jednom vrstom lepote, kasnije često posluže fizičarima i pokažu se kao izvanredno korisne.

Radi ilustracije, vratimo se opet primeru neeuklidovske geometrije i opšte teorije relativnosti. Posle Euklida, matematičari su još dva milenijuma pokušavali otkriti da li su razne osnovne postavke, koje leže u temeljima njegove geometrije, logički nezavisne jedna od druge. Ako Euklidovi postulati nisu nezavisni, ako se neki od njih mogu izvesti iz nekih drugih, onda je moguće odbaciti one suvišne i dobiti jednu ekonomičniju, pa time i lepšu formulaciju geometrije. Ovaj napor došao je do vrhunca u ranim godinama devetnaestog veka, kad su 'princ geometara' Karl Fridrih Gaus (Carl Friedrich Gauss) i još neki naučnici razvili jednu neeuklidovsku geometriju, koja važi za jednu vrstu zakrivljenog prostora i zadovoljava sve Euklidove postulate osim petog. Ovo je pokazalo da je Euklidov peti postulat uistinu logički nezavisan od ostalih. Ta nova geometrija razvijena je da bi se dao konačan odgovor na jedno istorijsko pitanje o temeljima geometrije, a ne da bi ikome bila od ikakve koristi u stvarnom svetu, na koji, mislilo se, i ne može biti primenjena.

Zatim je neeuclidovsku geometriju proširio jedan od najvećih matematičara svih vremena, Georg Fridrih Bernard Riman. Pretvorio ju je u opštu teoriju zakrivljenih prostora sa dve, tri ili ma koliko mnogo dimenzija. Matematičari su nastavili razrađivati Rimanovu teoriju zato što je bila tako divna, iako nisu ni pomišljali da bi mogla biti primenjena na bilo šta u fizici. Njena lepota bila je, dobrim delom, opet lepota neminovnosti. Kad počneš razmišljati o zakrivljenim prostorima, gotovo neizbežno kreneš ka onim matematičkim vrednostima (kao što su 'metrika', 'afinska povezanost', 'tenzori krivine' i tako dalje) koje su sastojci i Rimanove geometrije. Kad je Ajnštajn počeo razvijati opštu teoriju relativnosti, shvatio je da postoji jedan način da izrazi svoje ideje o onoj simetriji koja dovodi u vezu različite referentne sisteme, a to je da pripiše gravitaciju zakrivljenju prostorvremena. Tada je zapitao jednog prijatelja, Marsela Grosmana (Marcel Grossman), postoji li ikakva matematička teorija zakrivljenih prostora - dakle, ne samo zakrivljenih dvodimenzionih površina u običnom euklidovskom trodimenzionom prostoru, nego zakrivljenih trodimenzionih prostora, ili čak zakrivljenih četvorodimenzionih prostora. Grosman je saopštio Ajnštajnu dobru vest da i te kako postoji jedan takav matematički formalizam, koji su razvili Riman i drugi, i zatim ga naučio toj matematici, koju je Ajnštajn onda ugradio u opštu teoriju relativnosti. Ta matematika bila je spremna i čekala je Ajnštajna, a on ju je iskoristio, iako, po mom uverenju, Gaus, Riman i drugi matematičari devetnaestog veka koji su se bavili diferencijalnom geometrijom ni sanjali nisu da će njihov rad ikada biti primenjen u fizičkim teorijama gravitacije.

Jedan još čudniji primer daje nam istorija načela unutrašnje simetrije. U fizici, za načela unutrašnje simetrije tipično je da nameću jednu vrstu porodične strukture meniju mogućih čestica. Prvi poznati primer takve porodice dale su dve čestice koje sačinjavaju obična atomska jezgra: proton i neutron. Proton i neutron imaju gotovo sasvim istu masu, pa kad je Džejms Čedvik (James Chadwick) otkrio neutron godine 1932, bilo je prirodno pretpostaviti da jake nuklearne sile (koje doprinose masi protona i masi neutrona) poštuju jednu jednostavnu simetriju: naime, da će jednačine koje upravljaju tim silama očuvati svoj oblik ako u njima protoni i neutroni svuda zamene uloge. Ovo bi nam reklo nekoliko stvari: između ostalog, kazalo bi nam da je jaka nuklearna sila između dva neutrona jednaka kao i između dva protona, ali nam ne bi reklo ništa o sili između jednog protona i jednog neutrona. Nastalo je, prema tome, izvesno iznenađenje kad su opiti pokazali, godine 1936, da nuklearna sila između dva protona jeste približno ista kao između jednog protona i jednog neutrona. Ovo opažanje navelo je naučnike na zamisao o jednoj simetriji koja se neće zaustaviti samo na običnim zamenama mesta protona i neutrona, o simetriji pod stalnim transformacijama koje pretvaraju protone i neutrone u čestice koje jesu mešavine, pomalo su proton, a pomalo i neutron, sa proizvoljnom verovatnoćom da budu jedno ili drugo.

Ove simetrijske transformacije deluju na onu malu 'etiketu' koja je 'zalepljena' na česticu i koja kaže šta ta čestica jeste; deluju na jedan način koji je matematički isti kao delovanje običnih rotacija u tri dimenzije na spinove čestica poput protona, neutrona ili elektrona. Imajući ovaj primer na umu, do šezdesetih godina dvadesetog veka mnogi fizičari su prećutno podrazumevali da unutrašnje simetrijske transformacije koje ostavljaju zakone prirode neizmenjene moraju imati oblik rotacija u nekom unutrašnjem prostoru sa dve, tri ili više dimenzija, nalik rotacijama kojima se proton zaokrene u neutron ili neutron u proton. Tada raspoloživi udžbenici o primeni načela simetrije na

fiziku (uključujući klasične udžbenike Hermana Vejla /Hermann Weyl/ i Eugena Vignera) davali su samo sasvim oskudan nagoveštaj o tome da ima i drugih matematičkih mogućnosti. Tek kad je otkriveno mnoštvo novih vrsta čestica u kosmičkim zracima i u akceleratorima kao što je bio 'Bevatron' u Berkliju pred kraj pedesetih godina, svet teorijske fizike bio je primoran da vidi izvesne šire mogućnosti unutrašnjih simetrija. Ove čestice kao da su bile grupisane u neke svoje porodice, kudikamo brojnijeg sastava nego što je jednostavni par blizanaca - proton i neutron. Na primer, nađeno je da proton i neutron imaju jaku porodičnu sličnost sa šest drugih čestica, koje su dobile naziv hiperoni, a koje imaju jednak spin i sličnu masu. Kakva unutrašnja simetrija je omogućila postojanje takvih proširenih rodbinskih grupa?

Oko godine 1960. fizičari koji su proučavali ovo pitanje počeli su tražiti pomoć u literaturi matematike. Tamo su naišli na divno iznenađenje. Ispostavilo se da su matematičari već ranije napravili, u izvesnom smislu reči, katalog svih mogućih vrsta simetrije. Potpun skup transformacija posle kojih nešto ostaje neizmenjeno, bez obzira na to da li je to 'nešto' jedan zakon prirode ili neki opipljivi predmet, daje matematičku strukturu koja je poznata kao grupa, pa je zato opšta matematika simetrijskih transformacija poznata kao 'teorija grupa'. Svaku grupu odlikuju apstraktna matematička pravila koja ne zavise od onoga što se transformiše, baš kao što pravila aritmetike ne zavise od toga šta sabiramo ili oduzimamo. Onaj meni koji pokazuje koji su tipovi porodica dozvoljeni nekom određenom simetrijom zakona prirode u celosti je naložen matematičkom strukturom te grupe simetrije.

One grupe transformacija koje deluju neprekidno, kao što su rotacije u običnom prostoru ili mešanja elektrona i neutrina u elektroslaboj teoriji, imaju naziv Lijeove grupe, zato što ih je otkrio norveški matematičar Sofus Lije (Sophus Lie). Francuski matematičar Eli Kartan (Élie Cartan) dao je u svojoj doktorskoj disertaciji godine 1894. popis svih 'jednostavnih' Lijeovih grupa, iz kojih je moguće izgraditi sve druge takve grupe kombinovanjem njihovih transformacija. Godine 1960. Gel-Man (Gell-Mann) i izraelski fizičar Juval Neeman (Yuval Ne'eman) pronašli su, radeći nezavisno jedan od drugoga, da jedna od ovih jednostavnih Lijeovih grupa, poznata kao $SU(3)$, može sasvim tačno nametnuti porodičnu strukturu gomili elementarnih čestica manje-više sličnoj onoj gomili koja jeste opitno otkrivena. Gel-Man je pozajmio jedan termin iz budizma i ovom načelu simetrije nadenuo naziv 'osmostruki put', zato što su se bolje poznate čestice svrstale u porodice sa po osam članova, kao što su neutron, proton i njihovo šestoro braće i sestara. Tada još nisu sve takve porodice bile potpune; na primer, bila je potrebna jedna nova čestica da bi se kompletirala porodica od deset čestica koje jesu slične protonu, neutronu i hiperonima, ali imaju tri puta veći spin. Jedan od velikih uspeha nove $SU(3)$ simetrije nastupio je kad je predskazana čestica pronađena 1964. u Brukhejvenu i kad se pokazalo da ima onu masu koju je Gel-Man procenio da će imati.

A ipak, tu teoriju grupa, za koju se pokazalo da je toliko važna u fizici, smislili su matematičari, i to iz razloga koji su bili čisto unutrašnja 'matematičarska posla'. Temelj teorije grupa udario je početkom devetnaestog veka Evarist Galoa (Evariste Galois), dok je davao dokaz da ne postoje opšte formule za rešavanje izvesnih algebarskih jednačina (onih u kojima se pojavljuje nepoznata veličina podignuta na peti ili viši stepen). Ni Galoa, ni Lije, ni Kartan nisu slutili kakvu će primenu teorija grupa naći u fizici.

Veoma je čudnovato da matematičari, vođeni svojim osećanjem za matematičku lepotu, razvijaju formalne strukture koje fizičarima tek kasnije postanu korisne, iako

matematičari nisu ni pomišljali na takvu svrhu. U jednom svom poznatom eseju, fizičar Eugen Vigner daje ovoj pojavi naziv 'nerazumna uspešnost matematike'. Fizičari, uglavnom, nalaze da ta sposobnost matematičara da unapred sprema onu matematiku koja će tek mnogo kasnije biti njima potrebna jeste pomalo jeziva, poput priča o duhovima. To vam je kao da je Nil Armstrong (Neil Armstrong), zakoračivši prvi put na površinu Meseca, tamo našao otiske stopala Žila Verna.

Zapitajmo se, onda: odakle to fizičar dobije osećanje za lepotu, koje će mu pomoći ne samo prilikom otkrivanja teorija o stvarnom svetu, nego i prilikom ocenjivanja valjanosti fizičkih teorija, ponekad uprkos suprotnim opitnim dokazima? I kako to može matematičarevo osećanje za lepotu dovesti do pravljenja struktura koje će decenijama ili vekovima kasnije biti korisne fizičarima, iako se možda ti matematičari nisu uopšte zanimali za fiziku?

Meni se čini da postoje tri moguća prihvatljiva objašnjenja, od kojih su dva primenjiva na ukupnu nauku, a treće ograničeno na najtemeljnije oblasti fizike. Prvo objašnjenje bilo bi da Vaseljena sama po sebi deluje na nas kao nasumična, neekonomična, ali ipak na dugi rok uspešna mašina za učenje. Baš kao što su se, kroz beskrajn niz slučajnih događaja, atomi ugljenika, kiseonika i vodonika spojili i dali primitivne oblike života koji su kasnije evoluirali u protozoe, ribe i ljude, tako isto se i naše viđenje svemira postupno razvijalo kroz proces prirodnog odabiranja ideja. Nebrojeno puta smo pokušavali raditi i misliti pogrešno, i toliko smo se ugruvali da nam je najzad 'svanulo' da priroda jeste onakva kakva jeste; štaviše, i navikli smo se da to kakva ona jeste smatramo lepotom.

Pretpostavljam da bi svako na ovaj način objasnio zašto konjičkom treneru njegovo osećanje za lepotu konja pomaže, kad mu pomaže, da odabare budućeg pobednika. Taj čovek je proveo mnogo godina pored staze hipodroma, gledao je mnoge konje kako pobeđuju ili gube, i osposobio se da izvesne vizuelne nagoveštaje povezuje (mada ne i da to rečima objasni) sa verovatnoćom da će takav konj pobediti.

Jedna od stvari koje čine da je istorija nauke tako očaravajuća za čitanje jeste i to da možete pratiti kako je naša vrsta lagano učila kakvu vrstu lepote da očekuje u prirodi. Jednom prilikom, vratio sam se u izvornu literaturu iz tridesetih godina dvadesetog veka, i to onu o najranijem načelu unutrašnje simetrije u atomskoj fizici, a to je načelo koje sam već pominjao, ono o simetriji između protona i neutrona. Moj cilj bio je da nađem neki određen istraživački članak u kome je prvi put načelo simetrije bilo prikazano onako kako bi danas bilo prikazano, kao jedna osnovna činjenica koja u nuklearnoj fizici stoji samostalno, nezavisno od ma koje detaljne teorije o nuklearnim silama. Ali nisam našao nijedan takav članak. Čini se da je u tridesetim godinama dvadesetog veka naprosto bilo nedolično pisati radove zasnovane na načelima simetrije. Dolično je bilo pisati radove o nuklearnim silama. Pa, ako ispadne da te sile imaju i neku simetriju, utoliko bolje, jer u tom slučaju, ako znaš silu proton-neutron, ne moraš nagađati kolika je sila proton-proton. A samo načelo simetrije po sebi nije bilo smatrano, koliko sam ja uspeo otkriti, nečim što bi moglo da legitimizuje jednu teoriju i učini je lepom. Načela simetrije bila su smatrana matematičkim trikovima; pravi posao fizičara bio je da utvrđuje pojedinosti o dinamici onih sila koje mi opažamo.

Danas u nama postoji drugačije osećanje za te stvari. Ako bi eksperimentatori otkrili neke nove čestice koje bi sačinjavale neke nove vrste porodica kao što je par proton-neutron, u pošti bi se odmah našle stotine separata teorijskih članaka u kojima bi

se spekulisalo o tome koja vrsta simetrije leži ispod te nove porodične strukture; a ako bi se otkrila neka nova sila, svi bismo se mi bacili na spekulacije o onoj simetriji koja nalaže postojanje takve sile. Očigledno, izmenjeni smo dejstvom svemira koji je radio kao mašina za učenje i nametnuo nam jedno osećanje lepote sa kojim naša vrsta nije rođena.

Čak i matematičari žive u stvarnoj Vaseljini i reaguju na lekcije koje u njoj dobijaju. Euklidovu geometriju su predavali dečici u školama već, evo, dva milenijuma kao gotovo savršen primer apstraktnog deduktivnog razmišljanja, ali mi smo u ovom veku naučili iz opšte teorije relativnosti da euklidovska geometrija uspeva tako dobro samo zato što je gravitaciono polje na površini Zemlje prilično slabo, tako da prostor u kome živimo nije primetno zakrivljen. Formulisući svoje postulate, Euklid je, zapravo, nastupao kao fizičar, iskoristio je iskustvo svoga života provedenog u slabim gravitacionim poljima helenističke Aleksandrije da bi načinio teoriju nezakrivljenog prostora. On nije znao koliko je ograničena i uslovljena njegova geometrija. Zapravo, mi smo tek srazmerno nedavno naučili da pravimo razliku između čiste matematike i nauke na koju se ona primenjuje. Lukasovska katedra na Kembridžu, koju su držali Njutn i Dirak, bila je (a i danas je) zvanično katedra za profesora koji predaje matematiku, a ne fiziku. Tek kad su Ogisten-Luj Koši (Augustin-Louis Cauchy) i drugi početkom devetnaestog veka razvili svoj rigorozni i apstraktni matematički stil, matematičari su usvojili ideal da njihov rad bude nezavisan od životnog iskustva i običnog zdravog razuma.

Drugi razlog što očekujemo da uspešne naučne teorije budu lepe jeste naprosto taj što naučnici imaju sklonost da odabiraju one probleme za koje je verovatno da imaju lepa rešenja. Isto možda važi čak i za našeg prijatelja konjičkog trenera. On trenira konje da pobeđuju na trkama; on je naučio da prepozna koji konji će najverovatnije pobeđivati, i takve naziva lepim; ali ako ga povedete u stranu i obećate mu da nećete nikome reći šta je pričao, on će vam možda priznati da je u taj konjičko-trenerski posao ušao zato što konji koje trenira jesu tako divne životinje.

Jedan dobar primer u fizici daje nam pojava glatkog faznog prelaza, Ja ih nazivam 'glatki', ali često ih zovu i 'fazni prelazi drugog reda'. Ovim se hoće napraviti razlika između njih i 'faznih prelaza prvog reda' kao što je ključanje vode na 100 stepeni ili topljenje leda na 0 stepeni Celzijusa, u kojima se osobine materijala izmene diskontinuirano. Potrebna je izvesna količina energije (takozvana latentna toplota) da bi se led čija je temperatura 0 stepeni pretvorio u vodu čija je temperatura takođe 0 stepeni, ili tečna voda čija je temperatura 100 stepeni pretvorila u vodenu paru iste te temperature; ali nije potrebna nikakva dodatna energija da bi se izbrisao magnetizam jednog komada gvožđa kad se njegova temperatura podigne tačno na Kirijevu tačku. kakav je, recimo, onaj u kome magnetizam spontano nestane kad gvozdeni trajni magnet zagrejemo na tempereturu višu od 770 stepeni, koja je poznata kao Kirijeva (Curie) temperatura. Pošto je to glatki prelaz, magnetizacija tog komada gvožđa postepeno se primiče nuli dok se temperatura primiče Kirijevoj tački. Iznenađujuća stvar u takvim faznim prelazima jeste način na koji magnetizacija opada na nulu. Procene raznih energija magneta navele su fizičare da očekuju da, kad je temperatura samo malo ispod Kirijeve tačke, magnetizacija bude naprosto srazmerna kvadratnom korenu razlike između Kirijeve tačke i temperature u tom trenutku. Umesto toga, opitno je opaženo da je magnetizacija srazmerna toj razlici podignutoj na 0,37. Drugim rečima, zavisnost magnetizacije od temperature je negde između srazmernosti kvadratnom korenu (a to je stepenovanje na 0,5) i srazmernosti

kubnom korenu (a to je stepenovanje na 0,33) razlike između Kirijeve tačke i temperature u tom trenutku.

Prilikom stepenovanja, eksponenti kao što je 0,37 zovu se kritični, mada im se ponekad pridoda pridev 'neklasični' ili 'anomalni' zato što nisu ono što se očekivalo. Primećene su i neke druge vrednosti koje se tako ponašaju, u tom faznom prelazu, ali i u nekim drugim faznim prelazima; u nekim od tih slučajeva, eksponenti su bili tačno isti. To nije neka sama po sebi 'glamurozna' pojava kao što su crne rupe ili širenje svemira. Pa ipak, neki od najblistavijih teorijskih fizičara sveta radili su na problemu kritičnih eksponenata, a rešili su ga tek 1972. godine Kenet Vilson (Kenneth Wilson) i Majkl Fišer (Michael Fischer), obojica tada na Univerzitetu Kornel. Čovek bi pomislio da je veća praktična korist od tačnog izračunavanja Kirijeve tačke. Zašto bi barjaktari teorije o kondenzovanoj materiji dali toliko preimućstvo problemu kritičnih eksponenata?

Mislim da je problem kritičnih eksponenata privukao toliko pažnje zato što su fizičari ocenili da će on imati neko lepo rešenje. Nagoveštaji koji su to sugerisali bili su, pre svega, univerzalnost te pojave - naime, činjenica da su isti kritični eksponenti iskrsavali u veoma različitim problemima - a zatim i činjenica da su fizičari stekli naviku da neke od najbitnijih osobina fizičkih pojava pronalaze tako što će formulisati zakone u kojima su jedne fizičke veličine dobijene stepenovanjem nekih drugih fizičkih veličina, kao što je to, recimo, sa zakonom da gravitacija opada upravo srazmerno povećanju kvadrata rastojanja. Kao što se pokazalo, teorija kritičnih eksponenata ima takvu jednostavnost i takvu neizbežnost da je svakako jedna od najlepših u celoj fizici. Nasuprot tome, problem izračunavanja tačne temperature za fазne prelaze raznih materijala sav je nešto 'muljav', moraš uračunati zapetljane sitnice o gvožđu ili bilo kojoj drugoj tvari za koju izračunavaš tu tačku; zato se tim problemom bave oni koji iz nekog razloga to moraju ili oni koji nemaju šta bolje da rade.

U nekim slučajevima, izjalovile su se početne nade naučnika da će otkriti lepu teoriju. Dobar primer za to je genetski kod. Frensis Krik u svojoj autobiografiji opisuje kako je posle otkrića dvostrukog heliksa kao strukture DNK, što su postigli on i Džejm Votson, pažnja molekularnih biologa bila usmerena na pokušaje da se 'provali' kod pomoću koga ćelija tumači seriju hemijskih oznaka okačenih redom na te dve uporedne spirale DNK. Te oznake su ćeliji 'recept' za građenje odgovarajućih molekula belančevina. Bilo je već poznato da su belančevine sagrađene od lanaca aminokiselina, da ima samo dvadeset aminokiselina koje su iole od ikakvog značaja kod ogromne većine biljaka i životinja, da informacija za odabir ove, a ne one aminokiseline za ugradnju u svako sledeće mesto u molekulu belančevine jeste preneti tako što su tu nameštena tri uzastopna para hemijskih jedinica zvanih 'baze', i da postoje samo četiri različite vrste takvih 'baza'. Dakle, u procesu tumačenja genetskog koda postoje tri uzastopna izbora u kojima se svaki put bira između četiri moguća para baza (kao da izaberete redom tri karte iz špila karata u kome ni na jednoj karti ne postoji nijedan broj niti lik, ali je na svakoj karti jedna od mogućih četiri oznake). Na taj način se izdiktira koja će aminokiselina (od dvadeset mogućih) biti sledeća dodata molekulu belančevine; posle nje, koja sledeća; posle nje, koja sledeća, i tako dalje, redom. Molekularni biolozi su izmislili svakojaka elegantna načela koja bi mogla upravljati ovim kodom; na primer, da ni jedna jedina informacija ne može, pri odabiranju između ta tri bazna para, biti prisutna beskorisno; ili da svaka informacija koja jeste tu, a nije potrebna za određenje sledeće po redu aminokiseline, jeste korisna za otkrivanje grešaka, kao ono kad kompjuteri još malo

porazgovaraju između sebe da provere da li je prenos informacija uspešno obavljen. Odgovor je pronađen početkom šezdesetih godina, ali ispalo je da je sasvim drugačiji. Genetski kod je jedna teška brljotina. Neke aminokiseline su pozvane ne jedanput, nego više puta - dakle, za to je utrošeno više od jednog tripleta baznih parova; neki tripleti jesu prisutni u genetskom kodu, ali ne služe baš ničemu. Genetski kod nije baš onoliko loš koliko bi jedan nasumično nabacan kod bio, što nam pokazuje da je tokom evolucije došlo do određenih poboljšanja, ali danas bi svaki inženjer komunikacija umeo dizajnirati bolji kod. Razlog je, dabome, taj što genetski kod uopšte nije dizajniran; nije ga planirao niko. On se razvio kroz jedan niz slučajnih i nasumičnih događaja kad se pojavio život na Zemlji, i od tada pa do danas nasleđuju ga svi organizmi, u manje-više istom obliku u kakvom je i nastao. Ali genetski kod je za nas, dakako, do te mere značajan da ga moramo proučavati bez obzira na to koliko je lep ili ružan. Ipak, malčice je razočaravajuće to što se nije pokazao lep.

Poneki put, kad nas naše osećanje za lepotu izneveri, to je zato što smo precenili temeljnost onoga što smo pokušavali objasniti. Slavni primer ovoga jeste rad mladog Johana Keplera u vezi sa veličinom planetnih orbita.

Kepleru je bio poznat jedan od najlepših zaključaka grčkih matematičara, koji se odnosio na takozvana Platonova čvrsta tela. To su predmeti u tri dimenzije, ograničeni ravnim površima, pri čemu svaki rogalj, svaka površ i svaka ivica jesu tačno isti kao svaki drugi rogalj, površ i ivica. Odmah pomislite na jedan primer ovoga: to je kocka. Grci su otkrili da postoji samo pet Platonovih tela: kocka, trostrana piramida, dvostruka trostrana piramida, oktaedar (koji ima osam stranica) i ikosaedar (koji ima dvadeset stranica). (A nazivaju se Platonova zato što je Platon u svom delu Timaj tvrdio da se ta tela poklapaju u odnosu jedan prema jedan sa navodnih pet elemenata prirode; kasnije je Aristotel osporio ovo gledište kao pogrešno.) Platonova tela daju izvanredan primer matematičke lepote; to otkriće ima istu onu vrstu lepote kao Kartanov katalog svih mogućih načela kontinualne simetrije.

Kepler je u svom delu *Mysterium cosmographicum* tvrdio da postojanje pet i samo pet Platonovih tela objašnjava zašto postoji (osim Zemlje) još samo pet planeta: Merkur, Venera, Mars, Jupiter i Saturn. (Tek kasnije su otkriveni Uran, Neptun i Pluton.) Svako od tih pet planeta Kepler je pripisao da je u nekoj vezi sa po jednim Platonovim telom, a zatim je nagađao da će poluprečnik orbite svake planete biti srazmeran poluprečniku odgovarajućeg Platonovog tela kad su ta tela ugrađena jedno u drugo, odgovarajućim redom. Kepler je pisao da je radio na tumačenju nepravilnosti planetnog kretanja "sve dok ih nije konačno uklopio u zakone prirode".

Naučniku danas može izgledati kao skandal to da je jedan od osnivača moderne nauke izmišljao toliko neosnovane modele Sunčevog sistema. Skandal ne samo zato što ta Keplerova zamisao nije odgovarala opaženim orbitama u Sunčevom sistemu (a nije), nego, u mnogo većoj meri, zato što znamo da ta vrsta nagađanja nije prikladna za Sunčev sistem. Ali Kepler nije bio budala. Vrsta spekulativnog razmišljanja koje je on primenio na Sunčev sistem veoma je slična onoj vrsti teoretisanja kojim se bave fizičari čestica danas; mi ništa ne povezujemo sa Platonovim telima, ali zato verujemo, na primer, u međusobno odgovarajuće veze između različitih mogućih vrsta sile i različitih članica Kartanovog kataloga svih mogućih simetrija. Kepler je pogrešio ne zato što je nagađao na taj način, nego zato što je pretpostavio (kao i većina filozofa pre njega) da su planete važne.

Naravno da jesu u ponečemu važne. Na jednoj od njih mi obitavamo. Ali njihovo postojanje nije ni na kom temeljnom nivou ugrađeno u zakone prirode. Sada razumemo da planete i njihove orbite predstavljaju ishod niza istorijskih slučajnosti i da, iako nam fizičke teorije mogu reći koje orbite jesu stabilne, a koje bi bile haotične, nema razloga za verovanje da između veličina njihovih orbita može biti uspostavljena ijedna veza koja bi bila matematički jednostavna i divna.

Divne odgovore očekujemo onda kad proučavamo probleme koje su zaista u temelju prirode. Verujemo da ćemo, ako pitamo zašto svet jeste takav kakav jeste, a onda pitamo zašto dobijeni odgovor jeste takav kakav jeste, i ako tako nastavimo, na kraju tog lanca objašnjavanja naći nekoliko jednostavnih i neodoljivo lepih načela. Ovo verujemo između ostalog i zato što nas je iskustvo naučilo, tokom istorije, da kad zagledamo ispod površine raznih stvari, nalazimo sve više i više lepote. Platon i neoplatonisti učili su nas da lepota koju vidimo u prirodi jeste odraz lepote onog krajnjeg što postoji, lepote noumenona. I za nas, i te kako, lepota sadašnjih teorija jeste jedan nagoveštaj, jedno predosećanje lepote konačne teorije. U svakom slučaju, nijednu teoriju nećemo prihvatiti kao konačnu ako ne bude lepa.

Iako još nemamo pouzdano osećanje gde u svom radu treba da se oslonimo na osećanje za lepotu, a gde ne, u fizici elementarnih čestica estetske ocene ipak kao da daju sve bolje i bolje rezultate. Po meni, to je dokaz da idemo u dobrom pravcu i da, možda, nismo mnogo daleko od cilja.

7. PROTIV FILOZOFIJE

Odlazio sam, mlad, kod sveštenika i doktora,
njihove rasprave željno sam slušao,
ali uvek izlazio posle silnih rasprava
na ista vrata kroz koja sam i ušao.

Edvard Ficdžerald, Rubaijat Omara Kajama

Fizičarima toliko pomažu subjektivne i često nejasne estetske ocene, da bi čovek mogao očekivati da će nam pomoći i filozofija, iz koje se, najzad, razvila sva naša nauka. Može li nam filozofija dati ikakvo usmerenje ka konačnoj teoriji?

Meni se čini da filozofija danas za fiziku ima otprilike onu vrednost kao što su imale rane nacionalne države za svoje narode. Nije veliko preterivanje kazati da je, do uvođenja poštanske službe, glavni zadatak nacionalnih država bio da štite svoje narode od drugih nacionalnih država. Uvidi pojedinih filozofa bili su pokatkad od koristi fizičarima, ali samo na negativan način - tako što su ih štitili od predrasuda drugih filozofa.

Ne želim ovde izvlačiti pouku da fizika najbolje uspeva bez ikakvih predrasuda. U svakom trenutku postoji tako mnogo stvari koje bi se mogle raditi, tako mnogo prihvaćenih načela koja bi se mogla osporavati, da čovek, ako se ne bi rukovodio bar nekim predrasudama, ne bi mogao učiniti baš ništa. Stvar je naprosto u tome što od filozofije, uglavnom, nismo dobijali one prave, korisne predrasude. U našem lovu na konačnu teoriju, fizičari više liče na lovačke pse nego na jastrebove: naučili smo da njuškamo po tlu u potrazi za tragovima lepote koju očekujemo u zakonima prirode, i to

nam uspeva, ali da ugledamo stazu ka istini sa visova filozofije - to nam nikako ne uspeva.

Fizičari, dabome, nose sa sobom jednu vrstu radne filozofije. Kod većine nas, to je jedan grubo izdeljani realizam, jedno verovanje u objektivnu stvarnost sastojaka naših naučnih teorija. Ali to smo učili uglavnom kroz iskustvo naučnog istraživanja, a retko kad iz pouka dobijenih od filozofa.

Ne znači to da filozofija nema baš nikakve vrednosti; ima, a neke od tih vrednosti nisu ni u kakvoj vezi sa naukom. Čak ne mislim tvrditi da filozofija nema baš nikakve vrednosti za nauku; ima, ali meni se čini da su te vrednosti u najboljem slučaju jedan za oko prijatan lakirani sloj namazan preko istorije i dostignuća nauke. Ne bi trebalo da očekujemo da će današnjim naučnicima filozofija ponuditi ikakvo korisno usmerenje za rad niti nagoveštaj šta je verovatno da će oni otkriti.

Trebalo bi da priznam da ovo shvataju i sami filozofi, mnogi od njih. Osvrćući se na tri decenije svog profesionalnog pisanja o filozofiji nauke, filozof Džordž Gejl (George Gale) zaključuje: "Ove maltene tajanstvene rasprave, na rubu sholastičkog, mogle su zainteresovati samo najmanji broj aktivnih naučnika". Vitgenštajn (Wittgenstein) je primetio: "Ništa mi ne izgleda tako malo verovatno kao pretpostavka da će neki naučnik ili matematičar, ako pročita moja dela, u svom kasnijem radu biti ozbiljno pod njihovim uticajem".

Ovo nije samo pitanje naučnikove intelektualne lenjosti. Strašna je muka prekidati svoj posao da bi učio jednu novu disciplinu, ali mi naučnici radimo i to, kad moramo. U raznim razdobljima, ja sam uspevao da izdvojim vreme od svog posla da bih naučio svakovrsne druge stvari čije mi je poznavanje zatrebalo, od diferencijalne topologije do 'Majkrosoftovog' DOS-a. Stvar je naprosto u tome što se ne vidi kako bi poznavanje filozofije moglo biti korisno fizičarima - uvek uz onaj izuzetak da nam rad nekih filozofa pomaže da izbegnemo greške drugih.

Pošteno je da priznam, kad izričem ovakav sud, svoje ograničenosti i pristrasnosti. Nekoliko godina sam kao student bio zanesen filozofijom, a onda sam se razočarao. Uvidi onih filozofa koje sam ja proučavao izgledali su mi mutni i tamni u poređenju sa zasenjajućim uspesima fizike i matematike. Od tih dana pa do danas, ja sam ponekad pokušavao čitati najnovija dela iz oblasti filozofije nauke. Našao sam da su neka od njih napisana žargonom tako neprobojnim, da naprosto moram zaključiti da su pisana sa ciljem da budu zadivljeni oni koji ne razlikuju nejasnost od dubokoumnosti. Poneki od tih tekstova bili su dobri za čitanje, pa čak i duhoviti, na primer spisi Vitgenštajna i Paula Fajerabenda. Ali vrlo retko sam sticao utisak da imaju ikakve veze sa onim što je meni poznato kao naučni rad. Prema Fajerabendu, neki filozofi su razvili tako uzak pojam naučnog objašnjenja da, po njima, nikada ne može jedna teorija objasniti drugu; to bi začilo da moje pokolenje fizičara čestica ne bi imalo šta da radi.

Čitaocu se može učiniti (naročito ako je profesionalni filozof) da naučnik koji toliko nema sluha za filozofiju nauke treba da zaobiđe tu temu, i to graciozno, na vrhovima prstiju, i da je prepusti stručnjacima. Poznato mi je šta filozofi misle o amaterskim pokušajima pojedinih naučnika da se bave filozofijom. Ali moja namera ovde i nije da glumim filozofa, nego da budem oličenje nepopravljivog naučnika-praktičara koji se svakog dana laća svog posla, ali mu u tome nimalo ne pomaže profesionalna filozofija. Nisam jedini takav; ne poznajem nikoga ko je išta doprineo napretku fizike u razdoblju posle Drugog svetskog rata, a da mu je rad ijednog filozofa značajno pomogao.

U prethodnom poglavlju pomenuo sam problem onoga što Vigner naziva 'nerazumna uspešnost' matematike; a sad želim razmotriti jednu jednako zbunjujuću pojavu, nerazumnu uspešnost filozofije.

Čak i kad su, u prošlosti, pojedine filozofske doktrine bile neko vreme od koristi naučnicima, zadržale su se posle toga na snazi, u većini slučajeva, predugo, tako da su napravile, sve u svemu, više štete nego koristi. Uzmimo za primer mnogo slavljenu doktrinu zvanu 'mehanicizam'. Bilo je to učenje da priroda deluje pomoću guranja i vučenja materijalnih čestica ili tečnosti. U antičkom svetu nijedno filozofsko učenje nije moglo biti naprednije od toga. Još od kad su presokratovski filozofi Demokrit i Leukip počeli spekulirati o atomima, zamisao da prirodne pojave imaju mehaničke uzroke suprotstavljala se popularnim verovanjima u bogove i demone. Helenistički kulturni vođa Epikur uveo je u svoje učenje mehanicistički pogled na svet upravo da bi suzbio verovanje u olimpske bogove. Kad je Rene Dekart (René Descartes) otpočeo tridesetih godina sedamnaestog veka svoj veliki pokušaj da racionalno shvati svet, bilo je prirodno da opiše prirodne sile, kao što je gravitacija, na mehanicistički način, kao vrtloge u nekom materijalnom fluidu koji ispunjava sav prostor. Ova Dekartova 'mehanicistička filozofija' imala je moćan uticaj na Njutna, ne zato što je bila tačna (Dekart kao da nije došao na modernu pomisao da valjanost teorija proveriti količinskim merenjima) nego kao primer za jednu vrstu teorije koja bi omogućila da se u prirodi nađe neki razum i red. Mehanicizam je dostigao svoj zenit u devetnaestom veku, kad su hemija i toplota savršeno dobro objašnjene u terminima atoma. Čak i danas, mnogim ljudima mehanicizam izgleda kao jednostavna logična suprotnost sujeverju. U istoriji ljudske misli, mehanicizam je odigrao herojsku ulogu.

I upravo u tome je nevolja. U nauci, kao i u politici ili ekonomiji, velika nam opasnost preči od herojskih zamisli koje su nadživele svoju korisnost. Zbog svoje junačke prošlosti, mehanicizam je imao takav prestiž, da je Dekartovim sledbenicima bilo teško da prihvate Njutnovu teoriju Sunčevog sistema. Kako može jedan dobar karteziijanac, uveren da se sve prirodne pojave mogu svesti na međusobna sudaranja i guranja raznih čvrstih tela ili tečnosti, prihvatiti Njutnovu tvrdnju da Sunce doseže Zemlju jednom silom koja prolazi preko sto pedeset miliona kilometara praznog prostora? Tek kad se dobro zašlo u osamnaesti vek, filozofi na kontinentu počeli su se osećati lagodno u prisustvu zamisli da nešto može delovati iz daljine. Na kraju su Njutnove ideje preovladale, oko 1720. godine, i na evropskom kontinentu, i to u Holandiji, Italiji, Francuskoj i Nemačkoj (tim redom), a i u Britaniji. Dabome da je to bilo dobrim delom pod uticajem filozofa kao što su Volter (Voltaire) i Kant (Kant). Ali i ovde je usluga filozofije bila od one negirajuće vrste: ona je pomogla da se nauka oslobodi stega same filozofije.

Čak i posle trijumfa njutnizma, mehanicistička filozofija nastavila je da cveta u fizici. Teorije o električnim i magnetnim poljima koje su u devetnaestom veku razvili Majkl Faradej (Michael Faraday) i Džejms Klark Maksvel bile su u mehanicističkom okviru, zaogrnutе u termine o napetostima u jednom sveprisutnom fizičkom medijumu za koji je često korišćen naziv 'eter'. Fizičari devetnaestog veka nisu postupali nerazumno - svim fizičarima potreban je kakav-takav privremeni pogled na svet, da bi mogli ostvarivati napredak, a u ono vreme činilo se da mehanicistički pogled na svet nije lošiji od bilo kog drugog kandidata za to. Ali već je bio nadživeo svoje vreme.

Konačni zaokret od mehanicizma ka nečem drugom trebalo je da se dogodi u godini 1905, kad je Ajnštajnova posebna teorija relativnosti, u suštini, progнала eter i

umesto njega uvela prazan prostor kao medijum kroz koji se pronose elektromagnetni impulsi. Ali čak i tad, mehanicistički pogled na svet nastavio je da opstaje među starijim pokolenjem fizičara, koji su bili nalik na onog izmišljenog profesora Viktora Jakoba u dirljivom romanu Rasela Mak Kormaka (Russell McCormach) Noćne misli klasičnog fizičara. Ti ljudi nisu bili u stanju da prihvate nove ideje.

Mehanicizam je bio propagiran i izvan okvira nauke, na drugim poljima, gde je preživio i odakle se kasnije vraćao da opet pravi nevolje naučnicima. U devetnaestom veku herojska tradicija mehanicizma ugrađena je, na nesreću, u dijalektički materijalizam Marksa (Marx) i Engelsa (Engels), i njihovih sledbenika. Godine 1908. jedan izbeglica po imenu Lenjin napisao je visokoparnu knjigu o materijalizmu; njemu je, doduše, materijalizam bio uglavnom sredstvo za napad na razne druge revolucionare, ali njegovi sledbenici su Lenjinove komentare i komentarčice prihvatili kao Sveto pismo, tako da je, tokom izvesnog razdoblja, dijalektički materijalizam onemogućavao prihvatanje opšte teorije relativnosti u Sovjetskom Savezu. Čak i godine 1961, istaknuti ruski fizičar Vladimir Fok osećao je da se mora braniti od optužbi da je zastranio sa staze filozofske pravovernosti. Predgovor njegovoj knjizi Teorija prostora, vremena i gravitacije sadrži pažnje vrednu izjavu: "Filozofska strana naših pogleda na teoriju prostora, vremena i gravitacije formirana je pod uticajem filozofije dijalektičkog materijalizma, napose Lenjinovog materijalizma i empiriokriticizma."

Ništa u istoriji nauke nikad nije jednostavno. Iako posle Ajnštajna u ozbiljnim istraživanjima na polju fizike više nije bilo mesta za stari, naivan, mehanicistički pogled na svet, neki elementi tog pogleda zadržani su u fizici prve polovine dvadesetog veka. S jedne strane, postojale su materijalne čestice, kao što su elektroni, protoni i neutroni, koje sačinjavaju običnu materiju. S druge strane, postojala su polja, kao električno polje, magnetno polje i gravitaciono polje, koja su nastajala zbog prisustva čestica i delovala na čestice. Onda se godine 1929. fizika počela okretati jednom ujedinjenijem pogledu na svet. Verner Hajzenberg i Wolfgang Pauli opisali su i čestice i polja kao vidove ispoljavanja jednog dubljeg nivoa stvarnosti, a to je nivo kvantnih polja. Kvantna mehanika je nekoliko godina pre toga bila primenjena na električna i magnetna polja i iskorišćena kao opravdanje za Ajnštajnovu zamisli o česticama svetlosti, fotonima. Sada su Hajzenberg i Pauli pretpostavili da su ne samo fotoni nego sve čestice paketi energije u sastavu raznih polja. To je teorija kvantnih polja u kojoj elektroni jesu paketići energije električnog polja; neutriini jesu paketići energije neutrinskog polja, i tako dalje.

Uprkos nailasku ovako moćne sinteze, veliki deo rada na protonima i elektronima u tridesetim i četrdesetim godinama dvadesetog veka nastavio se u kontekstu stare dualističke kvantne elektrodinamike, u kojoj fotoni jesu sagledani kao paketići energije elektromagnetnog polja, ali elektroni ostaju naprosto čestice materije. Kad se govori samo o elektronima i fotonima, taj pristup daje iste rezultate kao teorija kvantnih polja. Međutim, dok sam ja dogurao do postdiplomskih studija, a to je bilo u pedesetim godinama, teorija kvantnih polja bila je već maltene opšteprihvataćena kao ispravan okvir za temeljnu fiziku. U fizičarevom receptu za svet, na spisku sastojaka više nije bilo nikakvih čestica, nego su tu bila zapisana samo polja - nekoliko različitih vrsta polja.

Iz ovog što je rečeno možemo izvući zaključak da je nerazumna tvrdoglavost zamišljati da znamo čak i u kojim terminima će buduća konačna teorija biti formulisana. Ričard Fajnmen se jednom prilikom žalio da novinari, kad postavljaju pitanja o budućim teorijama, govore ili o 'konačnoj čestici materije' ili o konačnom ujedinjenju svih sila u

jednu silu, dok mi, zapravo, pojma nemamo da li su to ona prava pitanja koja treba postavljati. Nije mnogo verovatno da će stari, naivni, mehanicistički pogled na svet biti vraćen iz mrtvih, niti da ćemo se morati vraćati starom dualizmu čestica i polja, ali čak ni sama teorija kvantnih polja nije bezbedna. Iskrsavaju teškoće kad u njen okvir pokušavamo uvesti gravitaciju. U naporu da se te teškoće prevaziđu, nedavno je izronila jedna kandidatkinja za konačnu teoriju, u kojoj kvantna polja jesu samo niskoenergetska ispoljavanja posebnih 'uštinuća', 'poremećaja' u prostorvremenu. Za ta uštinuća važio bi naziv 'strune'. Nije verovatno da ćemo znati koja su prava pitanja sve dok se na nađemo nadomak tačnih odgovora.

Iako se čini da je naivni mehanicizam bezbedno mrtav, fiziku nastavljaju mučiti neke druge metafizičke predrasude, naročito one u vezi sa vremenom i prostorom. Trajanje u vremenu je jedina stvar koju možemo meriti (doduše, netačno) samim svojim mislima, bez ikakvih ulaznih informacija koje bi nam stizale od naših čula; iz tog razloga, prirodno je da zamišljamo da o vremenu možemo nešto dokonati čistim razumom. Kant je učio da vreme i prostor nisu deo spoljašnje stvarnosti nego da su samo unapred ugrađene strukture našeg uma, koje nam omogućuju da se snalazimo u događajima. Za jednog kantovca, najšokantnije svojstvo Ajnštajnovе teorije bilo je to što se njome prostor i vreme premeštaju u status običnih vidova fizičkog svemira, i to vidova na koje može da deluje kretanje (u posebnoj teoriji relativnosti) ili sila teže (u opštoj teoriji relativnosti). Čak i sad, maltene jedan vek posle objavljivanja posebne teorije relativnosti, neki fizičari ostaju u uverenju da postoje izvesne stvari koje se o prostoru i o vremenu mogu kazati na osnovu čistog razmišljanja.

Ova nepopustljivo uporna metafizika izranja na površinu naročito u raspravama o poreklu Vaseljene. Po standardnoj teoriji Velikog praska, svemir je nastao u jednom trenu beskonačno visoke temperature i gustine, pre nekih deset do petnaest milijardi godina. Kad god sam držao predavanje o teoriji Velikog praska, uvek se nešao neko u publici da, kad dođe vreme za postavljanje pitanja, izjavi da je zamisao o početku apsurdna; jer koji god trenutak da odaberemo kao onaj u kome se zbio Veliki prasak, morao je postojati i neki trenutak pre toga. Pokušavao sam da objasnim da to ne mora biti tako. Istina je da, na primer, u našem običnom iskustvu, koliko god hladno da postane, uvek može biti još hladnije; pa ipak, postoji apsolutna nula. Mi ne možemo postići temperature ispod apsolutne nule ne zato što nismo dovoljno domišljati, nego zato što temperature ispod apsolutne nule jednostavno nemaju smisla. Steven Hoking je ponudio jednu možda još bolju analogiju: razumno je pitati šta je severno od grada Ostina, ili od grada Kembridža, ali besmisleno je pitati šta je severno od Severnog pola. Sveti Avgustin se slavno rvao sa ovim problemom u svome delu Ispovesti, pa je došao do zaključka da je pogrešno pitati šta je postojalo pre nego što je Bog stvorio Vaseljenu, zato što je Bog, koji je izvan vremena, stvorio i vreme u isti mah kad i Vaseljenu. Isto gledište imao je i Mozes Majmonides (Moses Maimonides).

Trebalo bi da priznam ovde da mi, zapravo, ne znamo da li je Vaseljena počela u nekom određenom trenutku u prošlosti. Andre Linde (Andre Linde) i drugi kosmolozi predstavili su u poslednje vreme prihvatljive teorije koje opisuju našu sadašnju Vaseljenu koja se širi kao samo jedan mehurić u jednom beskonačno staroj megavaseljeni, u kojoj se večno pojavljuju novi takvi mehurići, i potom podstiču pojavu sledećih. Ja ovde ne pokušavam tvrditi da svemir neosporno ima neku određenu starost, nego samo tvrdim da na osnovu čistog razmišljanja nije moguće kazati da nema.

Ovde, opet, ne znamo čak ni to da li postavljamo prava ili pogrešna pitanja. U najnovijoj verziji teorije struna, prostor i vreme iskrsavaju kao izvedene kategorije, ali ih nema u temeljnim jednačinama tih teorija. U tim teorijama značenje prostora i vremena je samo približno određeno; nema smisla govoriti o ma kom vremenu koje bi trenutku Velikog praska bilo bliže od jednog milion-bilion-bilion-bilionitog dela sekunde. U našem običnom životu, jedva uspevamo primetiti interval od jedne stotinke sekunde, pa, prema tome, naša intuitivna 'sigurna znanja' o prirodi vremena i prostora, stečena svakidašnjim doživljajima, nisu nešto mnogo korisna kad želimo uobličiti teoriju o nastanku Vaseljene.

Ne nailazi moderna fizika na svoje najveće nevolje u metafizici, nego u epistemologiji, proučavanju prirode znanja i izvora znanja. Epistemološka doktrina zvana 'pozitivizam' (ili, u nekim verzijama, logički pozitivizam) zahteva ne samo da nauka mora ranije ili kasnije uporediti svoje teorije sa opažanjima u stvarnosti (što, valjda, niko ne osporava) nego i to da se svaki vid naših teorija mora u svakom trenutku odnositi na opazive vrednosti. Naime, iako fizičke teorije još i mogu da se odnose na stvari koje nisu opitno proučene i za čije opitno proučavanje nemamo dovoljno para ove godine, a ni sledeće, ipak ne bi bilo dopustivo da se u našim teorijama pojavi neki element koji u načelu ne može nikad biti opažen. Ovde je reč o pitanjima od krupnog značaja, jer ako je pozitivizam ispravan, mi bismo mogli otkrivati vredne nagoveštaje o sastojcima konačne teorije tako što bismo korišćenjem misaonih opita utvrđivali koje vrste stvari su u načelu opazive.

Naučnik koga najčešće povezuju sa uvođenjem pozitivizma u fiziku jeste Ernst Mah, fizičar i filozof iz Beča fin-de-siFcle-a, kome je pozitivizam poslužio uglavnom kao 'protivotrov' za odbranu od metafizike Imanuela Kanta. U Ajnštajnovom radu iz 1905. godine o posebnoj teoriji relativnosti, vidi se jasan Mahov uticaj; to je rad pun posmatrača koji mere daljine i vremena i za to koriste časovnike, lenjire i zrake svetlosti. Pozitivizam je pomogao Ajnštajnu da se oslobodi utiska da izjava 'ova dva događaja su istovremena' ima neko apsolutno značenje. Ajnštajn je ustanovio da nijedno merenje ne može dati merilo za istovremenost koja bi važila za sve posmatrače. Ovaj naglasak na ono što se može, konkretno, baš opaziti, jeste suština pozitivizma. Ajnštajn je potvrdio da mnogo duguje Mahu; u jednom pismu koje je nekoliko godina kasnije poslao Mahu, opisao je sebe rečima 'Vaš odani student'. Posle Prvog svetskog rata, pozitivizam su dalje razvijali Rudolf Karnap (Rudolf Carnap) i članovi bečkog kruga filozofa, koji su sebi postavili cilj da nauku rekonstruišu po filozofski prihvatljivim linijama, i odista uspeali da razgrnu i odbace popriličnu gomilu raznog metafizičkog smeća.

Pozitivizam je imao važnu ulogu i u rađanju moderne kvantne mehanike. Hajzenbergovo veliko prvo delo o kvantnoj mehanici, objavljeno 1925. godine, počinje zapažanjem da je "dobro znano da formalna pravila koja je on upotrebio (Nils Bor godine 1913. u kvantnoj teoriji) za izračunavanje opazivih količina kao što je energija vodonikovog atoma mogu biti ozbiljno kritikovana stoga što sadrže, kao svoje osnovne sastojke, odnose između nekih veličina koje su, koliko nam je poznato, u načelu neopazive - na primer, između položaja jednog elektrona i njegovog impulsa". Hajzenberg je, u duhu pozitivizma, primio u svoju varijantu kvantne mehanike samo opazive vrednosti, kao što su, na primer, verovatnoće spontanog prelaza jednog atoma iz jednog stanja u drugo tako što će emitovati jedan kvant zračenja. Načelo neodređenosti, koje jeste jedan od temelja probabilističkog tumačenja kvantne mehanike, zasnovano je

na Hajzenbergovoj pozitivističkoj analizi ograničenja na koja nailazimo kad se prihvatimo posla da osmotrimo položaj jedne čestice, ali i impuls te iste čestice.

Iako je bio koristan Ajnštajnu i Hajzenbergu, pozitivizam je naneo štete koliko i koristi. Ali za razliku od mehanicističkog pogleda na svet, pozitivizam je zadržao svoj oreol velikih zasluga i tako preživeo da bi pravio štetu u budućnosti. Džordž Gejl čak tvrdi da je pozitivizam kriv za veliki deo sadašnjeg otuđenja koje je nastupilo između fizičara i filozofa.

Pozitivizam je bio srce otpora atomske teoriji na samom početku dvedesetog veka. Devetnaesti vek je video divno usavršenje stare Demokritove i Leukipove zamisli da je sva materija sačinjena od atoma, a Džon Dalton (John Dalton), Amadeo Avogadro (Amadeo Avogadro) i njihovi sledbenici iskoristili su atomsku teoriju da rasvetle pravila hemije, osobine gasova i prirodu toplote. Atomska teorija postala je normalan deo govora fizičara i hemičara. Pa ipak, pozitivisti, sledbenici Maha, smatrali su da je to odstupanje od ispravnog naučnog postupka zato što atomi nisu mogli biti opaženi nijednom tada zamislivom tehnikom. Pozitivisti su zato proglasili da naučnici treba da gledaju svoja posla - naime, da saopštavaju šta su opazili: recimo, da su potrebne dve zapremine vodonika i jedna zapremina kiseonika da bi se napravila vodena para - a ne da se baka sa nekim metafizičkim spekulacijama da je to tako zbog toga što se molekuli vode sastoji od dva atoma vodonika i jednog atoma kiseonika, jer oni ne mogu opaziti te navodne atome, a ni molekule. Mah, lično, nikad nije pristao da se pomiri sa postojanjem atoma. Čak i godine 1910, kad je atomizam kao teoriju prihvatio praktično svako drugi, Mah je istrajavao u jednoj 'utuk na utuk' raspravi sa Plankom i pisao: "Ako je vera u stvarnost atoma tako bitna, onda se ja odričem fizičkog načina mišljenja. Neću da budem profesionalni fizičar, odričem se svog naučničkog ugleda."

Otpor atomizmu naročito je nesrećno delovao time što je usporio prihvatanje statističke mehanike, jedne redukcionističke teorije koja tumači toplotu u terminima statističke distribucije energije u delovima makrosistema. Razvoj ove teorije u radovima Maksvela, Bolcmana, Gibsa i drugih bio je jedan od trijumfa nauke devetnaestog veka, a pozitivisti su, odbacujući ga, počinili najgoru grešku koju naučnik može počiniti: nisu prepoznavali uspeh, iako su videli da se događa.

Pozitivizam je naneo štetu i na druge, manje poznate načine. Godine 1897. Dž. Dž. Tomson (J. J. Thomson) je izveo jedan slavni opit koji se smatra trenutkom kad je otkriven elektron. (Tomson je posle Maksvela i Rejlja zauzeo kavendišku katedru na Univerzitetu u Kembridžu.) Tokom izvesnog broja godina, fizičari su se iščuđavali nad tajanstvenom pojavom katodnih zraka, koji se emituju kad metalnu pločicu u staklenoj vakuumskoj cevi povežemo sa negativnim polom neke moćne električne baterije; oni pokazuju svoje prisustvo tako što stvaraju svetlu tačku na mestu gde, na suprotnom kraju cevi, udaraju u staklo. Ekran modernog televizora nije ništa drugo nego katodna cev, u kojoj se intenzitet zraka kontroliše signalom koji stiže iz televizijske stanice. Kad su, u devetnaestom veku, katodni zraci otkriveni, u početku niko nije znao šta su. Onda je Tomson izmerio kako ih, dok prolaze kroz vakuumsku cev, savijaju (izazivaju njihov otklon na jednu ili na drugu stranu) električna i magnetna polja. Pokazalo se da je obim tog savijanja u skladu sa pretpostavkom da su zraci sastavljeni od čestica koje nose jednu određenu količinu naelektrisanja, ali imaju i određenu količinu mase, i to uvek sa istom srazmerom između mase i naelektrisanja. Pošto se videlo da je masa tih čestica toliko manja od mase atoma, Tomson je izveo zaključak da su te čestice temeljni sastavni delovi

atoma i ujedno da su nosioci električnog naboja u svim električnim strujama - dakle, i u žicama i u atomima, a ne samo u katodnim cevima. Zbog ovoga je smatrao sebe (i u tome je podržan od svih istoričara) otkrivačem jednog novog oblika materije - naime, jedne nove čestice; za nju je odabrao ime koje je već bilo u upotrebi u tadašnjoj teoriji elektrolize: elektron.

A ipak, taj isti opit približno u isto vreme obavio je u Berlinu Valter Kaufman (Walter Kaufmann). Glavna razlika između Kaufmanovog i Tomsonovog opita bila je u tome što je Kaufmanov bio bolji. Dao je za proporciju između naboja i mase elektrona rezultat za koji danas znamo da je bio tačniji od Tomsonovog. Pa ipak, niko nikada ne navodi Kaufmana kao otkrivača elektrona zato što on nije smatrao da je otkrio novu česticu. Tomson je radio u sklopu jedne engleske tradicije koja ide unazad do Njutna, Daltona i Prouta (Prout) - a to je tradicija nagađanja o atomima i njihovim sastavnim delovima. Kaufman je, međutim, bio pozitivist; nije verovao da je posao fizičara da nagađaju o ma čemu što ne mogu opaziti. Zato Kaufman nije ni prijavio da je otkrio neku novu vrstu čestice nego je samo objavio da ono što protiče (šta god to bilo) kroz katodnu cev nosi sa sobom određenu razmeru između mase i električnog naboja.

Pouka koju iz ove priče možemo izvući nije samo ta da je pozitivizam škodio Kaufmanovoj karijeri. Tomson je, vođen svojim uverenjem da je otkrio temeljnu česticu, krenuo dalje, otisnuo se u nove opite, da bi video kakve ona osobine ima. Našao je dokaze da se čestice sa istom tom razmerom između mase i naboja emituju i u okviru radioaktivnosti, ali i iz ugrijanog metala, a zatim je izveo jedno od prvih merenja naelektrisanja elektrona. To merenje, spregnuto sa ranije izvedenim merenjem razmere između mase i naelektrisanja, dalo mu je vrednost elektronove mase. Zbir svih ovih opita zaista potvrđuje valjanost Tomsonove tvrdnje da baš on jeste otkrivač elektrona, ali on nikada ne bi te opite preduzeo da nije bio voljan da ozbiljno shvati zamisao o jednoj čestici koja u to vreme nije mogla biti neposredno osmotrena.

Kad gledamo unazad, čini nam se da pozitivizam Kaufmana, kao i pozitivizam protivnika atomske teorije, nije bio samo na smetnji, nego i naivan. Jer, šta zapravo znači 'opaziti' bilo šta? U jednom uskom smislu reči, Kaufman nije čak ni opazio odklon katodnog zraka u magnetnom polju; on je samo merio položaj jedne svetle tačke na kraju vakuumske cevi, u vreme kad su žice bile namotane izvestan broj puta oko jednog komada gvožđa blizu cevi i priključene na jednu električnu bateriju. Zatim je iskoristio prihvaćenu teoriju, i opažene stvari protumačio u terminima magnetnih polja i putanja zraka. Vrlo strogo govoreći, on nije učinio čak ni to, već je samo iskusio izvesne vidne i dodirne osećaje koje je protumačio kao svetle tačke, žice i baterije. Među istoričarima nauke sad je opštepoznato da nijedno osmatranje ne može biti oslobođeno teorije.

Za konačnu kapitulaciju antiatomista smatra se, obično, izjava koju je dao hemičar Vilhelm Ostwald (Wilhelm Ostwald) godine 1908. u svojoj knjizi Osnovi opšte hemije: "Sada sam uveren da smo nedavno stekli opitne dokaze o diskretnoj ili zrnastoj strukturi materije, dokaze koje je atomska hipoteza uzalud tražila stotinama i hiljadama godina." Ti opitni dokazi koje Ostwald pominje sastojali su se od merenja molekularnih sudara u takozvanom Braunovom kretanju čestica što plivaju u tečnosti, kao i od Tomsonovog merenja naboja elektrona. Ali ako čovek shvati koliko su svi opitni podaci opterećeni teorijom, postaje jasno da su svi uspesi atomske teorije u oblasti hemije i statističke mehanike značili već u devetnaestom veku da atom jeste opažen.

Lično je Hajzenberg zapisao da se Ajnštajn, posle pozitivizma u svom prvobitnom pristupu relativnosti, predomislio. U jednom predavanju iz 1974, Hajzenberg se prisetio razgovora koji je vodio sa Ajnštajnom u Berlinu početkom 1926. godine:

Ukazao sam Ajnštajnu na to da mi ne možemo, zapravo, opaziti takvu putanju (putanju jednog elektrona u atomu); ono što mi stvarno beležimo jesu frekvencije svetlosti koju emituje taj atom, jačine, verovatnoće prelaza, ali nijedna stvarna putanja. A pošto jedini racionalan postupak jeste da u teoriju uvodimo samo one veličine koje se mogu neposredno opaziti, onda, zapravo, koncept putanje elektrona ne bi trebalo uopšte da se pojavi u teoriji. Na moje zaprepašćenje, Ajnštajn nije bio nimalo zadovoljan ovim argumentom. Smatrao je da svaka teorija, zapravo, sadrži neopazive veličine. Načelo da se upotrebljavaju samo opazive veličine naprosto se ne može dosledno sprovesti. A kad sam se ja usprotivio, tvrdeći da sam samo primenio onaj tip filozofije koji je i njemu poslužio kao osnov za njegovu posebnu teoriju relativnosti, on je jednostavno odgovorio: "Možda sam ja zaista upotrebljavao takvu filozofiju ranije, pa tako i pisao, ali ona je, svejedno, besmislica."

Čak i pre toga, u jednom svom predavanju u Parizu 1922. godine, Ajnštajn je rekao da je Mah un bon mQhanicien (dobar mehaničar), ali dQplorable philosophe (filozof za žaljenje).

Uprkos pobedi atomizma i Ajnštajnovom prebегu iz redova pozitivista, u fizici dvadesetog veka pozitivizam se kao tema još poneki put čuo. Pozitivistička usmerenost na opazive veličine, kao što su položaji čestica i njihovi impulsi, ometala je 'realističko' tumačenje kvantne mehanike, u kome talasna funkcija predstavlja fizičku stvarnost. Pozitivizam je doprineo i zamućenju problema sa beskonačnostima. Kao što smo videli, Openhajmer je godine 1930. zapazio da iz one teorije fotona i elektrona koja se zove kvantna elektrodinamika proističe jedan besmislen ishod: naime, da atom dobija beskonačno veliku energiju kad njegov elektron prvo emituje, pa apsorbuje fotone. Taj problem sa beskonačnostima neprekidno je zabrinjavao teoretičare tokom tridesetih i četrdesetih godina dvadesetog veka i doveo je do opšteg uverenja da kvantna elektrodinamika naprosto postaje neprimenljiva kad razmatramo elektrone i fotone veoma visoke energije. Veliki deo ovih teških briga oko kvantne elektrodinamike bio je obojen jednom nijansom pozitivističkog osećanja krivice: neki teoretičari su se plašili da, kad govore o vrednostima električnih i magnetnih polja u onoj tački prostora koju zauzima elektron, čine jedan greh - naime, u fiziku uvode elemente koji se u načelu ne mogu opaziti. A to je i bilo tačno, ali brige oko takvih pitanja samo su odložile pronalaženje pravog rešenja za problem tih beskonačnosti, rešenja koje se postiže tako što se te beskonačnosti međusobno potru kad se pažljivo odrede masa i naboj elektrona.

Pozitivizam je imao ključnu ulogu i u jednoj reakciji protiv teorije kvantnog polja. Tu reakciju predvodio je Džefri Ču (Geoffrey Chew) u šezdesetim godinama dvadesetog veka na Berkliju. Za Čua, glavna stvar u fizici bila je S-matrica, a to je jedna tabela koja daje verovatnoće za sve moguće ishode svih mogućih sudara čestica. Ta matrica sumira sve što se može zaista opaziti u reakcijama u kojima učestvuje ma koji broj čestica. Teorija S-matrice može se pratiti unazad još do radova Hajzenberga i Džona Vilera (John Wheeler) u tridesetim i četrdesetim godinama dvadesetog veka. Slovo 'S' je od nemačke reči 'Streuung' što znači 'rasipanje, razbacivanje tamo-amo'. ali su Ču i njegovi saradnici

koristili nove zamisli da izračunavaju S-matrice, a da pri tom ne uvedu nijedan neopaziv element kao što je, recimo, kvantno polje. Na kraju, taj njihov program je propao, delom zato što je bilo naprosto suviše teško izračunati S-matricu na ovaj način, ali ponajviše zbog toga što se pokazalo da staza napretka prema boljem razumevanju slabih i jakih nuklearnih sila leži upravo u kvantnim teorijama polja, onim istim koje je Ču pokušavao da napusti.

Najdramatičnije napuštanje načela pozitivizma dogodilo se kad smo razvijali našu sadašnju teoriju kvarkova. Početkom šezdesetih godina dvadesetog veka, Marej Gel-Man i Džordž Cvajg (George Zweig) pokušali su, radeći nezavisno jedan od drugog, da svedu ogromnu zapetljanost našeg 'zoološkog vrta' čestica poznatih u ono vreme. Izložili su pretpostavku da su gotovo sve te čestice sazdane od nekoliko jednostavnih, još elementarnijih, kojima je Gel-Man nadenuo ime 'kvarkovi'. U prvi mah se nije činilo da ova zamisao iole odstupa od glavnog toka uobičajenog fizičarskog razmišljanja: bio je to, najzad, samo još jedan korak na stazi Leukipa i Demokrita, još jedan pokušaj da se složene strukture objasne pomoću jednostavnijih i manjih elemenata od kojih su sačinjene. Slika sa kvarkovima primenjena je tokom šezdesetih godina dvadesetog veka na mnoštvo raznovrsnih problema u vezi sa odlikama neutrona, protona, mezona i svih drugih čestica za koje se pretpostavilo da su sazdane od kvarkova; ovo je, uglavnom, uspevalo veoma dobro. Pa ipak, ni najbolji napori opitnih fizičara u šezdesetim i ranim sedamdesetim godinama nisu bili dovoljni da se bar jedan kvark izbije iz čestice u kojoj se navodno nalazi. Ovo je izgledalo ludo. Još od kad je Tomson otrgao elektrone od atoma u katodnoj cevi, uvek je bilo moguće razvaliti svaki složeni sistem kao što je molekul ili atom, i dobiti pojedinačne čestice od kojih je sagrađen. Zašto onda ne bi mogli i slobodni kvarkovi da budu izolovani?

Slika sa kvarkovima počela je postajati razumljivija početkom sedamdesetih godina, kad je uvedena kvantna hromodinamika, naša moderna teorija jakih nuklearnih sila, koja zabranjuje svaki proces u kome bi slobodni kvark mogao biti izolovan. Proboj je postignut 1973. godine, kada su proračuni Dejvida Grosa i Frenka Vilčeka na Prinstonu i, nezavisno od njih, Dejvida Policera (David Politzer) na Harvardu pokazali da izvesne vrste teorija kvantnih polja imaju jednu neobičnu osobinu poznatu kao 'asimptotska sloboda', a to je svojstvo da sile u tim teorijama postaju, pri sve višim energijama, sve manje i manje. Upravo takvo opadanje sile opaženo je u opitima sa visokoenergetskim rasipanjem još godine 1967, ali je tek sad prvi put data jedna teorija u kojoj se moglo dokazati da neke sile treba da se ponašaju tako. Ovaj uspeh brzo je doveo do toga da jedna od ovih kvantnih teorija polja, i to teorija kvarkova i gluona poznata kao kvantna hromodinamika, bude prihvaćena kao tačna teorija jakih nuklearnih sila.

U prvo vreme se pretpostavljalo da u sudarima elementarnih čestica nije primećena proizvodnja nijednog gluona zato što su gluoni teški, tako da energija raspoloživa u tim sudarima nije dovoljna za proizvodnju velike gluonove mase. Ali ubrzo posle otkrića asimptotske slobode, nekolicina teoretičara predložila je drugo objašnjenje: da su gluoni čestice bez mase, kao fotoni. Ako bi bilo tako, onda bi razlog što gluoni, kao i, dalo bi se pretpostaviti, kvarkovi, nisu primećeni bio taj što razmena gluona bez mase između kvarkova ili između drugih gluona proizvodi dalekometne sile koje čine da je u načelu nemoguće otrgnuti bilo kvarkove bilo gluone jedne od drugih. Sada se veruje da ako pokušate, na primer, da rastavite na komade jedan mezon (česticu sačinjenu od

jednog kvarka i jednog antikvarka), sila koja vam je za to potrebna postaje sve veća i veća kako rastojanje između njih postaje sve veće i veće, tako da ste na kraju prinuđeni da uložite tako mnogo energije da će na tom mestu biti stvoren još jedan par kvark-antikvark. To je trenutak kad iz vakuuma iskoči jedan antikvark i pridruži se prvobitnom kvarku, odnosno kad iz vakuuma iskoči jedan kvark i pridruži se prvobitnom antikvarku, tako da ste opet dobili ne slobodan kvark ili slobodan antikvark nego naprosto dva para kvark-antikvark - što će reći, dva mezona. Često je korišćena metafora da je ovo kao kad pokušavate razvući jedan komad kanapa na dve strane: vi vučete i vučete i u jednom trenutku, kad uložite u taj pokušaj dovoljno energije, kanap se prekine, ali vi ne dobijete zaseban 'jedan kraj' i zaseban 'drugi kraj' nego dobijete dva nova komada kanapa, a svaki ima oba kraja. Zamisao da kvarkovi i gluoni u načelu ne mogu nikad biti opaženi kao zasebni, izdvojeni, postala je deo prihvaćene mudrosti savremene fizike čestica, ali ona nas ne sprečava da opisujemo neutrone i mezone kao čestice izgrađene od kvarkova. Ne mogu zamisliti ništa što bi se Ernstu Mahu dopalo manje.

Teorija kvarkova bila je samo jedan korak u neprekidnom procesu reformulisanja fizičkih teorija u terminima koji su sve temeljniji, a sve dalji od svakidašnjeg iskustva. Kako se možemo nadati da napravimo teoriju zasnovanu na opazivim stvarima kad se nijedan vid našeg iskustva - možda čak ni prostor ni vreme - ne pojavljuje na najtemeljnijim nivoima naših teorija? Meni se čini da nije verovatno da ćemo u budućnosti imati mnogo koristi od pozitivističkog stava.

Metafizika i epistemologija su bar imale želju i nameru da odigraju neku konstruktivnu ulogu u nauci. Međutim, u poslednje vreme krenuo je jedan novi napad na nauku, a to je napad neprijateljski nastrojenih komentatora koji su se okupili pod barjakom relativizma. Ovi filozofski relativisti poriču da nauka otkriva objektivnu istinu; za njih je nauka samo jedna od mnogih društvenih pojava i nije suštinski različita od nekog kulta plodnosti ili od obrednog darivanja. Ceremonijalni običaj kod nekih američkih Indijanaca sa severne obale Pacifika u kome domaćin prilikom raznih slavlja daje darove gostima u skladu sa njihovim ugledom. Posebo značenje ima ako su u pitanju zaraćena plemena.

Filozofski relativizam izvire jednim delom iz toga što su filozofi i istoričari nauke otkrili da postoji veliki element subjektivnosti u procesu kojim naučne ideje postaju prihvaćene. Videli smo ovde da estetski sudovi igraju izvesnu ulogu u prihvatanju novih fizičkih teorija. Naučnicima je to stara priča (iako filozofi i istoričari ponekad pišu kao da smo mi neke naivčine koje o tome nemaju pojma). U svojoj hvaljenoj i slavljenoj knjizi *Struktura naučnih revolucija*, Tomas Kun (Thomas Kuhn) otišao je i korak dalje, pa je tvrdio da se u naučnim revolucijama menjaju i merila (on kaže 'paradigme') pomoću kojih naučnici ocenjuju teorije, tako da nove teorije naprosto nije moguće ocenjivati pomoću predrevolucionarnih merila. U Kunovoj knjizi postoji mnogo štošta podudarno sa mojim iskustvom u nauci. Ali, u poslednjem poglavlju, Kun, iako ne kategorično, napada zamisao da nauka napreduje ka objektivnoj istini: "Možda ćemo, da se tačnije izrazim, morati odustati od uverenja, eksplicitnog ili implicitnog, da promene paradigmi nose naučnike i one koji od njih uče sve bliže i bliže istini." Čini se da Kunovu knjigu u poslednje vreme počinju da čitaju (ili bar navode) kao manifest jedne opšte ofanzive na predstavu o objektivnosti nauke.

Postoji i jedna rastuća težnja, započeta radovima Roberta Mertona (Robert Merton) u tridesetim godinama ovog veka, da sociolozi i antropolozi tretiraju

doživljavanje nauke (ili, bar, doživljavanje svih nauka osim sociologije i antropologije) istim metodima kao i ma koju drugu socijalnu pojavu. Nauka, dabome, jeste društvena pojava; ona ima svoj sistem nagrađivanja, svoju snobovštinu koja mnogo toga otkriva, svoje zanimljive obrasce savezništava i autoriteta. Šeron Trevik (Sharon Traweeek) je provela nekoliko godina družeći se sa naučnicima koji su vršili opite sa elementarnim česticama u Stanfordskom centru za linearno ubrzanje, kao i u laboratoriji KEK u Japanu, a onda je iz svoje perspektive antropologa opisala šta je videla. Ta vrsta visoke nauke prirodna je tema za antropologe i sociologe, zato što naučnici pripadaju jednoj anarhijskoj tradiciji koja visoko ceni inicijativu pojedinca, ali u današnjim opitima, hteli ne hteli, moraju da rade zajednički, u ekipama koje ponekad imaju i po stotinu ili više članova. Ja, pošto sam teoretičar, nisam radio ni u jednom takvom timu, ali mogu reći da mi mnogo njena opažanja zvuče istinito, kao, na primer, ovo:

Fizičari vide sebe kao elitu u čije članstvo se ulazi isključivo na osnovu naučne zaslužnosti i vrednosti. Pretpostavka je da svako ima poštenu početnu mogućnost. Ovo je podvučeno njihovim kodeksom oblačenja, koje je strogo neformalno, zatim sličnošću njihovih kancelarija i običajem da se međusobno oslovljavaju samo po imenu. Takmičarski individualizam smatra se i pravičnim i delotvornim. Postojeću hijerarhiju sagledavaju kao meritokratiju koja proizvodi finu fiziku. Američki fizičari, međutim, naglašavaju da fizika nije demokratska: odluke o naučnim stvarima ne treba donositi glasanjem, odnosno glasovima većine članova zajednice, niti pristup laboratorijskim resursima treba da bude dat svakome podjednako. Većina japanskih fizičara ima suprotno gledanje na ta dva pitanja.

U tim svojim studijama sociolozi i psiholozi su otkrili da je čak i proces menjanja neke naučne teorije - društveni proces. U jednoj nedavno objavljenoj knjizi o vrednovanju u grupama međusobno ravnopravnih ljudi, nalazimo ovu primedbu: "Naučne istine su, u suštini, široko navođeni društveni dogovori o tome šta je tobože stvarno; a to 'stvarno' se utvrđuje vrlo приметnim 'naučnim' procesom međusobnog pregovaranja." Posmatrajući izbliza rad naučnika u Salkovom institutu, francuski filozof Bruno Latour (Bruno Latour) i engleski sociolog Stiv Vulgar (Steve Woolgar) zaključili su sledeće: "Njihovi pregovori o tome šta je dobar dokaz ili dobra analiza predstavljaju jednu pometnju, ni bolju ni goru od rasprava advokata ili političara."

Izgleda da je lak bio korak od ovih korisnih istorijskih i socioloških zapažanja do radikalnog stava da sadržina prihvaćenih naučnih teorija jeste ono što jeste zbog društvenog i istorijskog okruženja u kome su nastajale. (Razrada ovog gledišta ponekad se naziva 'jaki program' u sociologiji nauke.) Ovaj atak na objektivnost naučnog znanja vrši se otvoreno, pa je čak uveden u naslov jedne knjige Endrua Pikeringa (Andrew Pickering): Konstruisanje kvarkova. U završnom poglavlju, autor dolazi do sledećeg zaključka: "Pa, kad se ima u vidu koliko su se oni uvežbavali u primeni usavršenih matematičkih tehnika, sklonost fizičara čestica da opisuju stvarnost ponajviše matematikom jeste jedna pojava koju nije ništa teže objasniti nego sklonost etničkih grupa da se koriste svojim maternjim jezikom. U ovom poglavlju zastupamo uverenje da čovek koji hoće da stvori svoj pogled na svet zaista nije obavezan da uzme u obzir ono što nauka u dvadesetom veku priča." Pikering potanko opisuje kakva se velika promena naglaska dogodila u opitnoj fizici u poznim šezdesetim i ranim sedamdesetim godinama

dvadesetog veka. Umesto da slušaju zdrav razum (kaže Pikering) i da se usmere na najupadljivije pojave u sudarima visokoenergetskih čestica (a to znači, na sudare u kojima se jedna čestica razbije u mnoštvo drugih, koje sve odleću manje-više istim pravcem kojim je mlaz čestica i stigao), eksperimentalisti su tada počeli da rade ono što su im predlagali teoretičari - naime, da se usredsređuju na retke događaje, kao što je onaj kad neka čestica visoke energije posle sudara odleti pod nekim velikim uglom u odnosu na pravac odakle je mlaz čestica stigao.

Nema spora, zaista se dogodila jedna promena u shvatanju šta je više, a šta manje važno u fizici visokih energija; Pikering ju je uglavnom tačno opisao. Ali ona je bila naložena potrebama istorijske misije fizike. Proton se sastoji od tri kvarka i od jednog oblaka gluona i parova kvark-antikvark koji se neprekidno pojavljuju i nestaju. Pri većini sudara protona, energija čestica koje u taj sudar ulaze utroši se na taj način što se ti oblaci čestica prosu, kao kad se sudare dva đubretarska kamiona. To su možda najupadljiviji sudari, ali su odveć složeni da bi nam dozvolili da izračunamo šta bi u njima, po našoj važećoj teoriji kvarkova i gluona, trebalo da se desi; iz tog razloga, beskorisni su za proveru te teorije. Ali s vremena na vreme se dogodi da se neki kvark ili gluon u jednome od ta dva protona sudari sa nekim kvarkom ili gluonom u drugom protonu, i to 'čeomice'; tada ti kvarkovi ili gluoni budu, zahvaljujući energiji sudara, izbačeni visokom energijom iz hrpe raznog drugog 'otpada' stvorenog sudarom, a to je jedan proces čiju stopu učestalosti znamo da izračunamo. Ili se dogodi da u tom sudaru budu stvorene nove čestice, kao što su, na primer, 'W' i 'Z' čestica - prenosioci slabe nuklearne sile. Te nove čestice mi treba da proučavamo kako bismo doznali više o ujedinjenju slabe i elektromagnetne sile. Današnji opiti su podešeni da otkrivaju upravo takve retke događaje. Pa ipak, Pikering, koji, koliko ja mogu oceniti, veoma dobro razume ovu teorijsku pozadinu, opisuje to preusmeravanje fizičara u oblasti opita sa česticama kao nekakvu promenu mode, kao prelazak sa impresionizma na kubizam ili sa kratke suknje na dugačku suknju.

Naprосто je logička pogreška preći sa opažanja da nauka jeste jedan društveni proces na zaključak da i završni proizvodi nauke, naše teorije, jesu ono što jesu zbog društvenih i istorijskih snaga koje učestvuju u tom procesu. Jedna grupa planinara može se raspravljati koja staza ka vrhu je najbolja, a njihovi argumenti upotrebljeni u toj raspravi možda će biti uslovljeni istorijom i društvenim sastavom pohoda, ali na kraju rasprave oni će ili naći dobru putanju prema vrhu ili neće; kad se njome zapute, biće im jasno. (Niko ne bi napisao knjigu o planinarenju pod naslovom Konstruisanje Everesta.) Ja ne mogu dokazati da je i nauka takva, ali celokupno moje naučno iskustvo uverava me da jeste. Tačno je da 'pregovori' o promenama u naučnim teorijama traju bez prestanka, i tačno je da naučnici jedno vreme veruju nešto, pa se predomisle i veruju nešto drugo, pa posle nešto treće i tako dalje, zato što reaguju na rezultate izračunavanja i opita; ali na kraju, iz ovoga izroni jedno gledište koje ima neosporna obeležja objektivnog uspeha. Meni se svakako čini da mi u fizici otkrivamo nešto što je stvarno, nešto što jeste to što jeste bez obzira na to koji su nam društveni i istorijski uslovi omogućili da ga otkrijemo.

Pa otkud onda tako radikalni nasrtaji na objektivnost naučnog znanja? Mislim da je jedan izvor takvih napada opet isto staro strašilo, pozitivizam, ovoga puta primenjen na proučavanje same nauke. Ako čovek odbija da priča o ma čemu što nije neposredno opaženo, onda se ni teorije kvantnih polja, ni načela simetrije, ni, još opštije govoreći, zakoni prirode ne mogu uzeti za ozbiljno. Ono što filozofi, sociolozi i antropolozi mogu

proučavati jeste stvarno ponašanje pojedinih živih naučnika, a to ponašanje nikada se ne može jednostavno opisati nabranjem nekih osnovnih pravila iz kojih bi proisticalo. Ali naučnici imaju neposredni doživljaj naučnih teorija - naime, doživljavaju ih kao ciljeve koji, iako teško dosežni, jesu stvarni.

Postoji možda još jedna pobuda, ne osobito visokoumna, za napad na realizam i objektivnost nauke. Zamislite da ste vi antropolog koji proučava kargo-kult na nekom pacifičkom ostrvu. Ostrvljani veruju da mogu vratiti na svoja ostrva one tovarne avione koji su im tokom Drugog svetskog rata donosili blagostanje, tako što će graditi od drveta konstrukcije koje liče na radarske i radio-antene. Ljudski je da taj antropolog oseća, kao što bi osećao i svaki drugi antropolog ili sociolog u takvoj situaciji, određenu prijatnu nadmoćnost u odnosu na te urođeničke, jer on zna da je njihova vera iluzorna: nijedan avion C-47 pun robe neće nikada biti privučen takvim drvenim radarima. Zar će nas iznenaditi ako antropolozi i sociolozi, kad se okrenu proučavanju rada naučnika, požele da osete to isto divno osećanje nadmoćnosti tako što će reći da je i naučnička vera iluzorna?

Relativizam je samo jedan vid šireg, radikalnog napada na samu nauku. Fajerabend je zatražio formalno razdvajanje nauke i društva u onom smislu u kome je crkva razdvojena od države, rezonujući da je "nauka samo još jedna od mnogih ideologija koje pokreću društvo, pa treba i da bude tretirana tako". Filozof Sandra Harding (Sandra Harding) kaže da je moderna nauka (a naročito fizika) "ne samo seksistička nego i rasistička, klasistička i kulturno prisiljavajuća", i nastavlja ovako: "Na fizici i hemiji, na matematici i logici, nalaze se otisci prstiju njihovih tačno određenih kulturnih tvoraca, ništa manje nego na antropologiji i istoriji." Teodor Rošak (Theodore Roszak) poziva nas da izmenimo "temeljni senzibilitet naučne misli... pa čak i ako, zbog toga, moramo drastično revidirati profesionalni karakter nauke i njeno mesto u našoj kulturi".

Ovi radikalni kritičari nauke kao da postižu veoma maleno ili nikakvo dejstvo na naučnike same. Ne znam nijednog aktivnog naučnika koji ih ozbiljno shvata. Opasnost koju takvi predstavljaju za nauku dolazi od njihovog mogućeg uticaja na one ljude koji se naukom ne bave, ali od kojih naučnici zavise: na primer, na one koji odlučuju o budžetima za nauku i o školovanju novih pokolenja potencijalnih naučnika. U novije vreme, javljeno je u časopisu Nature da britanski ministar nadležan za trošenje državnih para na civilna naučna istraživanja govori pohvalno o jednoj knjizi Brajana Epljarda (Bryan Appleyard) u kojoj se tvrdi da je nauka pogubna po ljudski duh.

Slutim da je Džerald Holton (Gerald Holton) blizu istine kad kaže da je radikalni nasrtaj na nauku samo jedan od simptoma jednog šireg neprijateljstva prema zapadnoj civilizaciji, neprijateljstva koje još od Osvalda Špenglera (Oswald Spengler) truje zapadne intelektualce. Moderna nauka jeste upadljiva meta za takvo neprijateljstvo; velika dela likovne umetnosti i književnosti iznikla su u mnogim svetskim civilizacijama, ali još od Galileja naučnim radom upadljivo preovlađuje Zapad.

Meni se čini da je ta mržnja tragično promašena. Čak i najstrašnije zapadne zloupotrebe nauke, kao što je atomska bomba, predstavljaju samo još jedan primer većitih čovekovih napora da uništi samoga sebe svim raspoloživim oružjima. Ali ako to sagledamo naspram blagotvornih rezultata nauke i naspram naučnog doprinosa oslobođenju ljudskog duha, ako te stvari gledamo uravnoteženo, ja mislim da moderna nauka, zajedno sa demokratijom i kontrapunktnom muzikom, jeste jedno od ostvarenja koje je Zapad dao svetu, i to takvo kojim se treba naročito ponositi.

Na kraju će ta tema da nestane. Moderni naučni metodi istraživanja i moderno naučno znanje rasprostiru se, brzim procesom difuzije, i u nezapadne zemlje, kao što su Indija i Japan; rasprostiru se, doista, po celom svetu. Nije daleko dan kad će iščeznuti mogućnost da se nauka poistoveti sa Zapadom, i kada će se videti da je ona zajedničko vlasništvo celog ljudskog roda.

8. BLUZ DVADESETOG VEKA

Bluz
dvadesetog veka,
mene tuga čeka.
Ko nije umoran,
ko nije sumoran,
zbog tog veka?

Noel Kauard, Kavalkada

Kad god smo uspeli dovoljno daleko da idemo duž naših lanaca pitanja o sili i materiji, odgovori su nađeni u standardnom modelu elementarnih čestica. I na svakoj konferenciji stručnjaka za visokoenergetsku fiziku još od poznih sedamdesetih godina dvadesetog veka, eksperimentalisti su prijavljivali sve tačniju podudarnost između opaženih činjenica i onog što standardni model predviđa. Čovek bi pomislio da fizičari čestica treba da budu poprilično zadovoljni. Zašto su, onda, toliko u setnom i tužnom raspoloženju?

Kao prvo, standardni model opisuje tri sile, elektromagnetnu, slabu nuklearnu i jaku nuklearnu, ali ispušta četvrtu silu, a, zapravo, prvu koju smo upoznali: silu teže. Ovo nije neko, u svojoj rasejanosti, naprosto zaboravio; kao što ćemo videti, postoje strahovite matematičke prepreke koje nam ne daju da opišemo gravitaciju istim onim jezikom pomoću koga opisujemo ostale tri sile u standardnom modelu - naime, jezikom teorije kvantnih polja. Drugo, iako jaka nuklearna sila jeste uključena u standardni model, ona iskrsava kao nešto što je sasvim različito od elektromagnetne i od slabe nuklearne, a ne kao deo objedinjene slike. Treće, iako standardni model tretira elektromagnetnu i slabu nuklearnu silu na objedinjeni način, ipak ostaju očigledne razlike između te dve sile. (Na primer, pod normalnim okolnostima, slaba nuklearna je mnogo slabija nego elektromagnetna.) Imamo neku uopštenu predstavu o tome kako nastaju razlike između elektromagnetne i slabe, ali ne razumemo u celosti izvor tih razlika. Najzad, nezavisno od problema ujedinjenja četiri sile, standardni model sadrži mnoge odlike koje nisu naložene temeljnim načelima (kao što bismo mi voleli) nego se, umesto toga, naprosto moraju izvoditi iz opita. Te odlike, koje kao da su proizvoljno unete u model, jesu između ostalih i sledeće: meni čestica; izvestan broj konstanti, kao što su razmere između pojedinih masa; pa, čak, i same simetrije. Lako možemo zamisliti situaciju u kojoj bi nekoliko tih odlika, ili čak sve one, bile drugačije.

Nema sumnje da je i ovakav standardni model ipak ogromno poboljšanje u odnosu na 'kašu' raznoraznih 'simetrija otprilike', slabo formulisanih dinamičkih nagađanja i pukih činjenica - a upravo tu 'kašu' je moje pokolenje fizičara moralo učiti kad smo bili srednjoškolci. Ali standardni model očigledno nije konačan odgovor, a mi,

da bismo zakoračili dalje, moramo da se uhvatimo u koštac sa svim slabostima tog modela.

Sve nevolje koje su kod standardnog modela prisutne dodiruju se, na ovaj ili onaj način, u jednoj pojavi koja se zove spontano narušavanje simetrija. Otkriće ove pojave bilo je jedan od najvećih oslobađajućih događaja u nauci dvadesetog veka, prvo u fizici kondenzovane materije, a zatim i u fizici elementarnih čestica. Najveći uspeh proistekao iz toga bilo je objašnjenje razlika između slabe sile i elektromagnetne, tako da će elektroslaba teorija biti za nas dobro mesto sa koga ćemo početi da osmatramo pojavu spontanog narušavanja simetrija.

Elektroslaba teorija je onaj deo standardnog modela koji se bavi slabom silom i elektromagnetnom silom. Zasnovan je na jednom tačnom načelu simetrije, a ono kaže sledeće: da zakoni prirode zadržavaju isti oblik ako svugde u jednačinama te teorije zamenimo polja elektrona i neutrina mešovitim poljima - na primer, jednim poljem koje je 30% elektron i 70% neutrino, i drugim poljem koje je 70% neutrino i 30% elektron - i ako u isti mah na sličan način izmešamo polja drugih porodica čestica, kao što su kvark gore i kvark dole. Ovo načelo simetrije nazivamo lokalno, što znači da se očekuje da će zakoni prirode ostati neizmenjeni čak i ako ove mešavine variraju iz trenutka u trenutak i od jednog mesta do drugog. Postoji, opet, i jedna druga porodica polja, čije je postojanje naloženo ovim načelom simetrije, približno na onaj način na koji je postojanje gravitacionog polja naloženo simetrijom između različitih koordinatnih sistema. Ta druga porodica sastoji se od polja fotona, 'W' čestica i 'Z' čestice; ova polja, takođe, moraju biti pomešana jedno sa drugim kad mešamo polja elektrona i neutrina i polja kvarkova. Razmena fotona odgovorna je za elektromagnetnu silu, a razmena 'W' i 'Z' čestica daje slabu nuklearnu silu, pa je, prema tome, ova simetrija između elektrona i neutrina takođe simetrija između elektromagnetne i slabe nuklearne sile.

Međutim, ova simetrija se ne ispoljava u prirodi. Zato smo je otkrili tako kasno. Na primer, elektroni i 'W' i 'Z' čestice imaju masu, ali neutrimi i fotoni nemaju masu. (Upravo zbog velike mase 'W' čestica i 'Z' čestice, slabe sile su toliko slabije od elektromagnetnih sila.) Drugim rečima, simetrija koja povezuje u određene odnose elektron, neutrino i tako dalje jeste osobina onih jednačina koje stoje u osnovi standardnog modela, ali ova simetrija nije zadovoljena rešenjima tih jednačina - osobinama čestica samih.

Da vidimo kako to jednačine mogu imati simetriju, a njihova rešenja ne. Pretpostavimo da su naše jednačine sasvim simetrične za dva tipa čestica, recimo za kvark gore i za kvark dole, i da mi sad poželimo da rešimo te jednačine da bismo ustanovili masu tih dveju čestica. Čovek bi mogao pretpostaviti da simetrija između dva tipa kvarkova nalaže da im mase budu jednake, ali moguća su i druga rešenja. Pomenuta simetrija jednačina ne isključuje mogućnost da se nađe rešenje u kome je masa kvarka gore veća nego masa kvarka dole; ona jedino zahteva da, u tom slučaju, mora postojati i drugo rešenje tih istih jednačina, rešenje u kome je masa kvarka dole veća od mase kvarka gore, i to za tačno isti obim. A to znači: simetrija jednačina ne mora uvek biti odražena u svakom pojedinačnom rešenju tih jednačina, nego samo mora biti odražena u obrascu svih rešenja tih jednačina. U pomenutom jednostavnom primeru, konkretne, stvarne osobine kvarkova odgovaraće samo jednom od ta dva rešenja, što je već narušavanje temeljne teorije u pogledu simetrije. Zapazite da nije bitno koje je od ta dva rešenja u prirodi zaista ostvareno, da li jedno ili drugo. Kad bi jedina razlika između

kvarka gore i kvarka dole bila u njihovim masama, onda bismo i ovu razliku između jednog rešenja i drugog rešenja mogli svesti na našu odluku koji kvark nam je volja da nazovemo gore, a koji dole. Priroda, onakva kakvu mi poznajemo, predstavlja jedno rešenje svih jednačina standardnog modela, ali moglo bi biti na snazi i neko drugo rešenje, svejedno koje, bitno je samo da sva ta različita rešenja ostaju besprekorno tačno spojena načelima simetrije.

U ovakvim slučajevima kažemo da je simetrija razbijena, narušena, iako bi bolji naziv bio 'skrivena' zato što ona ipak ostaje prisutna, u jednačinama, a te jednačine vladaju osobinama čestica. Ovu pojavu nazivamo spontano narušavanje simetrija zato što se ništa nije razbilo u simetriji jednačina te teorije, nego se narušavanje simetrije javlja samo od sebe (pojavljuje se spontano) u različitim rešenjima tih jednačina.

Upravo načela simetrije daju našim teorijama veliki deo njihove lepote. Zato je nastala tolika uzbuna kad su fizičari elementarnih čestica počeli, početkom šezdesetih godina, razmišljati o spontanom narušavanjima simetrija. Najednom je svima nama 'svanulo' da u zakonima prirode postoji mnogo više simetrije nego što bi čovek pomislio kad samo posmatra osobine elementarnih čestica. Narušena simetrija, to vam je jedan veoma platonski pojam: stvarnost koju mi u laboratorijama opažamo samo je nesavršen odraz jedne dublje i lepše stvarnosti, a to je stvarnost onih jednačina u kojima se pokazuju sve simetrije teorije.

Običan trajan magnet daje nam dobar, opipljiv primer narušenih simetrija. (Ovaj primer je naročito prikladan zato što se spontano narušavanje simetrija prvi put pojavilo u kvantnoj fizici u Hajzenbergovoj teoriji stalnog magnetizma objavljenoj 1928. godine.) Jednačine koje vladaju atomima gvožđa i magnetnim poljem savršeno su simetrične u odnosu na pravce u prostoru; ništa u tim jednačinama ne pravi nikakvu razliku između istoka, juga, ili pravca 'gore' i tome slično. Pa ipak, kad se parče gvožđa ohladi ispod 770 stepeni, ono spontano stekne neko svoje magnetno polje koje je usmereno u nekom određenom pravcu, što znači da narušava simetriju između različitih pravaca. Neka rasa majušnih stvorenja koja bi se rađala i ceo svoj život provodila unutar jednog trajnog magneta morala bi dugo da se trudi dok bi napokon shvatila da zakoni prirode poseduju simetriju kad je reč o raznim pravcima u prostoru, i da u njihovoj životnoj sredini postoji jedan povlašćeni pravac samo zato što su se spinovi atoma gvožđa spontano postrojili u tom pravcu i proizveli magnetno polje.

A mi smo, baš kao ta zamišljena stvorenjca u magnetu, tek nedavno uočili jednu simetriju koja izgleda da je narušena u našoj Vaseljeni. To je simetrija koja spaja slabu i elektromagnetnu silu, a njen prekid se vidi, na primer, po različitostima između fotona koji nema masu i čestica 'W' i 'Z' koje su veoma teške. Jedna velika razlika između narušavanja simetrije u standardnom modelu i narušavanja simetrije u magnetu sastoji se u tome što uzrok magnetizacije veoma dobro razumemo. Ona se dogodi zato što poznate elektromagnetne sile između susednih atoma gvožđa nagone te atome da svrstaju, odnosno postroje svoje spinove uporedno. Standardni model je kudikamo tajanstveniji. Nijedna od poznatih sila u njemu nije dovoljno jaka da izazove to opaženo narušavanje simetrije između slabe sile i elektromagnetne sile. Ono najvažnije što nam je i do danas nepoznato o standardnom modelu jeste - šta, zapravo, dovodi do narušavanja elektroslabe simetrije.

U prvobitnoj verziji standardne teorije slabe sile i elektromagnetne sile, narušena simetrija između njih dve pripisivana je jednom novom polju, koje je u teoriju uvedeno da bi poslužilo baš toj svrsi. Mislilo se da bi se to polje moglo uključivati samo od sebe, dakle spontano, kao magnetno u trajnom magnetu, i tada usmeriti u nekom određenom pravcu - s tim što to nije pravac u običnom prostoru, nego je pravac na onom malom zamišljenom brojčaniku koji kaže 'neutrino' ili kaže 'elektron', foton ili 'W' i 'Z', i tako dalje. A ona vrednost tog polja koja naruši simetriju dobila je naziv vakuumska vrednost zato što to polje dobija baš tu vrednost u vakuumu, kad je daleko od uticaja ma koje čestice. I, evo, posle četvrt veka mi još ne znamo da li je ta jednostavna slika o narušavanju simetrija tačna, ali nemamo nijednu uverljiviju mogućnost.

Ovo nije prvi put da su fizičari predložili postojanje nekog novog polja ili neke nove čestice samo zato da bi zadovoljili neki teorijski zahtev. Fizičari su početkom tridesetih godina ovog veka bili zabrinuti zbog toga što se činilo da zakon o održanju energije biva pogažen kad god se nekom radioaktivnom jezgri dogodi proces poznat kao beta raspad. Godine 1932. Wolfgang Pauli je predložio da se ovo reši uvođenjem jedne čestice koja bi zgodno poslužila za to, i nazvao ju je 'neutrino'. Tako je on objasnio kud se denula energija čiji je gubitak u tom procesu opažen. Neutrino se nije lako dao uhvatiti, ali posle više od dve decenije konačno je opitno otkriven. Predlagati postojanje nečeg što još nije opaženo, to je rizičan poduhvat, ali ponekad 'upali'.

Kao i bilo koje drugo polje u kvantnomehantičkoj teoriji, ovo novo polje koje je odgovorno za prekid elektroslabe simetrije imalo bi energiju i impuls u paketićima koji se zovu 'kvanti'. Elektroslaba teorija nam kaže da bi bar jedan takav kvant trebalo da bude opaziv kao nova elementarna čestica. Nekoliko godina pre nego što smo Salam i ja razvili teoriju slabe sile i elektromagnetne sile zasnovanu na spontanom narušavanju simetrije, matematika za jednostavnije primere narušavanja ove vrste simetrija opisana je u radovima nekolicine teoretičara. Najjasnije je to opisao godine 1964. Peter Higgs (Peter Higgs) sa Univerziteta Edinburg. Tako se dogodilo da ta nova čestica, koja je potrebna u prvobitnoj verziji elektroslabe teorije, dobije naziv Higsova čestica.

Do danas, niko nije otkrio Higsovu česticu, što, međutim, nije dokaz protiv te teorije; Higsova čestica ne bi ni mogla biti primećena ni u jednom dosadašnjem opitu ako je njena masa veća od približno pedeset masa protona, a to bi lako mogla biti. (Na nesreću, elektroslaba teorija čuti kao zalivena kad pokušavamo saznati kolika je masa Higsove čestice, osim što nagoveštava da ta masa verovatno ne bi mogla biti veća od bilion volti, što je približno hiljadu puta više od protonove mase.) Potreban nam je opit u kome ćemo doznati postoji li zaista Higsova čestica, ili možda nekoliko Higsovih čestica, i koje su im mase.

Ova pitanja imaju značaj koji nadmašuje pitanje kako je došlo do narušavanja elektroslabe simetrije. Jedna od novih stvari koje smo saznali iz elektroslabe teorije jeste ta da sve čestice u standardnom modelu, osim Higsove, dobijaju svoju masu od narušavanja simetrije između slabe sile i elektromagnetne sile. Kad bismo nekako mogli isključiti ovo narušavanje simetrije, onda bi i elektron i 'W' i 'Z' i svi kvarkovi bili bez mase, kao fotoni i neutrini. Problem razumevanja masa poznatih elementarnih čestica jeste, dakle, deo problema razumevanja mehanizma kojim se elektroslaba simetrija spontano narušava. U prvobitnoj verziji standardnog modela, Higsova čestica je jedina čestica čija se masa neposredno pojavljuje u jednačinama teorije; narušavanje

elektroslabe simetrije daje svim drugim česticama masu koja je u nekoj srazmeri sa masom Higsove. Ali nemamo dokaza da su stvari tako jednostavne.

Problem uzroka narušavanja elektroslabe simetrije važan je ne samo u fizici nego i u našim naporima da razumemo ranu istoriju Vaseljene. Baš kao što se magnetizacija jednog komada gvožđa može izbrisati, a simetrija između različitih pravaca obnoviti ako se temperatura tog komada gvožđa podigne iznad 770 stepeni, tako isto bi se i simetrija između slabe sile i elektromagnetne sile mogla ponovo uspostaviti ako bismo temperaturu naše laboratorije mogli podići iznad nekoliko miliona milijardi stepeni. Na takvim temperaturama, ta simetrija više ne bi bila skrivena, nego bi se jasno videla u odlikama čestica u standardnom modelu. (Na primer, na tim temperaturama elektron, 'W' čestice, 'Z' čestica i svi kvarkovi bili bi bez mase.) Temperatura od milion milijardi stepeni ne može se napraviti u laboratoriji i ne postoji danas ni u središtu najtoplijih zvezda. Ali po najjednostavnijoj verziji opšteprihvaćene kosmološke teorije, koja kaže da se dogodio Veliki prasak, postojao je jedan tren pre nekih deset do dvadeset milijardi godina u prošlosti kad je temperatura Vaseljene bila beskonačno visoka. Približno jedan desetomilijarditi deo sekunde posle tog početnog trena, temperatura svemira je opala na nekoliko miliona milijardi stepeni, i tad je simetrija između slabe sile i elektromagnetne sile narušena.

Ovo narušavanje simetrije verovatno se nije dogodilo trenutno niti svuda jednoobrazno. U bolje poznatim 'faznim prelazima' kao što je zaleđivanje vode ili magnetizacija gvožđa, taj prelaz može nastupiti malo ranije na jednom mestu, a malo kasnije na drugom mestu, i možda se neće dogoditi svuda na isti način, pa ćemo videti da su nastali, recimo, zasebni kristalići leda, ili da u jednom istom magnetu postoje mali 'domeni', kao nekakve državnice, i da je u svakom takvom domenu magnetno polje drugačije usmereno. Pa, kad se posle Velikog praska događao elektroslabi fazni prelaz, tada su mogle nastupiti slične komplikacije iza kojih bi ostale razne opazive posledice; na primer, ova neravnoteža mogla je uticati na zastupljenost lakih hemijskih elemenata koji su nastali nekoliko minuta kasnije. Ali mi nemamo pristup tim mogućnostima sve dok ne saznamo kojim mehanizmom je elektroslaba simetrija narušena.

Znamo da narušena simetrija između slabe i elektromagnetne sile postoji zato što teorija koja je zasnovana na toj simetriji dejstvuje: ona je već dala veliki broj uspešnih predviđanja o odlikama 'W' čestica i 'Z' čestice, kao i o silama koje se prenose pomoću te dve čestice. Ali nismo baš sigurni da elektroslaba simetrija biva narušena delovanjem vakuumske vrednosti nekog polja u toj teoriji, niti smo sigurni da postoji Higsova čestica. Mora se nešto uključiti u elektroslabu teoriju, nešto zbog čega dolazi do prekida te simetrija; ali mogućnost postoji da se ona narušava zbog posrednog dejstva neke nove vrste superjake sile koja ne deluje na obične kvarkove, elektrone ili neutrone, pa iz tog razloga i nije dosad otkrivena. Takve teorije su razvijane u poznim sedamdesetim godinama, ali su imale, opet, neke svoje probleme. Jedan od glavnih zadataka superprovodnog superkolajdera koji se sad upravo gradi jeste da ovo pitanje reši.

Nije tu kraj priči o spontanom narušavanju simetrija; ova zamisao odigrala je izvesnu ulogu u našim nastojanjima da uvedemo u standardni model treću silu, jaku nuklearnu, na takav način da ona postane deo istog objedinjenog okvira u kome se već nalaze slaba i elektromagnetna. Iako su u standardnom modelu očigledne razlike između slabe i elektromagnetne sile objašnjene kao ishod spontanog narušavanja simetrije, to isto objašnjenje ne važi za jaku nuklearnu silu; čak ni u jednačinama standardnog modela ne

postoji simetrija koja bi uspostavila odnos između jake nuklearne, slabe i elektromagnetne. Ovo je dovelo, počev od ranih sedamdesetih godina, do traganja za nekom teorijom koja bi ležala ispod standardnog modela i bila još osnovnija, a u kojoj bi i jaka i slaba i elektromagnetna sila bile objedinjene samo jednom, velikom, spontano narušenom grupom simetrija.

Postojala je jedna očigledna prepreka ma kakvom objedinjenju po tim linijama. U svakoj teoriji, ono što sagledavamo kao jačinu neke sile zavisi od dve vrste numeričkih parametara: jedno su mase (ako ih imaju) čestica kao što su 'W' i 'Z' - dakle, čestica koje prenose te sile - a drugo su izvesne svojstvene jačine, takođe poznate pod nazivom 'konstante međudejstva'. Svojstvena jačina odnosi se na verovatnoću da čestice kao što su fotoni, gluoni, 'W' ili 'Z' budu, u reakcijama čestica, emitovane, pa reapsorbovane. Mase nastaju zbog spontanog narušavanja simetrija, ali svojstvene jačine jesu brojevi koji se pojavljuju u osnovnim jednačinama teorije. Svaka simetrija koja bi povezivala jaku sa slabom i sa elektromagnetnom silom, čak i ako bi bila spontano narušena, nalagala bi da svojstvene jačine elektroslabe sile i jake sile budu (ako dobro usaglasimo konvencije za njihovo definisanje) međusobno jednake. Pravidne razlike između jačina jedne, druge i treće sile bile bi onda pripisane, neizbežno, spontanom narušavanju simetrija koje dovodi i do razlike u masama čestica koje te sile prenose, otprilike onako kao što se u standardnom modelu razlike između elektromagnetne i slabe sile pojavljuju zbog činjenice da narušavanje elektroslabe simetrije daje česticama 'W' i 'Z' veoma velike mase, dok foton ostaje bez mase. Ali jasno je da svojstvena jačina jake nuklearne sile i elektromagnetne sile nisu jednake; jaka nuklearna sila je, kao što joj i naziv kaže, mnogo jača od elektromagnetne, iako i jednu i drugu prenose čestice bez mase, gluoni i fotoni.

Godine 1974. pojavila se jedna zamisao koja je nudila putanju kojom bismo mogli zaobići tu prepreku. Svojstvene jačine svih tih sila, zapravo, zavise, u veoma maloj meri, od energija samih onih procesa pomoću kojih ih mi merimo. U svakoj mogućoj teoriji koja bi objedinila jaku sa elektroslabom silom, očekivalo bi se da te svojstvene jačine budu jednake pri nekoj energiji, ali bi ova energija mogla biti veoma različita od onih energija koje postižemo u sadašnjim opitima. Postoje tri svojstvene jačine sila u standardnom modelu (i to je jedan od razloga zbog kojih smo nezadovoljni njime kao konačnim modelom), pa, prema tome, nije beznačajan uslov da postoji i jedna energija na kojoj bi se te tri jačine izjednačile. Nametanjem ovog uslova uspeli smo doći do jednog predviđanja u vezi sa jačinama koje bi te sile trebalo da imaju pri sadašnjim energijama naših opita, i pokazalo se da je to predviđanje u razumnoj saglasnosti sa onim što je tokom opita stvarno opaženo. To je samo jedan jedini kvantitativni uspeh, ali i on je dovoljan da nas ohrabri u uverenju da u tim zamislima ima nečeg.

Na ovaj način bilo je moguće otprilike proceniti i energiju na kojoj bi svojstvene jačine postale jednake. Jaka nuklearna sila je, pri energijama postojećih akceleratora, mnogao jača od ostalih sila; trebalo bi, po kvantnoj hromodinamici, da ona slabi, ali veoma lagano, sa povećanjem energije, tako da se sad predviđa da bi energija na kojoj bi se po jačini izjednačile sve sile u standardnom modelu morala biti veoma visoka: nekih milion milijardi milijardi volti. (Nova poboljšanja ovog izračunavanja sugerišu energiju koja bi bila bliža brojki od deset miliona milijardi milijardi volti.) Ako bi zaista postojala neka spontano narušena simetrija koja bi povezivala jaku silu i elektroslabu silu, onda bi morale postojati i nove teške čestice, da bi se popunila cela porodica čestica koje prenose silu, u koju su već uključeni 'W', 'Z', foton i gluoni. U tom slučaju, energija od nekoliko

miliona milijardi milijardi volti mogla bi se odrediti kao upravo ona energija koja je sadržana u masi tih novih teških čestica. Kao što ćemo videti, u današnjim teorijama superstruna nema potrebe da se pretpostavi postojanje ma kakve zasebne nove simetrije koja bi povezala jaku silu sa elektroslabom, ali bi ostala na snazi pretpostavka da bi na nekoj vrlo visokoj energiji, izračunatoj na oko deset miliona milijardi milijardi volti, došlo do izjednačavanja svojstvene jačine jake sile i elektroslabe sile.

Ovo može izgledati kao samo još jedan nepojamno veliki broj, ali kad je godine 1974. izvršena ta procena o milion milijardi milijardi volti, zazvonila su zvonca u glavama teorijskih fizičara. Svi smo mi znali za jednu drugu veoma veliku energiju, i to takvu koja se prirodno pojavljuje u svakoj teoriji koja pokušava da objedini gravitaciju sa drugim silama u prirodi. Pod normalnim okolnostima, sila gravitacije mnogo je slabija od slabe nuklearne, elektromagnetne i jake nuklearne. Niko nikada nije opazio baš ni najmanje delovanje gravitacionih sila između čestica koje su u sastavu jednog atoma ili jednog molekula, a svi su izgledi da niko nikad i neće. (Jedini razlog što se nama čini da je sila gravitacije prilično jaka u našem svakidašnjem životu jeste taj što planeta Zemlja sadrži veliki broj atoma, a svaki pojedini atom daje svoj majušni doprinos gravitacionom polju koje mi na površini Zemlje osećamo.) Ali prema opštoj teoriji relativnosti, gravitaciju takođe proizvodi energija, a ne samo masa, i gravitacija sa svoje strane deluje i na energiju, a ne samo na masu. Iz tog razloga fotoni, koji imaju energiju, ali nemaju masu, skreću s puta kad proleću kroz gravitaciono polje Sunca. Pri dovoljno visokoj energiji, sila teže između dve tipične elementarne čestice postala bi podjednako jaka kao i bilo koja druga sila između njih. Energija na kojoj bi se ovo desilo iznosila bi oko hiljadu miliona milijardi milijardi volti, i ona je poznata kao Plankova energija. Godine 1899. Maks Plank je dao jednu napomenu koja, u suštini, znači da je to prirodna jedinica energije koja se može izračunati na osnovu tri nama poznate veličine, a to su brzina svetlosti, naelektrisanje elektrona i konstanta u Njutnovoju formuli za gravitacionu silu.

Upadljiva je činjenica da je Plankova energija samo stotinak puta veća od energije na kojoj bi svojstvene jačine jake sile i elektroslabe sile postale međusobno jednake, bez obzira na to što su obe te energije ogromne i znatno veće od onih energija koje se normalno sreću u fizici elementarnih čestica. Pošto su te dve ogromne energije tako bliske jedna drugoj, teško je odoleti pomisli da narušavanje svake simetrije koja objedinjuje jaku sa elektroslabom silom mora biti samo deo jednog temeljnijeg narušavanja simetrija - naime, narušavanja one simetrije (zasad ne znamo koje) koja povezuje gravitaciju sa ostalim silama prirode. Možda ne postoji nikakva posebna objedinjena teorija koja bi važila samo za tri sile, i to jaku nuklearnu, slabu nuklearnu i elektromagnetnu, nego samo jedna zaista objedinjena koja će uključiti te tri sile i silu teže.

Na nesreću, razlog što gravitaciju izostavljamo iz standardnog modela jeste taj što je gravitaciju veoma teško opisati jezikom teorije kvantnih polja. Možemo mi naprosto da primenimo pravila kvantne mehanike na one jednačine polja koje nalazimo u opštoj teoriji relativnosti, ali tada još jednom naletimo na stari problem beskonačnosti. Na primer, ako pokušamo izračunati verovatnoće za ono što bi se desilo pri sudaru dva gravitona (čestice od kojih se sastoji gravitaciono polje), dobijemo sasvim razumne vrednosti koje bi dala razmena jednog gravitona između ta dva gravitona, ali čim pomerimo naša izračunavanja jedan korak dalje i pogledamo šta bi bilo pri razmeni dva gravitona, počnemo nailaziti na beskonačne vrednosti. Ove beskonačnosti mogu se

poništiti ako Ajnštajnovе jednačine teorije polja preinačimo tako što u njih ubacimo jedan novi član sa beskonačnim konstantnim činiocem koji poništava prvu beskonačnost, ali ako onda izračunamo kako bi išla razmena tri gravitona, tu iskoče nove beskonačnosti, koje jedino možemo poništiti ubacivanjem novih članova, i tako dalje, tako da najzad dobijemo teoriju sa neograničenim brojem nepoznatih konstanti. Postoji jedna teorija ove vrste koja je stvarno korisna kod izračunavanja kvantnih procesa pri srazmerno niskoj energiji, gde ti novi članovi koje treba dodavati jednačinama polja jesu zanemarljivo mali, ali ona gubi svaku moć predviđanja kad je primenimo na gravitacione pojave pri Plankovoj energiji. Zasad je izračunavanje fizičkih procesa pri Plankovoj energiji naprosto izvan našeg dohvata.

Dabome da niko ne vrši opitna proučavanja ma kog procesa pri Plankovoj energiji (niti meri ijedan kvantni gravitacioni proces, kao što bi bili sudari gravitona sa drugim gravitonima pri ma kojoj energiji), ali da bi se jedna teorija smatrala zadovoljavajućom, nije dovoljno samo da se ona slaže sa nalazima obavljenih opita, nego je potrebno i da pravi uverljiva predviđanja o opitima koji se još ne obavljaju, ali bi u načelu mogli biti obavljeni. Sa ovog stanovišta, opšta teorija relativnosti godinama je bila u istom položaju kao teorija slabih međudejstava pre razvijanja elektroslabe teorije u poznim šezdesetim godinama: naime, opšta teorija relativnosti postiže odlične uspehe kad god se isproba opitno (onda kada je to izvodljivo), ali ipak sadrži neke unutrašnje protivurečnosti koje pokazuju da joj je potrebno prilagođavanje.

Vrednost Plankove energije suočava nas sa zastrašujuće velikim novim problemom. Nije stvar u tome što je Plankova energija tako velika - ona se u fizici pojavila na tako dubokom nivou da mi možemo pretpostaviti da je Plankova energija naprosto ona temeljna jedinica energije koja će se pojaviti i u jednačinama konačne teorije. Tajna glasi: zašto su sve ostale energije tako male? Konkretno, u prvobitnoj verziji standardnog modela, mase elektrona, 'W' čestica, 'Z' čestice i svih kvarkova srazmerne su onoj jedinoj masi koja se pojavljuje u jednačinama tog modela, a to je masa Higsove čestice. Na osnovu onoga što znamo o masi čestica 'W' i 'Z', možemo izvući zaključak da energija sadržana u masi Higsove čestice ne bi mogla biti veća od približno bilion volti. Ali to je bar sto miliona miliona puta manje od Plankove energije. To takođe znači da postoji hijerarhija simetrija: ona simetrija (nama još nepoznata) koja objedinjuje gravitacionu i jaku nuklearnu silu sa elektroslabom silom narušena je oko sto miliona miliona puta jače nego simetrija koja objedinjuje slabu silu sa elektromagnetnom. Zagonetka na koju smo tu naišli - naime, kako objasniti ovu ogromnu razliku u temeljnim energijama - poznata je, zato, u današnjoj fizici pod nazivom problem hijerarhije.

Već nekih petnaest godina problem hijerarhije ostaje najgora kost zaglavljena u grlu teorijske fizike. Veliki deo teorijskih spekulacija u poslednjim godinama bio je pokretan potrebom da se ovaj problem reši. A on nije paradoks - nema razloga zašto neke energije u temeljnim jednačinama fizike ne bi bile sto miliona miliona puta manje nego neke druge. Ali jeste tajna. Zato je toliko težak. Kad imate neki paradoks kao što je ubistvo izvršeno u zaključanoj sobi, onda on možda sam u sebi sadrži nagoveštaj gde je rešenje, ali kad je nešto naprosto tajanstveno, prinuđeni smo tražiti nagoveštaje izvan problema samog.

Jedan pristup problemu hijerarhije zasniva se na zamisli da postoji jedna nova vrsta simetrije, koja bi se zvala supersimetrija, a koja bi uspostavila odnose između čestica sa različitim spinovima, tako da bi se one svrstale u 'superporodice'. U

supersimetrijskim teorijama, postoji nekoliko Higsovih čestica, ali simetrija zabranjuje pojavu ma koje Higsove čestične mase u temeljnim jednačinama teorije; ono što u standardnom modelu nazivamo mase Higsove čestice moralo bi nastajati dejstvom složenih dinamičkih efekata koji razbijaju supersimetriju. U jednom drugom pristupu, koji sam pomenuo ranije, napustili bismo ideju da postoji polje čija vakuumska vrednost narušava elektroslabu simetriju, i pripisali bismo to razbijanje nečem drugom - naime, dejstvu neke nove superjake sile.

Nažalost, zasad nema nijednog znaka u prirodi da postoji ikakva supersimetrija ili ikakva superjaka sila. Ova činjenica još nije konačni dokaz protiv tih zamisli; lako bi moglo biti da su nove čestice, predskazane tim novim pristupima problemu hijerarhije, naprosto suviše teške da bi bile proizvedene u postojećim akceleratorским laboratorijama.

Očekujemo da bi Higsove čestice ili druge nove čestice zahtevane različitim pristupima problemu hijerarhije mogle biti otkrivene u akceleratoru čestica dovoljno moćnom, kao što je superprovodni superkolajder. Ali nijedan akcelerator nama danas zamisliv neće nikada moći da na pojedinačne čestice usredsredi one ogromne energije pri kojima bi došlo do objedinjenja svih sila. Kad su Demokrit i Leukip nagađali u Abderi o atomima, nisu mogli znati da su ti atomi milion puta manji od zrna peska na egejskim plažama, niti da će ljudi tek 2.300 godina kasnije pronaći prve neposredne dokaze o postojanju atoma. A nas su razmišljanja dovela na rub jedne provalije daleko šire: smatramo da se sve sile prirode ujedinjuju pri energiji čija je vrednost približna Plankovoj energiji, a ta je milion milijardi puta veća od one koju uspevamo postići u današnjim akceleratorima.

Otkriće ove ogromne provalije izmenilo je fiziku na nekoliko načina, od kojih neki sežu sa one strane problema hijerarhije. Kao prvo, novom svetlošću je obasjan stari problem beskonačnosti. U standardnom modelu, baš kao i u kvantnoj elektrodinamici koja je postojala pre njega, emitovanje i apsorbovanje fotona i drugih čestica neograničeno visoke energije daje beskonačno veliki doprinos energiji atoma i drugim opazivim veličinama. Da bismo se nekako izborili sa tim beskonačnostima, bilo je potrebno da standardni model ima jednu posebnu osobinu, da bude renormalizabilan, što znači da se sve beskonačnosti koje iskrnu u teoriji odmah potru sa drugim beskonačnostima koje iskrsavaju u definisanju čistih masa i drugih konstanti što ulaze u jednačine teorije. Ovaj uslov bio nam je moćno vođstvo kad smo sazdavali standardni model; samo teorije sa najjednostavnijim mogućim jednačinama polja jesu renormalizabilne. Ali pošto standardni model izostavlja gravitaciju, mi sada smatramo da je on samo jedna niskoenergetska približnost one zaista objedinjene temeljne teorije za kojom tragamo, i da prestaje važiti pri energijama nalik na Plankovu. Pa, zašto bismo, onda, ozbiljno shvatali ono što nam standardni model kaže o posledicama emitovanja i apsorbovanja čestica neograničeno visoke energije? Opet, ako to nećemo ozbiljno shvatati, zašto bismo insistirali na tome da standardni model mora biti renormalizabilan? Problem tih beskonačnosti, dakle, još i sad je sa nama, ali to je problem za konačnu teoriju, a ne za jednu niskoenergetsku približnost kao što je naš standardni model.

Ishod ovog preispitivanja problema sa beskonačnostima jeste taj da mi sada smatramo da jednačine polja u standardnom modelu nisu od one veoma jednostavne vrste koja bi bila renormalizabilna, nego da one, zapravo, sadrže svaki zamislivi termin koji je u skladu sa simetrijama teorije. Ali onda moramo objasniti zašto su stare, renormalizabilne kvantne teorije polja, kao što su bile najjednostavnije verzije kvantne

elektrodinamike ili kao što je bio standardni model, radile tako dobro. Razlog, smatramo mi, može biti pronađen ako se obrati pažnja na činjenicu da u jednačinama polja svi članovi, osim veoma jednostavnih renormalizabilnih članova, neizbežno moraju u svojim jednačinama da se pojave podeljeni izvesnim stepenovanim brojevima koji ukazuju na energiju nalik na Plankovu. U tom slučaju bi dejstvo tih članova na bilo koji opaženi fizički proces bilo srazmerno onome što dobijemo kada stepenujemo razlomak u kome se energija procesa deli Plankovom energijom, a to je razlomak koji glasi, recimo, jedan kroz milion milijardi, pa i manje. Dobijeni broj je tako malen da, normalna stvar, nismo uspeli opaziti nijedno takvo dejstvo. Drugim rečima, uslov renormalizabilnosti, koji je usmeravao naše razmišljanje još od kvantne elektrodinamike u četrdesetim pa sve do standardnog modela u šezdesetim i sedamdesetim godinama, bio je, sa stanovišta prakse, dobar i potreban uslov, iako smo ga mi tada sebi nametnuli iz nekih razloga koji, čini se, više ne važe.

Ova promena tačke gledanja ima posledice koje bi mogle biti veoma važne. Standardni model u svom najjednostavnijem renormalizabilnom obliku sadržao je 'pukim slučajem' i neke zakone o održanju, očuvanju, koji sežu dalje od, i iznad, zaista temeljnih zakona o održanju koji proističu iz simetrija posebne teorije relativnosti i iz unutrašnjih simetrija koje nalažu da moraju postojati foton, 'W' čestice, 'Z' čestica i gluoni. Među tim slučajnim zakonima očuvanja našao se i zakon o očuvanju broja kvarkova (a to je ukupan broj kvarkova minus ukupan broj antikvarova), kao i zakon o očuvanju broja leptona (a to je ukupan broj elektrona, neutrina i njima srodnih čestica, minus ukupan broj njihovih antičestica). Kad napravimo spisak svih mogućih članova koji se u jednačinama polja pojavljuju, a koji bi bili u skladu sa temeljnim simetrijama standardnog modela, kao i sa uslovom renormalizabilnosti, uviđamo da u jednačinama polja ne postoji, zapravo, nijedan član koji bi mogao prekršiti ove zakone očuvanja. A upravo očuvanje broja kvarkova i broja leptona jeste ono što sprečava procese kao što bi bilo raspadanje tri kvarka u jednome protonu na jedan pozitron i jedan foton - dakle, upravo taj zakon o održanju čuva i postojanost obične materije. Ali sada smatramo da složeni nerenormalizabilni članovi u jednačinama polja, veličine koje bi mogle prekršiti zakone o očuvanju broja kvarkova i broja leptona, odista jesu prisutne, ali su veoma malene. Ti mali članovi u jednačinama polja doveli bi do pojave da se proton raspadne (na primer, na jedan pozitron i jedan foton ili neku drugu neutralnu česticu), ali bi se to dešavalo tek posle vrlo dugog vremena; prosečni životni vek protona procenjen je na oko sto miliona miliona miliona miliona godina. Moglo bi to biti i malo duže ili kraće. Ali otprilike toliki jeste broj protona u 100 tona vode, pa prema tome, ako je ovo istinito, trebalo bi da se u svakih 100 tona vode svake godine raspadne, u proseku, po jedan proton. Već godinama traju opiti u vezi sa ovim - naime, pokušaji da se opazi takav raspad protona, ali uzalud. Međutim, u Japanu će uskoro početi osmatranje u jednom rezervoaru sa 10.000 tona vode; pomno će se motriti na svaki eventualni sev svetlosti koji bi označio da se dogodio takav raspad nekog protona. Možda će taj opit otkriti nešto.

S druge strane, u poslednje vreme javljaju se neki čudni nagoveštaji o jednom mogućem kršenju zakona očuvanja broja leptona. U standardnom modelu, ovaj zakon očuvanja dovodi do toga da neutriini nemaju masu, pa, prema tome, ako bi on bio prekršen, očekivali bismo da neutriini ipak imaju neku malu masu, negde između jednog stotog i jednog hiljaditog dela volta (drugim rečima, otprilike milijarditi deo mase jednog elektrona). Ta masa je daleko premalena da bi u ma kom dosadašnjem laboratorijskom

opitu mogla biti opažena, ali ona bi mogla imati jedno istančano dejstvo - naime, mogla bi možda omogućiti da neutrino pođe kao neutrino elektronskog tipa (dakle, pripadnik iste porodice u kojoj se nalazi elektron), a potom da se lagano pretvori u neutrino nekog drugog tipa. Ovim bi se mogla objasniti jedna zagonetka koja nas muči već odavno - činjenica da je broj neutrina čiji dolazak iz Sunca mi uspevamo da detektujemo daleko manji od očekivanog broja. Neutrini koji nastaju u jezgru Sunca uglavnom su elektronskog tipa, pa su zato i detektori pomoću kojih želimo da ih na Zemlji opazimo postavljeni tako da budu osetljivi uglavnom na neutrine elektronskog tipa; moguć je zaključak da su se ti neutrini, prolazeći kroz Sunce, preobratali u neutrine drugih vrsta, i da ih zato tako slabo uspevamo primetiti. Pokušaji da se ovo proveri pomoću raznih drugih tipova neutrinških detektora u toku su sada u Južnoj Dakoti, u Japanu, na Kavkazu, u Italiji i u Kanadi.

Ako budemo imali sreće, možda ćemo jednog dana dobiti konkretne dokaze o raspadanju protona ili o masi neutrina. Ili bi se moglo desiti da u postojećim akceleratorima kao što su proton-antiproton kolajder u Fermilabu ili elektron-pozitron kolajder u CERN-u nađemo neki dokaz o supersimetriji. Ali sve se to kreće sporo poput lednika. Na svakoj konferenciji fizike visokih energija održanoj u poslednjih deset godina zaključni govor mogao je sadržati (a obično je i sadržao) isti spisak želja: gde bi sve bilo dobro da postignemo proboj, kad bismo samo mogli. Nimalo ova vremena ne liče na ona uzbudljiva vremena u prošlosti, kad su maltene svakog meseca postdiplomci fizike na nekom univerzitetu jurili kroz hodnike da što pre donesu vest o nekom novom otkriću. Jedan od dokaza o temeljnom značaju fizike elementarnih čestica jeste to što izuzetno pametni studenti nastavljaju da dolaze u ovo polje nauke, iako se u njemu dešava tako malo.

Sa pouzdanjem možemo reći da bi se ovaj zastoj prekinuo ako bismo dovršili izgradnju superprovodnog superkolajdera. Projektovan je da ima dovoljno energije, ali i dovoljno intenziteta, da razreši pitanja o mehanizmu slamanja elektroslabe simetrije, i to na jedan od dva načina: ili pronalaženjem jedne ili više Higsovih čestica, ili otkrivanjem nekih znakova o prisustvu novih jakih sila. Ako je supersimetrija odgovor na problem hijerarhije, onda bi se i to otkrilo u superkolajderu. S druge strane, ako bi bile otkrivene nove jake sile, onda bi superkolajder dao bogatu raznovrsnost novih čestica sa masama od oko bilion volti, i mi bismo sve njih morali istražiti, pa tek onda nagađati šta se dešava na još mnogo većim energijama, na kojima nastupa objedinjenje svih sila, uključujući tu i gravitaciju. U oba slučaja, fizika čestica bi opet krenula sa mrtve tačke. Kampanja koju fizičari čestica vode podstaknuta je njihovim očajanjem zato što znamo da samo ako imamo takav akcelerator možemo biti sigurni da će se naš rad nastaviti.

9. OBLIK KONAČNE TEORIJE

Ako u semenke vremena zaviriti možeš
i reći koja će izrasti, a koja ne,
onda kazuj, da čujem.

Vilijem Šekspir, Magbet

Konačna teorija može biti još vekovima daleko od nas, i može se pokazati da je sasvim drugačija od svega što smo mi danas u stanju i da zamislimo. Ali hajde da pretpostavimo, za trenutak, da je ona odmah iza ugla. Šta možemo nagađati o toj teoriji na osnovu onoga što već znamo?

Meni se čini da od svih delova današnje fizike, jedan deo ima ponajviše izgleda da preživi i da neizmenjen uđe u konačnu teoriju: taj deo je kvantna mehanika. Ovo smatram ne samo zato što je kvantna mehanika temelj celokupnog našeg današnjeg razumevanja materije i sile, i što je prošla sa punim uspehom kroz izuzetno stroge opitne provere; još važnija je činjenica da niko nije smislio ni jedan jedini način da kvantnu mehaniku makar i malo izmeni, a da pri tome očuva njene uspehe, odnosno izbegne pad u logičke apsurdnosti.

Iako nam daje pozornicu na kojoj nastupaju sve prirodne pojave, kvantna mehanika ostaje, ipak, samo prazna pozornica. Kvantna mehanika nam dopušta da zamislimo ogromnu raznovrsnost različitih mogućih fizičkih sistema: oni bi mogli biti sačinjeni od svakojakih čestica, koje bi jedna na drugu delovale svakojakim silama, a mogući su čak i sistemi u kojima ne bi postojala nijedna čestica. Istorija fizike u ovom veku obeležena je postepenim jačanjem uviđanja da načela simetrije nalažu koji će se dramski likovi pojaviti u drami koju vidimo na kvantnoj pozornici. Naš sadašnji standardni model u kome postoje slaba, elektromagnetna i jaka sila zasnovan je na simetrijama, i to na prostorvremenskim simetrijama posebne teorije relativnosti, koje zahtevaju da standardni model bude formulisan kao teorija polja, i na unutrašnjim simetrijama koje nalažu da moraju postojati elektromagnetno polje i druga polja koja, u standardnom modelu, jesu prenosnici sila. I gravitacija se može shvatiti na osnovu načela simetrije, i to one simetrije u Ajnštajnovoj opštoj teoriji relativnosti koja nalaže da zakoni prirode moraju ostati neizmenjeni bez obzira na to kako mi menjali načine opisivanja raznih položaja u prostoru i vremenu.

Sada, kad imamo iza sebe ovaj vek iskustva, mišljenje je gotovo svih naučnika da će konačna teorija biti zasnovana na načelima simetrije. Očekujemo da će te simetrije objediniti i silu teže sa slabom, elektromagnetnom i jakom silom u standardnom modelu. Ali mi decenijama nismo znali šta su te simetrije, niti smo imali matematički zadovoljavajuću kvantnu teoriju gravitacije koja bi u sebe uključila i onu simetriju što leži u osnovi opšte teorije relativnosti.

Ovo se možda već izmenilo. Protekla decenija videla je razvoj jednog korenito novog okvira kojim bi mogla biti obuhvaćena ne samo kvantna teorija gravitacije nego i sve ostalo. To je teorija struna. Ona je naš prvi ubedljivi kandidat za konačnu teoriju.

Koreni teorije struna sežu unazad do godine 1968, kad su teoretičari elementarnih čestica pokušavali da shvate jake nuklearne sile, a da se ne oslone na kvantnu teoriju polja, čija je popularnost u to doba bila izuzetno niska. Jedan mladi teoretičar u CERN-u, Gabrijel Venecijano (Gabriel Veneziano), došao je na ideju da naprosto izmisli, 'od oka', jednu formulu koja bi dala verovatnoće za rasejanje dvaju čestica kad se sudaraju pri raznim energijama i pod raznim uglovima, i koja bi u isti mah imala i neke od osnovnih odlika što ih zahtevaju načela teorije relativnosti, kao i načela kvantne mehanike. Upotrebljavajući dobro znana matematička oruđa koja svaki student fizike mora ranije ili kasnije naučiti, on je uspeo da sazda jednu zapanjujuće jednostavnu formulu koja je zadovoljila sve te uslove. Ova Venecijanova formula privukla je veliku pažnju; ubrzo je, radom nekolicine teoretičara, uopštena i primenjena na nekoliko drugih procesa, odnosno

upotrebljena kao osnovica za jednu shemu systemske aproksimacije. Niko u to doba nije ni pomišljao da bi se mogla upotrebiti i za neku kvantnu teoriju gravitacije; rad je bio nadahnut isključivo nadom da će se postići bolje razumevanje jakih nuklearnih sila. (Ona prava teorija jakih sila, jedna kvantna teorija polja poznata kao kvantna hromodinamika, bila je tada još nekoliko godina u budućnosti.)

U toku tog rada, shvaćeno je da Venecijanova formula i njena proširenja i uopštenja nisu samo srećni nasumični pogoci, nego da predstavljaju teoriju koja opisuje jednu novu vrstu fizičkog entiteta, a to je relativistička kvantnomehanička struna. Naravno, obične strune (kanapi, konci, žice...) sazdane su od čestica kao što su protoni i neutroni i elektroni, ali ove nove strune nisu takve, jer su od njih, možda, sagrađeni protoni, neutroni i elektroni. Nije nekoga naprosto ponela misao da bi materija mogla biti načinjena od 'konopčića', a on posle prionuo na posao i smislio prikladnu teoriju; desilo se obratno, teorija struna je razvijena pre nego što je iko shvatio da to što razvija jeste teorija struna.

Te strune možemo slikovito zamisliti kao majušne jednodimenzione rasepe u glatkom tkivu prostora. Strune mogu biti otvorene, dakle sa dva slobodna kraja, ili mogu biti zatvorene, odnosno savijene u prsten, kao kružne 'gumice'. Dok lete kroz prostor, strune vibriraju. Svaka struna može biti pronađena u bilo kom od bezbrojnih mogućih stanja (ili modova) vibriranja, otprilike onako kao što zvučna viljuška ili violinska struna proizvode, dok vibriraju, razne uzgredne tonove. Vibracije obične violinske strune (žice na violini) vremenom zamiru zato što se energija njihovog vibriranja postepeno rasipa u nasumično kretanje atoma od kojih je žica napravljena - dakle, u jedno kretanje koje mi opažamo kao toplotu. Nasuprot tome, strune koje nas ovde zanimaju zaista su temeljne i nastavljaju treperiti zauvek; one nisu načinjene od atoma niti od ma čega drugog, a njihova energija vibriranja naprosto nema kuda da ode.

Pretpostavlja se da su strune veoma malene. Zbog toga struna, kad je posmatramo ne ispitujući vrlo male dužine, izgleda kao tačka, odnosno kao čestica koja je tačka. A pošto se struna može nalaziti u bilo kom modu vibriranja (a tih modova ima beskonačno mnogo), onda struna izgleda kao neka čestica, ova ili ona, već prema tome u kom modusu vibrira.

Rane verzije teorije struna nisu bile bez problema. Proračuni su pokazali da bi među bezbrojnim modovima treperenja bio i jedan takav u kome bi se zatvorena struna, trepereći baš tako, pojavljivala kao čestica nulte mase i sa spinom dva puta većim od spina fotona. Imajte na umu da su teorije struna proistekle iz Venecijanovih nastojanja da razume jake nuklearne sile, i da su u prvo vreme shvatane kao teorije jakih sila i onih čestica na koje deluju jake sile. Nije poznata nijedna čestica koja bi osećala dejstvo jake nuklearne sile, a imala tu masu i taj spin; štaviše, trebalo bi da su takve čestice, ako ih uopšte ima, već davno uočene u opitima. Tu je, dakle, nastao ozbiljan sukob između teorije i opita.

Ali postoji jedna čestica čija je masa jednaka nuli, a spin dva puta veći nego kod fotona. Ona ne oseća dejstvo jakih nuklearnih sila; ona je graviton, čestica gravitacionog zračenja. Poznato je još od šezdesetih godina da bi svaka teorija čestice sa takvom masom i takvim spinom morala izgledati manje-više isto kao opšta teorija relativnosti. Ona čestica bez mase koja je teorijski nađena u ranim danima teorije struna razlikovala se od pravog gravitona samo u jednoj važnoj osobini: razmenom te nove čestice bez mase

nastajale bi sile slične gravitacionim u svemu osim što bi bile sto biliona biliona biliona puta jače.

Kao što se često dešava u fizici, teoretičari struna otkrili su pravo rešenje za pogrešan problem. Postepeno je jačala ideja, tokom ranih osamdesetih godina, da ta nova čestica bez mase koja je pronađena samo kao matematička posledica teorija struna nije neki analogon gravitona sa izrazitim međudejstvom - nego, baš, pravi graviton. Da bi se gravitacionim silama pripisala ispravna jačina, bilo je potrebno podesiti napetost strune u osnovnim jednačinama teorije struna toliko da razlika energije između najnižeg i prvog sledećeg energetskog stanja strune ne bude tričavih nekoliko stotina miliona volti, koliko je svojstveno nuklearnim pojavama, nego nešto nalik na Plankovu energiju, dakle milion miliona milijardi volti: pri takvoj energiji gravitacija bi postala jednako snažna kao sve ostale sile. Podsetimo se da volt, uzet kao jedinica energije, jeste ona energija koju stiče jedan elektron kad ga električna baterija od jednog volta gura od jednog svog pola, kroz žicu, ka drugom polu. To je tako visoka energija da se sve čestice standardnog modela - svi kvarkovi, fotoni, gluoni i tako dalje - moraju poistovetiti sa najnižim modovima vibriranja strune; inače bi za njihovu proizvodnju bilo potrebno toliko energije da nikada ne bi bile otkrivene.

Sa ove tačke gledanja, jedna kvantna teorija polja (a standardni model je upravo to) jeste samo niskoenergetska aproksimacija - dakle, približna, ali ne sasvim tačna verzija temeljne teorije koja, međutim, uopšte nije teorija nikakvih polja, nego je teorija struna. Sada smatramo da naše kvantne teorije raznih polja dejstvuju tako uspešno kao što vidimo da dejstvuju pri energijama dostupnim u našim modernim akceleratorima ne zato što je priroda konačno opisana nekom kvantnom teorijom polja nego zato što svaka teorija koja zadovoljava zahteve kvantne mehanike, kao i zahteve posebne teorije relativnosti, izgleda, pri dovoljno niskoj energiji, kao kvantna teorija polja. Sve smo bliži uverenju da je naš standardni model jedna efektivna teorija polja, pri čemu pridev 'efektivna' služi da nas podseti na to da su takve teorije samo niskoenergetske aproksimacije jedne druge, veoma različite teorije, koja bi možda mogla biti teorija struna. Dakle, standardni model je bio jezgro savremene fizike, a ovaj pomak u gledanju na kvantne teorije polja mogao bi nagoveštavati da počinje neka nova, postmoderna era u fizici.

Pošto su i gravitoni i mnoštvo drugih čestica uključeni u teorije struna, onda one daju, prvi put, osnovicu za neku moguću konačnu teoriju. Uistinu, pošto se čini da je graviton neizbežno prisutna odlika svake teorije struna, možemo kazati da teorija struna objašnjava zbog čega gravitacija postoji. Edvard Viten (Edward Witten), naučnik koji će postati jedan od vodećih teoretičara struna, doznao je za ovaj vid teorije struna još godine 1982, čitajući članak Džona Švorca (John Schwarz), teoretičara sa Kalteka; trenutak tog uviđanja bio je "najveće intelektualno uzbuđenje u mom životu", kaže Viten.

Čini se da su teorije struna takođe rešile problem sa onim beskonačnostima koje su kao kuga izjedale svaku raniju kvantnu teoriju gravitacije. Iako može izgledati kao čestica koja je sva u jednoj tački, struna to nije; najvažnija stvar koju o strunama treba znati upravo je ta da strune nisu tačke nego su izduženi objekti. Kad god se u običnim teorijama polja pojave beskonačnosti, mi im možemo pratiti trag unazad sve do činjenice da polja opisuju 'tačkaste' čestice. (Evo primera: zakon o obrnutoj srazmernosti kvadratu rastojanja daje beskonačno veliku silu ako stavimo dva tačkasta elektrona na isto mesto.)

Za razliku od toga, valjano formulirane teorije struna kao da su slobodne od ma kakvih beskonačnosti.

Zanimanje za teorije struna stvarno se počelo veoma povećavati godine 1984, kada je Švorc, zajedno sa Majklom Grinom (Michael Green) sa koledža Kvin Meri u Londonu, pokazao da su dve, tačno određene, teorije otvorenih struna položile test matematičke doslednosti na kome su pale ranije proučavane teorije struna. Najzbudljivija osobina rada Grina i Švorca bila je ta što je njime nagovešteno da teorije struna imaju onu vrstu krutosti koju bismo zahtevali od zaista temeljne teorije - jer, iako možemo zamisliti ogroman broj različitih teorija o otvorenim strunama, činilo se da su samo dve takve teorije matematički razumne. Oduševljenje za teorije struna dostiglo je grozničavu žestinu kad je jedna ekipa teoretičara pokazala da donja granica energije u jednoj od te dve Grin-Švorcove teorije upadljivo liči na naš standardni model slabe, jake i elektromagnetne sile, i kad je druga ekipa (nazvana 'Prinstonski gudački kvartet'), Engleski: Princeton String Quartet - prim. prev. našla nekoliko novih teorija struna koje su još približnije standardnom modelu. Mnogi teoretičari su tad počeli pomišljati da nam je konačna teorija na dohvat.

Od tih dana, oduševljenje je donekle splasnulo. Sad je poznato da ima mnogo hiljada teorija struna koje su matematički dosledne na isti način kao dve Grin-Švorcove. Sve te teorije zadovoljavaju istu osnovnu simetriju koja leži u njihovoj osnovi, a koja je poznata kao konformalna simetrija, ali ta simetrija nije izvedena iz posmatranja prirode, kao Ajnštajново načelo relativnosti, nego je, čini se, morala biti uneta da bi se jemčila kvantnomehanička doslednost tih teorija. Sa te tačke gledanja može se reći da su sve te hiljade zasebnih teorija struna samo različiti načini da se zadovolje zahtevi konformalne simetrije. Široko je rasprostranjeno uverenje da to mnoštvo teorija struna nije, zapravo, mnoštvo zasebnih teorija, nego da su sve to samo različiti načini rešavanja jedne jedine, iste teorije. Ali mi u to nismo sigurni, a osim toga, niko ne zna koja bi to jedna (u osnovi svih ostalih) teorija bila.

Svaka od tih mnogo hiljada 'teorija' struna ima, ponaosob, svoje sopstvene prostorvremenske simetrije. Neke od njih zadovoljavaju Ajnštajnovе zahteve relativnosti; u nekim drugim uopšte ne postoji ništa što bismo mogli prepoznati kao normalan prostor sa tri dimenzije. Svaka od tih 'teorija' struna ima, takođe, neke svoje unutrašnje simetrije, koje su, uopšteno govoreći, simetrije iste one vrste kao i unutrašnje simetrije u osnovi našeg sadašnjeg standardnog modela slabe, jake i elektromagnetne sile. Ali jedna od najkrupnijih razlika između teorija struna i svih ranijih teorija sastoji se u tome što u ovim teorijama simetrije (prostorvremenske i unutrašnje) nisu veštački umetnute nego su matematičke posledice upravo onog, tačno određenog načina na koji su pravila kvantne mehanike (i konformalne simetrije koja je zato potrebna) zadovoljena u svakoj pojedinoj teoriji struna. Prema tome, teorije struna potencijalno predstavljaju važan korak prema racionalnom objašnjenju prirode. One mogu, takođe, biti najbogatije od svih matematički doslednih teorija saglasnih sa načelima kvantne mehanike, kao i - istaknimo tu činjenicu - jedine takve teorije u kojima se može pronaći išta nalik na silu teže.

Popriličan broj današnjih mladih teorijskih fizičara radi na teoriji struna. Pojavili su se neki ohrabrujući rezultati. Na primer, u teorijama struna je prirodno da osobene jačine jake i elektroslabe sile postanu, pri veoma visokoj energiji, jednake, kad ih merimo poređenjem sa napetošću strune, iako ne postoji nikakva zasebna simetrija koja bi te sile

ujedinila. Ali, za sada, nije izronilo nijedno detaljno kvantitativno predviđanje koje bi omogućilo da merenjem presudno proverimo valjanost ili nevaljanost teorije struna.

Ovaj zastoj doveo je do žalosnog rasepa u redovima fizičara. Teorija struna je veoma zahtevna; malo koji od teoretičara koji se bave drugim problemima ima dovoljnu stručnu pripremljenost da shvati tehničke članke o teoriji struna, a, opet, malo ko od teoretičara struna ima dovoljno vremena da prati ma šta drugo što se radi u fizici, ponajmanje ono što se radi u oblasti visokoenergetskih opita. Neki od mojih kolega reagovali su na ovu nesrećnu situaciju tako što su ispoljili izvesno neprijateljstvo prema teoriji struna. Ja ne gajim takva osećanja. Teorija struna je naš jedini današnji izvor mogućih kandidata za konačnu teoriju; zar bi mogao iko očekivati da neće mnogi od najblistavijih mladih teoretičara raditi na njoj? Žaloso je da ona dosad nije postigla veće uspehe, ali i teoretičari struna se svojski trude, kao i svi ostali, da se snađu koliko je najbolje moguće u ovom veoma mučnom trenutku u istoriji fizike. Naprosto se moramo nadati da će teorija struna postati uspešnija, ili da će novi opiti otvoriti nove pravce napretka.

Na nesreću, još niko nije pronašao jednu određenu, konkretnu teoriju struna koja bi se savršeno podudarila sa onim prostorvremenskim i unutrašnjim simetrijama i sa onim menijem kvarkova i leptona koji opažamo u prirodi. Ima još: ne znamo, zasad, ni kako da izbrojimo (i poređamo po rednom broju) sve moguće teorije struna, niti kako da vrednujemo njihove odlike. Da bi ovi problemi bili rešani, biće potrebno, čini se, da smislimo neke nove metode računanja, kojima ćemo zakoračiti dalje od onih matematičkih tehnika koje su, u prošlosti, deystvovalale tako dobro. Evo primera. U kvantnoj elektrodinamici možemo deystvo koje nastaje kad elektroni u jednome atomu razmene između sebe dva fotona izračunati kao malu popravku u odnosu na deystvo razmene samo jednog fotona između njih; zatim, deystvo razmene tri fotona možemo izračunati kao dalju, još manju popravku u odnosu na deystvo razmene dva, i tako sve dalje i dalje, sa sve sitnijim popravkama; ovaj lanac popravljanja mi ćemo prekinuti kad god hoćemo, a to znači kad nam se učini da su dalje popravke odveć sitne da bi nas zanimale. Ovaj metod izračunavanja poznat je kao teorija perturbacije. Ali ključna pitanja teorije struna obuhvataju razmenu beskonačnih množtava struna, što znači da se ne mogu izračunavati pomoću teorije perturbacije.

Ima toga još... još goreg. Čak i kad bismo znali kako da matematički postupamo sa teorijama struna, i čak kad bismo uspeli da prepoznamo jednu od njih kao onu pravu koja se uklapa u sve što u prirodi opažamo, opet ne bismo imali, u ovom trenutku, nikakvo merilo koje bi nam omogućilo da kažemo zašto bi teorija struna bila najprimerenija stvarnom svetu. Ponavljam još jednom: cilj fizike na njenom najdubljem nivou jeste ne samo opisati svet nego i objasniti zašto svet jeste takav kakav jeste.

U traganju za merilom koje bi nam omogućilo da odaberemo onu pravu među teorijama struna, možda ćemo biti prisiljeni da se pozovemo na jedno načelo čiji je status u fizici prilično sumnjiv, a koje se zove antropičko načelo. Ono kaže da zakoni prirode treba da budu takvi da omogućće postojanje inteligentnih bića koja će postavljati pitanja o zakonima prirode.

Ideja o antropičkom načelu začela se primedbom da zakoni prirode izgledaju iznenađujuće tačno podešeni za postojanje živih bića. Jedan slavan primer ovoga jeste sinteza hemijskih elemenata. Po savremenim shvatanjima, ova sinteza je počela kad je Vaseljena bila oko tri minuta stara (pre toga je bila odveć vrela da bi se protoni i neutroni

'zalepili' jedni uz druge i stvorili atomska jezgra). Kasnije je stvaranje hemijskih elemenata nastavljeno u zvezdama. U prvo vreme se mislilo da su elementi nastali tako što je atomskim jezgrima dodavana jedna nuklearna čestica, pa kasnije još jedna, i tako redom, polazeći od najjednostavnijeg elementa, vodonika, čije jezgro se sastoji od jedne jedine čestice (protona). Međutim, iako se na taj način bez teškoća stiže do jezgra helijuma, koje se sastoji od četiri čestice (dva protona i dva neutrona), ne postoji stabilno jezgro koje bi se sastojalo od pet nuklearnih čestica, a to znači da sledeći korak na tom putu nije bio moguć. Rešenje je posle dužeg vremena pronašao Edvin Salpeter (Edwin Salpeter) godine 1952, a ono glasi: u zvezdama se mogu spajati po dva jezgra helijuma i davati nestabilno jezgro berilijuma 8, koji ponekad, pre nego što stigne da se raspadne opet na dva helijumska jezgra, primi još jedno, treće helijumsko jezgro i obrazuje jezgro ugljenika. Međutim, kao što je naglasio Fred Hojl godine 1954, da bi ovaj proces mogao dovesti do izobilja ugljenika koje opažamo u kosmosu, mora postojati neko takvo stanje ugljenikovog jezgra u kome to jezgro ima energiju koja mu daje nepravilno veliku verovatnoću da će se ono formirati u sudaru jezgra helijuma sa jezgrom berilijuma 8. (Tačno takvo stanje kasnije su pronašli eksperimentatori koji su radili sa Hojlom.) Kad se u zvezdama jednom obrazuje ugljenik, nema daljih prepreka za izgradnju svih težih elemenata, pa i onih kao što su kiseonik i azot - elemenata potrebnih za postojanje nama poznatih oblika života. Međutim, da bi ovo bilo moguće, energija tog stanja ugljenikovog atoma mora biti veoma bliska zbiru energija jednog jezgra berilijuma 8 i jednog jezgra helijuma. Kad bi energija tog stanja ugljenikovog atoma bila malo veća ili malo manja, onda bi se vrlo malo ili nimalo ugljenika i težih elemenata stvorilo u zvezdama, a samo od vodonika i helijuma ne bi, nikada, moglo nastati nijedno živo biće. Energije nuklearnih stanja nalaze se u jednoj složenoj zavisnosti od fizičkih konstanti, kao što su mase i naelektrisanja svih elementarnih čestica. Već na prvi pogled - upadljiva slučajnost: sve te konstante imaju tačno one vrednosti koje su omogućile da se ugljenik ovako stvara.

Dokazi da su zakoni prirode tačno podešeni da bi život bio moguć meni se ne čine osobito uverljivi. Kao prvo, jedna grupa fizičara nedavno je pokazala da bi energija tog pomenutog ugljenikovog stanja mogla znatno da se poveća, a da ipak ne smanji bitno proizvodnju ugljenika u zvezdama. Dalje, ako počnemo menjati konstante prirode, možda ćemo pronaći mnoga druga stanja i ugljenikovog jezgra i drugih jezgara koja bi mogla otvoriti neke alternativne puteve ka sintezi elemenata težih od helijuma. Ne raspoložemo nijednim dobrim načinom da ocenimo koliko je bilo neverovatno da se sve konstante prirode podese baš na ove vrednosti koje danas imaju, a koje jesu povoljne za uzdizanje inteligentnog života.

Bez obzira na to da li antropičko načelo jeste ili nije potrebno da bismo objasnili stvari kao što su energije pojedinih nuklearnih stanja, postoji jedan kontekst u kome ono naprosto sledi iz običnog zdravog razuma. Naime, moguće je da sve logički prihvatljive vasseljene na neki način postoje, i da svaka ima svoj skup temeljnih zakona. Ako je tako, onda sigurno ima mnogo vasseljena koje, zbog svojih zakona ili zbog svoje istorije, nisu podobne za uzdizanje inteligentnog života. Ali svaki naučnik koji se pita zašto svet jeste takav kakav jeste neizbežno će morati da živi u jednoj od onih drugih vasseljena, u kojima nastanak inteligentnih živih bića jeste moguć. Jedan fizičar, emigrant iz Sovjetskog Saveza, ispričao mi je pre nekoliko godina vic koji se prepričavao u Moskvi, a u kome se kaže da je antropičkim načelom objašnjeno zašto je život tako bedan. Naime, ima mnogo više načina da se bude nesrećan nego da se bude srećan, a antropičko načelo samo

zahteva da zakoni prirodi dopuste postojanje inteligentnog života, ali ne nalaže da ta inteligentna bića moraju prijatno živeti.

Slaba tačka ovakvog tumačenja antropičkog načela sastoji se u tome što značenje takve mnogostrukosti svemira nije nimalo jasno. Jedna vrlo jednostavna mogućnost, koju je predložio Hojl, bila bi da prirodne konstante variraju od oblasti do oblasti, tako da je svako veće područje Vaseljene nešto kao podvaseljena. Ista vrsta tumačenje mnogostrukosti Vaseljene bila bi moguća ako su te konstante, koje uobičajeno nazivamo konstantama prirode, bile različite u raznim epohama tokom istorije Vaseljene. U novije doba veoma mnogo se čuju rasprave o jednoj drugačijoj mogućnosti, daleko revolucionarnijoj - naime, da su i naša Vaseljena i druge logički moguće vaseljene sa drugačijim konačnim zakonima nastale izdvajanjem, nekakvim izletanjem iz jedne veće, megavaseljene. Na primer, u nedavnim pokušajima da se kvantna mehanika nekako primeni na gravitaciju opaženo je da, iako običan prazan prostor izgleda kao da mirno spava i nema nikakve osobenosti (kao površina okeana kad ga gledate sa velike visine), taj isti prazan prostor osmotren izbliza jeste prepun kvantnih fluktuacija od kojih naprosto sav 'ključa', do te mere da bi se čak mogle otvarati 'crvotočine' koje bi spajale neke delove Vaseljene sa nekim drugim delovima dalekim u prostoru i u vremenu. Godine 1987. (posle ranijih radova Stivena Hokinga, Džejsma Hartla i drugih), Sidni Koulmen (Sidney Coleman) sa Harvarda pokazao je da dejstvo otvaranja ili zatvaranja crvotočine jeste naprosto to da se izmene izvesne konstante u jednačinama od kojih zavise razna polja. Baš kao i u onom tumačenju kvantne mehanike gde se pominje mnoštvo svetova, tako se u ovom slučaju talasna funkcija Vaseljene razbija i rasipa u ogromno mnoštvo članova, a u svakom od njih 'konstante' prirode poprimaju različite vrednosti, uz razne, drugačije verovatnoće. U svim takvim teorijama ostaje, već po najosnovnijem zdravom razumu, jasno da ćemo se mi naći u onoj oblasti kosmosa, ili u onoj epohi istorije kosmosa, ili u onom članu talasne funkcije, u kome se dogodi da 'konstante' prirode dobiju neke vrednosti povoljne za postojanje razumnih bića.

Fizičari će svakako istrajati u pokušajima da objasne konstante prirode bez pribegavanja antropičkim argumentima. Moje je predviđanje da ćemo otkriti da, zapravo, sve te konstante prirode (osim možda jedne od njih) jesu utvrđene nekim ili nekakvim načelima simetrije, kao i da za postojanje života ipak nije bilo neophodno nikakvo naročito upečatljivo fino podešavanje zakona prirode. Jedina konstanta prirode koja će možda ipak morati da se objasni nekom vrstom antropičkog načela jeste ona koju poznajemo pod nazivom kosmološka konstanta.

Ona se prvi put pojavila u fizičkoj teoriji u Ajnštajnovom prvom pokušaju da primeni svoju novu opštu teoriju relativnosti na celu Vaseljenu. U tom svom radu, Ajnštajn je pretpostavio, kao što je u ono doba bio običaj, da je svemir statičan, ali je vrlo brzo ustanovio da njegove jednačine gravitacionog polja, u obliku koji im je on prvobitno dao, primenjene na Vaseljenu kao celinu nemaju nikakvo statično rešenje. (A taj zaključak, zapravo, nema nikakve posebne veze sa teorijom relativnosti. I po Njutnovoju teoriji gravitacije mogli bismo doći do takvog rešenja jednačina koje bi nas navelo na pretpostavku da će se sve galaksije sjuriti, pod dejstvom uzajamnog gravitacionog privlačenja, u jednu tačku, ili bismo mogli doći do drugačijeg rešenja, po kome bi zbog neke početne eksplozije sve galaksije morale da se udaljuju jedna od druge; ponajmanje bismo očekivali da galaksije naprosto miruju u kosmosu gde se koja zatekla.) Da bi omogućio da svemir bude statičan, Ajnštajn je odlučio da izmeni svoju teoriju. Uveo je u

jednačine jedan član koji bi morao na velikim udaljenostima davati nešto nalik na odbojnu silu, čime bi se uravnotežila privlačna sila gravitacije. U tom članu nalazi se jedna slobodna konstanta, koja je u Ajnštajnovoj statičnoj kosmologiji odredila veličinu Vaseljene i koja je zbog toga postala poznata kao kosmološka konstanta.

To je bilo godine 1917. Zbog svetskog rata, Ajnštajn nije doznao da je jedan američki astronom, Vesto Slifer (Vesto Slipher), već našao pokazatelje da se galaksije (mi ih sada tako nazivamo) veoma brzo udaljavaju jedna od druge, i da Vaseljena nije statična nego da se širi. Ovo širenje Vaseljene potvrdio je i njenu brzinu izmerio Edwin Hابل (Edwin Hubble) posle rata, koristeći novi teleskop od 100 inča (254 cm) na planini Maunt Vilson. Ajnštajn je tada zažalio što je uvođenjem kosmološke konstante osakatio svoju teoriju. Međutim, kosmološka konstanta nije se dala tako lako 'izbaciti'.

Kao prvo, nema razloga da se u Ajnštajnovu jednačine polja ne uvede neka kosmološka konstanta. Ajnštajnova teorija zasnovana je na onom načelu simetrije koje kaže da zakoni prirode ne treba da zavise od prostornog i vremenskog okvira koji mi upotrebljavamo dok proučavamo te zakone. Ali Ajnštajnova prvobitna teorija nije bila najuopštenija teorija dopuštena tim načelom simetrije. Postoji ogroman broj mogućih dopuštenih članova koji bi se mogli pridodati Ajnštajnovim jednačinama polja, a čija dejstva bi bila na astronomskim daljinama zanemarljivo mala, tako da bi se mogla bezbedno prenebreći. Ako se izuzme ta mogućnost, ostaje samo još jedan član koji bi se Ajnštajnovim jednačinama polja mogao pridodati bez narušavanja temeljnog načela simetrije u opštoj teoriji relativnosti, a koji bi bio značajan za astronomiju: onaj član u kome se pojavljuje kosmološka konstanta. Ajnštajn je 1915. godine radio pod pretpostavkom da jednačine polja treba tako odabirati da budu što je moguće jednostavnije. Iskustvo poslednjih tri četvrtine veka naučilo nas je da na takve pretpostavke gledamo bez mnogo poverenja, jer se najčešće pokazalo da svaka složenost u našim teorijama koja nije izričito zabranjena nekim načelom simetrije ili nekim drugim načelom predstavlja nešto što se, negde, stvarno pojavljuje. Otud nije dovoljno reći da je kosmološka konstanta suviše usložnjavanje. I jednostavnost, kao i sve ostalo, treba objasniti.

U kvantnoj mehanici taj problem je još gori. Raznovrsna polja koja nastanjuju naš svemir podložna su stalnim kvantnim fluktuacijama koje daju energiju čak i prostoru za koji kažemo da je prazan. Ova energija može se opaziti jedino po svojim gravitacionim dejstvima; jer energija ma koje vrste stvara i gravitaciona polja oko sebe, ali i podleže dejstvima drugih gravitacionih polja, tako da bi ta energija koja ispunjava celokupni prostor mogla značajno delovati na širenje svemira. Nismo sposobni da izračunamo koliko energije po jedinici zapremine nastaje zbog pomenutih kvantnih fluktuacija; a kad to pokušamo, upotrebom najjednostavnijih približnosti, dobije se zaključak da je posredi beskonačna vrednost. Ali ako učinimo neko bar približno razumno nagađanje o načinima na koje bi se mogle izbaciti one visokoenergetske fluktuacije zbog kojih nastaje ta beskonačnost, i onda izračunamo energiju vakuuma po kubnom metru, kubnom kilometru i tako dalje, dobijamo jednu zaista divovsku vrednost: ona je približno jedan bilion biliona biliona biliona biliona biliona biliona biliona biliona puta veća nego što bi, po opaženoj brzini širenja svemira, smela biti. Ovo je svakako, po broju nula, odnosno redova veličine, najgrozniji promašaj u proceni koji se u celokupnoj dosadašnjoj istoriji nauke dogodio.

Ako je ova energija praznog prostora pozitivna, onda ona proizvodi gravitaciono odbijanje između čestica materije na vrlo velikim udaljenostima, a tačno to je radio i onaj član koji je Ajnštajn 1917. godine uveo u svoju teoriju, a u kome je bila i kosmološka konstanta. Zato možemo smatrati da energija nastala kvantnim fluktuacijama samo daje doprinos 'ukupnoj' kosmološkoj konstanti; na širenje Vaseljene deluje samo ta ukupna, a ne zasebno ona kosmološka konstanta koju nalazimo u jednačinama polja u opštoj teoriji relativnosti, niti zasebno ona kosmološka konstanta koju nalazimo u kvantnoj energiji vakuuma. Ovim se otvara mogućnost da se problem kosmološke konstante i problem energije praznog prostora mogu međusobno poništiti. Drugim rečima, mogla bi postojati negativna kosmološka konstanta u Ajnštajnovim jednačinama polja, koja bi imala samo jedno dejstvo: naime, ona bi poništila ovu divovsku energiju vakuuma koja nastaje zbog kvantnih fluktuacija. Ali da bi ukupna kosmološka konstanta bila u skladu sa onim što znamo o širenju Vaseljene, morale bi se te dve pomenute komponente u njoj međusobno poništavati sasvim tačno u prvih 120 decimalnih mesta. Ne bismo rado dopustili da jedna takva podudarnost ostane neobjašnjena.

Već godinama se teorijski fizičari upinju da shvate kako se to poništila ukupna kosmološka konstanta, ali uzalud. Nisu našli, evo, ni do danas nikakvo uverljivo objašnjenje. Teorija struna ne samo što nije pomogla, nego je u ovoj stvari čak i odmogla. Jer, svaka od mnogobrojnih različitih teorija struna daje neku drugu vrednost za ukupnu kosmološku konstantu (i za delovanje vakuumskih kvantnih fluktuacija); u većini slučajeva, daje daleko preveliku vrednost. Kad bi ukupna kosmološka konstanta stvarno bila toliko velika, prostor bi bio tako korenito zakrivljen da ne bi nimalo ličio na dobro znani euklidovski trodimenzioni prostor u kome živimo.

Ako sve drugo propadne, bićemo vraćeni nazad na antropičko objašnjenje. Možda u nekom smislu reći postoje mnoge, raznovrsne 'vaseljene', a u svakoj drugačija vrednost kosmološke konstante. Ako bi to bilo istinito, onda jedina vaseljena u kojoj možemo očekivati da nađemo sebe jeste ona vaseljena u kojoj je ukupna kosmološka konstanta tako malena da može nastati život i započeti evolucija. Konkretnije rečeno: tamo gde bi ukupna kosmološka konstanta bila suviše velika, a ujedno i negativna, vaseljena bi projurila kroz svoj životni ciklus širenja i sažimanja tako brzo da život ne bi imao vremena da se pojavi. A tamo gde bi ukupna kosmološka konstanta bila velika i pozitivna, svemir bi se širio za večita vremena, ali bi odbojna sila, proizvedena delovanjem te iste ukupne kosmološke konstante, onemogućila da se mali delovi materije međusobno gravitaciono privuku i udruže u galaksije i zvezde u mladosti te vasseljene, pa prema tome život ne bi imao mesta na kojima bi se mogao pojavljivati. Možda je prava teorija struna ona jedna (ako je samo jedna) koja vodi do ukupne kosmološke konstante što bi bila unutar jednog srazmerno uskog raspona različitih vrednosti koje pružaju životu priliku da se pojavi.

Jedna od začuđujućih posledica ove linije razmišljanja jeste ta da nema razloga da ukupna kosmološka konstanta (dakle, ona u koju ulaze i dejstva vakuumskih kvantnih fluktuacija) bude baš tačno jednaka nuli; antropičko načelo zahteva samo da ona bude dovoljno mala da se galaksije mogu obrazovati i onda opstati milijardama godina. Zapravo, već neko vreme od astronoma stižu nagoveštaji, zasnovani na osmatranjima, da ukupna kosmološka konstanta nije ravna nuli nego da je mala i pozitivna.

Jedan od tih nagoveštaja stiže nam iz znamenitog problema 'nedostajuće mase'. Najprirodnija vrednost za gustinu mase u Vaseljenu (i ujedno vrednost koju zahtevaju

danas popularne kosmološke teorije) jeste ona koja bi dopuštala - ali samo malo, jedva dopuštala - da se svemir nastavi širiti večno. Ali ta vrednost je nekih pet do deset puta veća od onoga što zajedno daju mase svih postojećih jata galaksija. (Kolika je ta masa, to zaključujemo na osnovu kretanja galaksija u tim jatima.) Nedostajuća masa lako bi mogla biti tamna materija neke vrste, ali postoji još jedna mogućnost. Kao što je već pomenuto, dejstvo pozitivne kosmološke konstante u dlaku je isto kao i dejstvo ujednačene i postojane gustine energije, što opet, po Ajnštajnovoj slavnoj relaciji između energije i mase, jeste isto što i ujednačena i postojana gustina mase. Zato je moguće da nedostajućih 80% do 90% gustine 'mase' u kosmosu daje naprosto sama pozitivna kosmološka konstanta, a ne neka stvarna materija.

Time ja ne želim kazati da nema nikakve razlike između gustine stvarne materije u svemiru i pozitivne ukupne kosmološke konstante. Vaseljena se širi, pa, prema tome, koja god da je gustina stvarne materije danas, u prošlosti je bila veća. Za razliku od toga, ukupna kosmološka konstanta ostaje nepromenjena kroz vreme, pa zato ostaje nepromenjena i ona gustina materije kojoj ta konstanta jeste ekvivalentna. Što je veća gustina materije, brže mora biti širenje svemira, a to znači da bi brzina širenja u prošlosti bila mnogo veća ako je 'nedostajuća masa' obična materija nego ako je samo posledica kosmološke konstante i njenog delovanja.

Drugi nagoveštaj koji ukazuje na pozitivnu kosmološku konstantu dolazi od jednog problema koji je već odavno sa nama, a to je problem starosti Vaseljene. Po uobičajenim kosmološkim teorijama, mi samo pogledamo koja je opažena brzina širenja Vaseljene i zaključimo da je Vaseljenu trebalo negde između sedam i dvanaest milijardi godina da se ovoliko raširi. Ali starost globularnih zvezdanih jata u našoj sopstvenoj Galaksiji obično se procenjuje na nekih dvanaest do petnaest milijardi godina. Suočavamo se sa zaključkom da bi naša Vaseljena bila mlađa od zvezdanih jata u njoj. Iz ovog paradoksa se 'vadimo' tako što uzimamo najnižu ocenjenu starost globularnih zvezdanih jata i najvišu ocenjenu starost Vaseljene. Međutim, kao što smo već videli, uvođenje neke pozitivne ukupne kosmološke konstante umesto tamne materije imalo bi za posledicu to da bismo smatrali da je u prošlosti širenje naše Vaseljene bilo sporije nego što smo to dosad, na osnovu opaženog širenja, procenjivali, pa bi, zato, naša ocena o starosti Vaseljene bila pomaknuta ka većoj vrednosti. Na primer, ako kosmološka konstanta učestvuje sa 90% u ukupnoj gustini 'mase' u kosmosu, onda čak i pri najvišim procenama o brzini današnjeg širenja Vaseljene možemo smatrati da je ona stara jedanaest, a ne samo sedam milijardi godina, tako da nepodudarnost sa starošću zvezdanih globularnih jata više ne bi bila ozbiljna.

Pozitivna kosmološka konstanta koja bi davala 80% do 90% sadašnje gustine 'mase' u Vaseljenu komotno je smeštena unutar onih granica koje bi dopustile nastanak života. Znamo da su izvesni kvazari, pa, može se pretpostaviti, i galaksije počeli da se zgušnjavaju iz Velikog praska veoma rano, dok je Vaseljena imala samo jednu šestinu svog sadašnjeg prečnika; to znamo zato što vidimo svetlost tih kvazara, svetlost čija je talasna dužina produžena šestostruko (toliki se pomak ka crvenom kraju spektra dogodio). U to vreme, gustina stvarne mase u Vaseljenu bila je šest na kub, odnosno negde oko dvesta puta veća nego sad - prema tome, kosmološka konstanta koja bi odgovarala gustini mase nekih pet do deset puta većoj nego što je gustina stvarne mase u svemiru danas ne bi mnogo uticala na formiranje galaksija tada, iako bi sprečila ikakvo formiranje galaksija u novije vreme. Dakle, vrlo približno govoreći, kosmološka

konstanta koja bi pretpostavljala gustinu 'mase' pet do deset puta veću od današnje gustine stvarne mase u Vaseljenu bila bi ono što bi i trebalo, sa antropičkog stanovišta, da očekujemo.

Na svu sreću, to je pitanje koje bi (za razliku od mnogih drugih pominjanih u ovom poglavlju) moglo već u bliskoj budućnosti da bude razrešeno astronomskim osmatranjima. Kao što smo videli, brzina širenja Vaseljene u prošlosti bila bi mnogo veća da je nedostajuća masa bila sačinjena od obične materije, a ne proistekla iz kosmološke konstante. Ova razlika u brzini širenja deluje na geometriju Vaseljene i na putanje svetlosnih zraka - štaviše, ona deluje tako da će astronomi možda uspeti to da otkriju. (Na primer, ne bi bio isti broj galaksija koje beže od nas različitim brzinama, niti bi bio isti broj galaktičkih gravitacionih sočiva - a ta sočiva jesu one galaksije koje svojim gravitacionim poljima savijaju svetlost nekih drugih, još udaljenijih objekata u tolikoj meri da mi dobijamo njihovu udvostručenu ili uvišestručenu sliku.) Zasad su rezultati osmatranja nejasni, ali na nekoliko opservatorija aktivno se radi na ovim pitanjima, pa bi trebalo uskoro da bude potvrđena ili odbačena kao netačna ta kosmološka konstanta koja daje 80% do 90% sadašnje gustine 'mase' u Vaseljenu. A takva kosmološka konstanta je tako ogromno manja od onog što bismo očekivali na osnovu procena o kvantnim fluktuacijama vakuuma da bi je bilo teško shvatiti na bilo koji način osim antropički. Prema tome, ako opažanja potvrde takvu kosmološku konstantu, tada će biti razumno da izvedemo zaključak da naše sopstveno postojanje igra značajnu ulogu u objašnjenju zašto Vaseljena jeste onakva kakva jeste.

Ja se sve nadam, ako moja nada nešto vredi, da neće biti tako. Kao teorijski fizičar, više bih voleo da se osposobimo za tačna predviđanja, a ne da izričemo neke nejasne izjave da izvesne konstante moraju biti unutar nekog raspona koji je manje-više povoljan za živa bića. Nadam se da će teorija struna stvarno dati osnovu za konačnu teoriju, a takođe se nadam da će konačna teorija imati moć predviđanja tako veliku da će pomoću nje moći da budu određene vrednosti svih prirodnih konstanti, pa i kosmološke konstante. Videćemo.

10. SUOČENJE SA KONAČNOŠĆU

Najzad, pol! Nagrada na koju se čekalo tri stoleća... Ne mogu naterati sebe da ovo shvatim. Sve izgleda tako jednostavno i obično.

Robert Peri, dnevnik, naveden u knjizi Severni pol.

Teško je zamisliti da bismo ikad mogli raspolagati neki fizičkim načelima ispod kojih ne bi stajala neka objašnjenja zasnovana na drugim, još dubljim načelima. Mnogi ljudi smatraju da se samo po sebi podrazumeva da ćemo naći beskonačni lanac uvek sve dubljih i dubljih načela. Na primer, Karl Poper (Karl Popper), patrijarh današnjih filozofa nauke, odbacuje 'zamisao o konačnom objašnjenju' i tvrdi da "svako objašnjenje može biti još dalje objašnjavano, nekom teorijom ili nekim nagađanjem sa još višim stepenom opštosti. Ne može postojati objašnjenje kome nije potrebno dalje objašnjavanje..."

Moglo bi se pokazati da su u pravu Karl Poper i mnogi drugi koji veruju da se lanac temeljnih načela produžava u beskonačnost. Ali ne bih rekao da se to može tvrditi na osnovu činjenice da konačnu teoriju još niko nije našao. Bilo bi to kao da neki

istraživač iz devetnaestog veka tvrdi da, pošto su svi raniji pohodi na Arktik, preduzimani stotinama godina, nalazili da i posle najupornijeg probijanja na sever ostaje još mnogo neistraženog leda i snega još severnije, Severni pol uopšte ne postoji, ili, bar, da će zanavek ostati nedostupan čoveku. Neka traganja, ipak, stignu do uspešnog završetka.

Čini se da je veoma rašireno uverenje da su naučnici u prošlosti često zaluđivali sebe opsenama da su već pronašli konačnu teoriju. Zamišlja se da su oni nalik na istraživača dalekog severa, čoveka po imenu Frederik Kuk (Frederick Cook), koji je 1908. godine poverovao da je stigao na Severni pol, a pokazalo se da nije. Maštarija ide ovako: naučnik smisli neku svoju složenu teorijsku shemu, proglasi da je to konačna teorija, i onda je zadržano sve dok opitni dokazi protiv nje ne postanu neoborivi; tada dođe novo pokolenje naučnika i uvidi da je njegova shema bila skroz pogrešna. Međutim, koliko je meni poznato, nijedan ugledan fizičar u ovom veku nije rekao da je otkrivena konačna teorija. Tačno je da fizičari ponekad potcene razdaljinu koja još ima da se pređe do krajnje teorije. Pamtim prognozu koju je Majklson izgovorio godine 1902, da "po svemu sudeći nije daleko dan kada će se konvergirajuće linije iz mnogih prividno dalekih oblasti razmišljanja susresti na... zajedničkom tlu". U novije doba, Stiven Hoking je, preuzimajući lukasovsku katedru za matematiku u Kembridžu (za kojom su ranije sedeli Njutn i Dirak) proglasio, u svom inauguralnom govoru, da će teorije o 'proširenoj supergravitaciji', koje su tada bile u modi, dati osnovu za nešto nalik na konačnu teoriju. Sumnjam da bi on danas to ponovio. Ali ni Majklson ni Hoking nijednog trenutka nisu rekli da je konačna teorija već dostignuta.

Ako nam istorija može poslužiti kao ikakva smernica, meni se čini da ona ukazuje na to da konačna teorija postoji. U ovom veku videli smo konvergenciju strelica objašnjenja, nalik na konvergenciju svih meridijana ka Severnom polu. Naša najdublja načela, iako još nisu konačna, postajala su stalno sve jednostavnija i ekonomičnija. Videli smo tu konvergenciju ovde u objašnjenjima o komadu krede; gledao sam takvu konvergenciju i ja, tokom mnogih godina moje karijere u fizici. Kad sam bio postdiplomac, morao sam naučiti ogromnu količinu informacija o slabom međudejstvu i o jakom međudejstvu elementarnih čestica. Danas studenti elementarne fizike čestica nauče standardni model, kao i jednu dobru količinu matematike, i - mnogi od njih - malo šta drugo. (Profesori fizike ponekad sa zgražanjem pominju koliko malo studenti znaju o stvarnim pojavama u fizici elementarnih čestica, ali pretpostavljam da su oni koji su meni predavali fiziku na Kornelu i u Prinstonu takođe sa zgražanjem pričali koliko ja pojma nemam o atomskoj spektroskopiji.) Veoma je teško zamisliti kako bi dalja regresija ka sve temeljnijim teorijama mogla davati rezultate sve jednostavnije i sve objedinjenije, a da se strelice objašnjenja negde ne susteknu u jednu tačku.

Zamislivo je, ali nije verovatno, da lanci objašnjenja i sve osnovnijih teorija niti idu u beskonačnost niti se negde prekidaju. Treću mogućnost nudi kembridžski filozof Majkl Redhed (Michael Redhead) koji izlaže zamisao da oni možda prave zaokret i vraćaju se sami u sebe. On zapaža da u ortodoksnom kopenhagenskom tumačenju kvantne mehanike mora postojati makroskopski svet posmatrača i njihovih mernih instrumenata, koji onda biva objašnjen u terminima kvantne mehanike. Ovo gledište, rekao bih ja, samo je još jedan primer onoga što nije u redu sa kopenhagenskim tumačenjem kvantne mehanike, a naročito sa njenom razlikom u tretiranju kvantnih pojava i posmatrača koji gledaju kvantne pojave. U realističkom pristupu kvantnoj mehanici (koji nude Hju Everet i drugi), postoji samo jedna kvantna funkcija koja opisuje

sve pojave, kako posmatrače tako i ono što oni posmatraju, a temeljni zakoni jesu oni zakoni koji opisuju razvoj te talasne funkcije.

Još korenitija je zamisao da ćemo na samom dnu naći da nema nikakvog zakona. Moj prijatelj i učitelj Džon Viler ponekad je govorio da možda nema nikakvog temeljnog zakona, i da su svi ovi zakoni koje mi danas proučavamo nametnuti prirodi samim načinom na koji mi vršimo osmatranja. Po nešto drugačijim linijama razmišljanja ide kopenhagenski teoretičar Holger Nilsen (Holger Nielsen) koji je predložio 'nasumičnu dinamiku' prema kojoj mi možemo da pretpostavimo šta god hoćemo o prirodnim pojavama koje se dešavaju na vrlo malim razdaljinama i pri vrlo visokim energijama - pojave koje su nam u laboratoriji dostupne izgledaće otprilike isto.

Meni se čini da i Viler i Nilsen samo odguruju problem konačnih zakona malo dalje od sebe. Vilerovom svetu bez zakona ipak bi bili potrebni metazakoni koji bi određivali na koji to način naša osmatranja 'nameću' prirodi izvesne pravilnosti; među tim metazakonima našla bi se i sama kvantna mehanika. A i Nilsenu bi bili potrebni neki metazakoni da objasne kako se to izgled prirode menja kad god mi u laboratoriji izmenimo skalu razdaljina i energija pri kojima ćemo vršiti merenja; da bi se to moglo ostvariti, morale bi biti na snazi izvesne jednačine koje se zovu 'jednačine renormalizacionih grupa', a stvarno je teško videti otkud bi one mogle ući u svet bez zakona. Očekujem da će svi pokušaji da se ukinu temeljni zakoni prirode propasti, a ako neki od njih bude imao makar i najmanjeg uspeha, ishod će samo biti uvođenje nekih metazakona koji će objašnjavati otkud se pojavilo ono što sada nazivamo zakoni.

Postoji, ipak, još jedna mogućnost. Rekao bih da je daleko verovatnija i da bi trebalo da nas zabrinjava daleko više. To je mogućnost da iako postoji konačna teorija - naime, jedan jednostavan skup načela iz kojih sve strelice objašnjenja polaze - mi nju nikada nećemo doznati. Na primer, moguće je da ljudska bića naprosto nisu dovoljno inteligentna da otkriju ili da razumeju tu teoriju. Vi možete psa izdresirati da radi svašta, ali nešto mi se baš ne čini da će iko ikada izdresirati svog psa da pomoću kvantne mehanike izračuna neke atomske energetske nivoe. Najbolji razlog za nadu da je naša vrsta intelektualno sposobna da nastavi napredovanje u nauci jeste naša čudesna sposobnost da pomoću nauke spregnemo svoje mozgove u veću celinu. Ali to možda neće biti dovoljno. Eugen Vigner je upozorio da "nemamo prava da očekujemo da naš intelekt može formulisati savršene koncepte za puno razumevanje pojava nežive prirode". Zasad, na sreću, kao da još nismo dogurali do krajnjih granica naših intelektualnih resursa. U fizici, bar, imamo utisak da je svako sledeće pokolenje postdiplomaca blistavije od prethodnog.

Daleko preča briga koja nas mori jeste ta da zbog nedostatka para može doći do prekidanja naših napora usmerenih ka otkrivanju konačnih zakona. Neki nagoveštaj ovog problema dobili smo kad se nedavno vodila rasprava u Sjedinjenim Državama da li superkolajder treba dovršiti ili ne. Taj trošak, ukupno osam milijardi dolara, razvučen na celu jednu deceniju, naša zemlja svakako može podneti, ali čak ni sami fizičari visokih energija ne bi rado predlagali neki još mnogo skuplji akcelerator u budućnosti.

Kad ostavimo iza sebe ona pitanja o standardnom modelu na koja očekujemo da ćemo dobiti odgovor od superkolajdera, suočavamo se sa jednim dubljim nivoom pitanja, o ujedinjenju jakog, elektroslabog i gravitacionog međudejstva, a tu nam ne može neposredno pomoći nijedan akcelerator sada zamisliv.

Ona zaista temeljna energija, Plankova, na kojoj bi se sva ta pitanja mogla opitno istražiti, viša je za nekih sto biliona puta od energije koju bi nam davao superprovodni superkolajder. Očekujemo da se tek pri Plankovoj energiji sve sile prirode konačno objedinjuju. To je, takođe, otprilike ona energija koja je po današnjim teorijama struna potrebna da se strune pobude da počnu vibrirati na sledećim, višim modovima, iznad onog najnižeg moda koji opažamo kao obične kvarkove, fotone i druge čestice standardnog modela. Nažalost, izgleda da su takve energije beznadno izvan našeg dohvata. Čak i kad bi svi ekonomski resursi celog ljudskog roda bili posvećeni samo tom jednom zadatku, ne bismo mogli početi jer ne bismo, danas, znali ni kako da počnemo izgradnju mašine koja bi mogla ubrzati čestice do takvih energija. Nije problem nabaviti toliku količinu energije; Plankova energija približno je jednaka onoj količini hemijske energije koju imate u punom rezervoaru benzina u vašem automobilu. Problem je kako svu tu energiju usredsrediti u jedan jedini proton ili elektron. Možda ćemo mi smisliti neki sasvim drugačiji način izgradnje takvih akceleratora - recimo, tako što bi se upotrebom jonizovanih gasova pomogao prenos energije sa moćnih laserskih zraka na pojedinačne naelektrisane čestice, ali čak i tada, stopa međusobnog reagovanja čestica pri tako visokim energijama mogla bi biti odveć mala, te se opiti ne bi mogli obavljati. Veći su izgledi da nas neki dalji proboji u teoriji, ili opiti neke druge vrste, oslobode potrebe da gradimo sve jače i jače ubrzivače čestica.

Ja lično sklon sam da pretpostavim da postoji konačna teorija, kao i da smo mi sposobni da je otkrijemo. Možda će opiti na superkolajderu dati takva prosvetljujuća nova obaveštenja da će posle njih teoretičari biti u mogućnosti da upotpune konačnu teoriju, a da ne moraju proučavati čestice pri Plankovoj energiji. Moglo bi se čak desiti da kandidata za takvu konačnu teoriju nađemo među današnjim teorijama struna.

Kako bi to čudno bilo kad bi se konačna teorija pronašla još u našem životnom veku! Otkriće konačnih zakona prirode biće jedna prekretnica u istoriji ljudskog intelekta, приметnija od ma koje druge od kad je, u sedamnaestom veku, počela moderna nauka. Možemo li mi sada dočarati sebi kako bi to izgledalo?

Iako nije teško zamisliti jednu konačnu teoriju koja nema nikakvo dalje objašnjenje dato nekim još dubljim načelima, vrlo je teško zamisliti konačnu teoriju kojoj takvo objašnjenje nije potrebno. Kakva god bila, konačna teorija svakako neće biti logički neizbežna. Čak i ako se, recimo, pokaže da je to jedna od teorija struna i da se može izraziti sa samo nekoliko jednostavnih jednačina, i čak i ako budemo mogli pokazati da je to jedina moguća kvantnomehanička teorija sposobna da opiše i gravitaciju i sve ostale sile, a da pri tome ne zapadne ni u kakve matematičke nedoslednosti, mi ćemo i dalje morati da se pitamo zašto uopšte postoji, u prirodi, jedna takva stvar kao što je sila teže, i zašto bi priroda poštovala zakone kvantne mehanike. Zašto se Vaseljena ne sastoji naprosto od tačkastih čestica koje večno orbituju po zakonima Njutnove mehanike? Zašto, uopšte, postoji išta? Redhed verovatno izražava uverenje većine naučnika kad kaže da "nekakav a priori dat, samopotvrđujući temelj nauke, kao cilj prema kome bismo stremili, nije uverljiv".

S druge strane, Viler je jednom primetio da ćemo se, kad stignemo do konačnih zakona prirode, zapitati zašto nam nisu bili sami po sebi očigledni još od početka. Slutim da bi Viler mogao biti u pravu, ali samo zato što ćemo do tad imati iza sebe vekove naučnih uspeha i neuspeha, tako da ćemo biti osposobljeni da uvidimo koliko su ti zakoni sami po sebi očigledni i jasni. Pa čak i tada, mislim da će staro pitanje 'Zašto?' ostati, u

makar kako razređenom obliku, sa nama. Harvardski filozof Robert Nozik rva se sa ovim problemom i zaključio da konačnu teoriju ne bi trebalo da tražimo samo na osnovu čiste logike, nego da bi trebalo i da pronalazimo neke argumente zahvaljujući kojima bi nam ta teorija dala veće zadovoljstvo nego što ga same surove činjenice mogu dati.

Po mom uverenju, najbolje što bismo u tom smislu mogli učiniti bilo bi da pokažemo da konačna teorija, iako nije logički neizbežna, jeste logički izdvojena. Naime, moglo bi se dogoditi da, iako ćemo uvek biti u stanju da zamislimo druge teorije koje su sasvim različite od prave konačne teorije (jedna takva je dosadni svet čestica pod komandom Njutnove mehanike), konačna teorija koju najzad otkrijemo bude tako kruta da nema baš nikakvog načina da je makar i u najmanjoj meri preinačimo, a da to ne dovede do njenog logičkog kraha. U jednoj logički izdvojenoj teoriji, svaka konstanta prirode mogla bi se izračunati iz prvih načela; makar i najmanja promena u vrednosti bilo koje konstante uništila bi saglasnost teorije. Ta konačna teorija bila bi kao fino izrađeni porcelanski predmet koji, ako ga podvrgnete nekom uvrtanju, mora da se rasprsne u paramparčad. U ovom slučaju, iako možda ni tada nećemo znati zbog čega je konačna teorija istinita, znaćemo na osnovu čiste matematike i logike zašto ta istina nije malčice drugačija.

Ovo nisu samo mogućnosti - već smo dobro odmakli na putu ka takvoj logički izolovanoj teoriji. Najtemeljnija poznata načela fizike jesu pravila kvantne mehanike, koja leže ispod svega drugog što znamo o materiji i njenim međudejstvima. Kvantna mehanika nije logički neizbežna; ne primećuje se ništa logički nemoguće u njenoj prethodnici, mehanici Njutna. Pa ipak, čak ni najvećim trudom fizičari nisu našli način da promene pravila kvantne mehanike makar i najmanje, a da pri tome ne izazovu neku logičku katastrofu, kao što je dobijanje verovatnoća za koje se ispostavi da su negativni brojevi.

Ali kvantna mehanika, sama po sebi, nije potpuna fizička teorija. Ona nam ne govori ništa o česticama, a ni o silama koje možda postoje. Uzmite u ruke bilo koji udžbenik kvantne mehanike; u njemu ćete naći navedene 'ilustrativne primere', ali to će biti jedno vrlo uvrnuto društvo hipotetičnih čestica i sila, od kojih velika većina ne liči ni na šta što postoji u stvarnom svetu, ali koje su sve savršeno u skladu sa načelima kvantne mehanike i sve podobne da studenta provuku kroz malo vežbanja u primenjivanju tih načela. Raznovrsnost mogućih teorija postaje znatno manja ako uzmemo u obzir samo one kvantnomehantičke teorije koje su u saglasnosti sa posebnom teorijom relativnosti. Većina tih teorija može se logički odbaciti zato što bi vodile ka raznim koještarijama kao što je beskonačna energija ili beskonačna stopa reakcija. Ali i posle toga, ostaće još mnoštvo logički mogućih teorija, među kojima je jedna teorija jakih nuklearnih sila poznata kao kvantna hromodinamika, a po kojoj u Vaseljeni ne postoji ništa osim kvarkova i gluona. Ali i većinu tih teorija možemo odmah da opovrgnemo ako insistiramo da se u njima mora pojavljivati i gravitacija. Moguće je da ćemo uspeti da matematički pokažemo da ovi zahtevi ostavljaju samo jednu logički moguću kvantnomehantičku teoriju, možda samo jednu jedinu teoriju struna. Ako bi tako bilo, onda bi nam preostala (iako bismo i dalje imali ogroman broj drugih logički mogućih krajnjih teorija) samo jedna koja opisuje nešto što makar i izdaleka liči na stvarni svet.

Zašto bi, međutim, konačna teorija opisivala nešto što liči na naš svet? Objašnjenje za ovo možda bismo mogli potražiti u nečemu što Nozik naziva načelo plodnosti. To je načelo koje govori o svim logički prihvatljivim, međusobno različitim

vaseljenama, i kaže da sve one u nekom smislu reči postoje svaka sa svojim skupom osnovnih zakona. Iza načela plodnosti ne stoji ništa, nikakvo dalje objašnjenje, ali to načelo ima, ako ništa drugo, bar jednu prijatnu doslednost samome sebi; kao što Nozik kaže, načelo plodnosti tvrdi da 'sve mogućnosti jesu ostvarene, s tim da i ono samo jeste jedna od tih mogućnosti'.

Ako je to načelo tačno, onda naš sopstveni, kvantnomehanički svet postoji, ali postoji i njutnovski svet čestica koje se beskonačno vrte po orbitama, isto tako postoje i svetovi u kojima nema baš ničega, a postoje i neki drugi svetovi koje mi ne možemo čak ni zamisliti. Nije tu reč samo o varijacijama u takozvanim konstantama prirode, koje bi mogle biti različite u raznim oblastima Vaseljene, ili u raznim epohama njenog postojanja, ili u raznim članovima talasne funkcije. Kao što smo već videli, sve te mogućnosti mogle bi se ostvariti kao posledice neke zaista temeljne teorije kao što bi bila kvantna kosmologija, ali i tad bi nam preostao problem da shvatimo zašto ta temeljna teorija jeste to što jeste. Ali načelo plodnosti ne govori o tome, ono kaže da postoje sasvim različite vasseljene, podvrgnute delovanju sasvim različitih zakona. Ali ako su te druge vasseljene potpuno nedostupne i nesaznatljive, onda stižemo do zaključka da naša izjava da one postoje nema nikakvih posledica, osim jedne, a to je da ne moramo sebi više postavljati pitanje zašto one ne postoje. Meni se čini da je ovde problem u tome što se trudimo da logički razmatramo jedno pitanje koje se, zapravo, ne može logički razmatrati, a to je pitanje šta bi trebalo, a šta ne bi trebalo da pobuđuje u nama osećanje čudesnog.

Načelo plodnosti dalo bi nam još jednu mogućnost da opravdamo upotrebu antropičkog načela u cilju lakšeg objašnjavanja zašto zakoni naše Vaseljene jesu takvi kakvi jesu. Bilo bi, naime, mnogo zamislivih vrsta svemira koji zbog svojih zakona ili zbog svoje istorije nisu mesta gostoljubiva za postojanje inteligentnog života, ali bi neizbežno moralo biti da svaki naučnik koji postavlja pitanja zašto je svet onakav kakav jeste živi, naravno, u jednom od onih drugih, gostoljubivijih svemira, u kome inteligentna živa bića mogu nastati. Na taj način možemo odmah odbaciti vasseljenu kojom bi vladala njutnovska mehanika (jer u njoj ne bi postojali stabilni atomi), kao i svemir u kome nema baš ničega.

Krajnja mogućnost bila bi da postoji samo jedna jedina logički izdvojena teorija (i to takva da u njoj ne postoji ni jedna jedina nedeterminisana konstanta) koja dopušta nastanak živih bića koja bi se mogla pitati kako izgleda konačna teorija. Ako bi se to moglo pokazati, onda bismo se primakli najbliže što se uopšte možemo nadati da se primaknemo zadovoljavajućem odgovoru na pitanje zašto svet jeste takav kakav jeste.

Kakvo bi bilo dejstvo otkrića jedne takve konačne teorije? Naravno, kakvo će to dejstvo zaista biti saznaćemo kad je otkrijemo. Možda ćemo otkriti neke istine o vladavini svetom koje će nas jednako iznenaditi kao što bi zakoni Njutnove mehanike iznenadili Talesa. Ali možemo biti sigurni u jedno: otkrićem konačne teorije, naučni poduhvat ne bi bio okončan. Čak i ako izuzmemo probleme koje treba proučavati zbog praktičnih potreba tehnologije ili medicine, ostaće mnoštvo problema čiste nauke na kojima ćemo raditi i dalje, naprosto zato što naučnici očekuju da će za te probleme postojati divna rešenja. Ako od svih današnjih nauka pogledamo samo fiziku, odmah ćemo uočiti pojave kao što su turbulencija i superprovodljivost pri visokim temperaturama, probleme za koje možemo očekivati da imaju duboka i divna objašnjenja. Niko ne zna kako su se galaksije stvarale ili kako je nastao genetski mehanizam ili kako

se u mozgu čuvaju upamćene informacije. Nije verovatno da bi konačna teorija uticala na ma koji od tih problema.

S druge strane, otkriće konačne teorije može imati posledice koje bi se prenele daleko izvan granica nauke. Danas je svest mnogih ljudi opterećena raznim iracionalnim zabludama, koje se kreću u rasponu od srazmerno bezazlenih sujeverica kao što je astrologija, pa sve do najopakijih ideologija. Činjenica da su temeljni zakoni prirode još i sad u mraku olakšava ljudima da se nadaju da će jednog dana njihove omiljene iracionalnosti naći neko ugledno mesto u zdanju nauke. Bilo bi nerazumno očekivati da ma kakvo naučno otkriće iščisti, samo svojom snagom, sve pogrešne pretpostavke iz svesti svih ljudi, ali otkriće konačnih zakona ipak bi smanjilo ljudima prostor za izmišljanje kojekakvih gluposti.

Pa ipak, kad stigne i taj dan da otkrijemo konačne zakone, možda ćemo zažaliti što je priroda postala običnija, što je u njoj ostalo manje čudesnog i tajanstvenog. Nešto tako se već događalo. Tokom glavnine trajanja ljudske istorije, na mapama sveta zjapili su ogromni nepoznati prostori, koje je ljudska mašta mogla popunjavati zmajevima, gradovima od zlata i ljudožderima. Potraga za znanjem bila je, dobrim delom, geografska. Kada u pesmi Alfreda Tenisona (Alfred Tennyson) Odisej odluči da "krene za znanjem kao za zvezdom koja tone, s one strane najdaljih granica ljudske misli", on isplovi u neznani Atlantik, "iza Sunčevog zalaska, iza prostora gde se kupaju sve zapadne zvezde". Ali danas je na mapama prikazan svaki hektar kopnene površine Zemlje, i, gle, nigde nijednog zmaja nema. Kad budemo otkrili konačne zakone, naši snovi će se sažeti još jednom. Preostaje nam, za istraživanje, još nebrojeno mnogo naučnih problema i cela jedna Vaseljena, ali ja slutim da će naučnici iz budućih vremena pomalo zavideti današnjim fizičarima zbog toga što se mi još nalazimo na putovanju ka otkriću konačnih zakona.

11. A BOG?

"Znaš", reče Port, glasom koji zazvuča nestvarno, kao što se već dešava sa glasovima posle dugog ćutanja na mestu gle vlada potpuna tišina, "nebo je ovde vrlo čudno. Često imam osećaj, kad ga gledam, da je ono jedan čvrst predmet iznad nas, koji nas štiti od nečeg što se nalazi iza njega."

Kit malo uzdrhta i reče: "Iza njega?"

"Da."

"A šta to ima iza njega?" upita ona glasićem vrlo slabim.

"Ima... ništa. Pretpostavljam. Samo tama. Potpuna noć."

Pol Bouls, Nebo-štit

"Slavu Božiju nebesa oglašavaju, a svod nebeski Božija je rukotvorina." Kralju Davidu, ili nekom drugom ko je napisao ovaj psalm, sigurno je izgledalo da su zvezde vidljiv dokaz da postoji jedan savršeniji poredak postojanja, bitno različit od našeg tupog podlunarnog sveta sa kamenjem, stenama i drvećem. Dani Davidovi su minuli, a Sunce i ostale zvezde izgubili su taj svoj poseban status; sad razumemo da su to kugle užarenog gasa, koji je silom teže stisnut da se drži na okupu, a opet sprečen da se sasvim uruši ka svom središtu zato što mu to ne dozvoljava pritisak nastao zbog jare koja neprestano stiže

iz termonuklearnih reakcija u jezgru kugle. Zvezde nam o slavi Gospodnjoj ne javljaju ništa više, a ni manje, nego bilo koji kamen na tlu pokraj nas.

Kad bi postojalo išta što bismo u prirodi mogli otkriti, a što bi nam zaista omogućilo neki poseban uvid u 'rukotvorinu Boga', morali bi to da budu konačni zakoni. Kad bismo ih znali, imali bismo u svom vlasništvu knjigu sa pravilima koja određuju ponašanje i zvezda, i kamenja, i svega drugog. Prema tome, prirodno je da Stiven Hoking kaže da zakoni prirode jesu 'um Božiji'. Drugi jedan fizičar, Čarls Misner (Charles Misner), upotrebio je sličan jezik kad je upoređivao moguće domašaje fizike i hemije: "Organski hemičar, kad ga neko pita 'Zašto postoje devedeset dva elementa, i kad su oni nastali?' može reći: 'To zna onaj čovek u kancelariji do moje'. Ali kad fizičara pitaju: 'Zašto je kosmos sazdan u skladu sa baš ovim fizičkim zakonima, a ne u skladu sa nekim drugim?' on bi imao puno pravo da odgovori: 'Sam Bog zna.'" Ajnštajn je jednom napomenuo svom asistentu Ernstu Štrausu (Ernst Straus): "Ono što mene stvarno zanima jeste da li je Bog, stvarajući svet, imao ikakav izbor." Drugom prilikom, Ajnštajn je rekao da je cilj pregalaštva u fizici "ne samo da saznamo kakva priroda jeste i kako ona obavlja svoje izmene, nego i da napredujemo što je moguće dalje prema utopijskom i prividno oholom cilju da saznamo zašto je priroda ovakva, a ne drugačija... U tome čovek iskustveno doživi da, izraziću se tako, ni sam Bog nije mogao urediti ove veze ni na koji drugi način osim ovog koji stvarno postoji... To je taj prometejski element naučnog iskustva... U tome je za mene oduvek ležala posebna magija naučnog truda." Ajnštajnova religija bila je tako neodređena da je on, koliko ja shvatam, to o Bogu govorio samo metaforično, što nam i nagoveštavaju njegove reči "izraziću se tako". Nema sumnje da fizičarima baš ta metafora prirodno dođe na um, zato što je fizika tako temeljna nauka. Teolog Paul Tillich (Paul Tillich) jednom je napomenuo da se stiče utisak da od svih naučnika jedino fizičari koriste bez ikakve nelagodnosti reč 'Bog'. Kojoj god religiji da pripadate ili ne pripadate, neodoljivo vam se nameće, kad govorite o konačnim zakonima, metafora o umu Božijem.

Ja sam jednom prilikom naišao na ovu vezu na jednom čudnom mestu, u kancelarijskoj zgradi 'Rejbern Haus' u Vašingtonu. Tamo sam godine 1987. svedočio u prilog projektu superprovodnog superkolajdera pred Kongresnim Odborom za nauku, svemir i tehnologiju. Opisao sam kako mi u proučavanjima elementarnih čestica otkrivamo zakone koji postaju sve koherentniji i sve opštiji, i kako počinjemo naslućivati da to nije puka slučajnost nego da u tim zakonima postoji neka lepota koja je odraz nečega što je na vrlo dubokom nivou ugrađeno u strukturu Vaseljene. Posle tog mog govora, svedočili su i drugi, a poslanici Kongresa su postavljali pitanja. Onda je započeo dijalog između dvojice kongresmena, a to su bili poslanik Haris V. Fouel (Harris W. Fawell), republikanac iz Ilinoisa, koji je bio uglavnom pozitivno raspoložen prema projektu superprovodnog superkolajdera, i poslanik Don Riter (Don Ritter), republikanac iz Pensilvanije, ranije inženjer metalurgije, koji je i sada jedan od najžešćih protivnika superkolajdera u Kongresu.

FAUEL: ...Mnogo vam hvala. Cenim svedočenje svih vas. Mislim da je bilo izvrsno. Ako bih ikada pozeleo da objasnim nekome, ili svakome, razloge zašto je superprovodni superkolajder potreban, siguran sam da bih mogao upotrebiti ova vaša svedočenja. Ona bi veoma pomogla. Ponekad poželim da imamo neku reč, samo jednu, koja bi rekla sve o toj temi, što je, naravno, u nekom smislu nemoguće. Mislim da ste vi,

doktore Vajnberg, možda prišli malo bliže tome, a ja sam tako i zapisao. Rekli ste da slutite da nije samo slučajnost to što postoje pravila koja vladaju materijom, a ja sam zapisao: hoće li nam to omogućiti da nađemo Boga? Siguran sam da vi niste to imali na umu, ali vaša istraživanja svakako će nam omogućiti da doznamo mnogo više o Vaseljani.

RITER: Da li biste dali reč meni? Ako biste prepustili na trenutak reč meni, ja bih rekao...

FAUEL: Pa, nisam siguran da bih želeo.

RITER: Ako ova mašina to radi, ja ću preokrenuti moj stav i podržati je.

Imao sam dovoljno pameti da se ne umešam u ovu raspravu; nije mi se činilo da ta dvojica poslanika zaista žele znati šta ja mislim o pronalaženju Boga pomoću superkolajdera, a takođe mi se nije činilo da bi za projekat bilo korisno ako bih im rekao šta o tome mislim.

Neki ljudi imaju tako široko i prilagodljivo shvatanje Boga da neizbežno nailaze na Boga gde god ga potražuju. Čujete izjave tipa 'Bog je ono krajnje' ili 'Bog je naša bolja priroda' ili 'Bog je Vaseljani'. Naravno, mi možemo pridati reči 'Bog', kao i svakoj drugoj reči, koje god značenje hoćemo. Ako vam je volja da kažete 'Bog je energija', bez po muke ćete naći Boga u grumenu uglja. Međutim, ako želimo da naše reči išta vrede, treba da poštujemo način na koji su one korišćene tokom istorije, a naročito treba da čujemo one razlike koje sprečavaju da se prelivaju i mešaju značenja raznih reči.

U tom duhu, ako hoćemo da reč 'Bog' znači išta, trebalo bi (ako mene pitate) da ona označava jednog zainteresovanog Boga, tvorca i zakonodavca koji je uspostavio ne samo zakone prirode i svemira nego i merila dobra i zla - ukratko, nešto čemu dolikuje da ga mi obožavamo. Valjda je samo po sebi jasno da ja ovde govorim samo u svoje lično ime i da se odričem svih težnji da sam za ovu oblast, dakle za Boga, nešto posebno stručan. To i jeste onaj Bog koji je bio od izvesne važnosti mnogim ljudima tokom istorije. Naučnici, a i neki koji to nisu, ponekad koriste reč 'Bog' u tako apstraktnom i neutralnom smislu da stvarno ne primećujete u čemu je razlika između Njega i zakona prirode. Ajnštajn je jednom prilikom rekao da veruje u "Spinozinog Boga, koji se ispoljava kroz poredak i sklad svega postojećeg, a ne u nekog Boga koji bi se zanimalo za sudbine i poslove ljudskih bića". Ali zašto bi onda ikome bilo važno da li mi upotrebljavamo reč 'poredak' ili 'Bog' ili 'sklad', osim ako želimo, možda, izbeći optužbu da ne znamo za Boga? Nema, naravno, nikakve zabrane da ko god hoće koristi reč 'Bog' i tako, ali meni se čini da onda pojam Boga postaje ne samo pogrešan, nego i nebitan, nevažan.

Hoćemo li naći nekog zainteresovanog Boga u konačnim zakonima prirode? Čini se da je i samo postavljanje takvog pitanja prilično besmislica, ne samo zato što mi njih još ne znamo, nego mnogo više stoga što je teško i zamisliti kako bi to bilo doznati neka konačna načela kojima nije potrebno nikakvo dalje objašnjavanje pomoću još dubljih načela. Pa ipak, koliko god da je to pitanje preuranjeno, ne možemo se ne zapitati hoćemo li ili nećemo otkriti neki odgovor na naša najdublja pitanja, ikakav znak o radu jednog zainteresovanog Boga, u konačnoj teoriji. Ja mislim da nećemo.

Celokupno naše iskustvo od samog početka istorije nauke pa sve do danas išlo je u suprotnom smeru, ka uviđanju jedne ledene bezličnosti zakona prirode. Prvi veliki korak u tom smeru bilo je skidanje vela tajanstvenosti sa nebesa. Svako zna ključne ličnosti u tom poslu: Nikola Kopernik koji je izneo tvrdnju da Zemlja nije u središtu Vaseljene; Galilej koji je Kopernikovo tvrdnji dao uverljivost; Đordano Bruno koji se dosetio da je Sunce samo jedna zvezda u ogromnom mnoštvu drugih zvezda; i najzad Njutn koji je pokazao da isti zakoni gravitacije i kretanja važe i za nebeska tela i za tela ovde na Zemlji. Mislim da je presudni čas nastupio kad je Njutn opazio da jedan isti zakon sile teže upravlja i kruženjem Meseca oko Zemlje i padanjem nekog predmeta na površinu Zemlje. A u dvadesetom veku, još korak dalje otišao je američki astronom Edvin Habl. On je izmerio daljinu do magline Andromeda, i time pokazao da ta maglina, pa onda (logički proističe) i hiljade drugih sličnih maglina nisu samo daleki delovi naše Galaksije, nego su druge, samostalne galaksije, podjednako upečatljive kao što je naša. Današnji kosmolozi čak pominju 'kopernikansko načelo' koje nas uči da ne treba uzimati za ozbiljno nijednu kosmološku teoriju koja dodeljuje našoj Galaksiji neko istaknuto mesto u Vaseljenu.

Takođe je skinut oreol tajanstvenosti sa života. Justus fon Libig (Justus von Liebig) i drugi organski hemičari sa početka devetnaestog veka pokazali su ljudima da nema nikakvih prepreka da u laboratoriji sintetizujemo izvesne hemikalije koje su u vezi sa životom - na primer, mokraćnu kiselinu. Ponajvažniji među biologima bili su, u ovom pogledu, Čarls Darvin i Alfred Rasel Volis koji su pokazali kako samim prirodnim odabiranjem, bez spoljašnjeg plana ili rukovođenja, nastaju i razvijaju se predivne sposobnosti živih bića. Taj proces razotkrivanja tajni još se ubrzao u dvadesetom veku, sve novim i novim uspesima koje su biohemija i molekularna biologija postizale u objašnjavanju kako dejstvuju živa stvorenja.

Na verska osećanja mnogo jače je delovala demistifikacija života nego bilo šta što je postignuto u fizici. Otud nije ni čudo da su najuporniji napadi ustremljeni, i do danas, na teoriju evolucije i na biološki redukcionizam, a ne na razna otkrića u fizici i astronomiji.

Čak i od pojedinih naučnika možete danas čuti poneku primedbu koja liči na takozvani 'vitalizam', teoriju da postoje i neki biološki procesi koje ne možemo objasniti pomoću fizike i hemije. Biolozi dvadesetog veka (pa i pojedini antiredukcionisti, kao što je Ernst Mejr) uglavnom su gledali da se klone vitalizma, ali godine 1944. desilo se da Ervin Šredinger u svojoj čuvenoj knjizi Šta je život? kaže da je "o materijalnoj podlozi života poznato već tako mnogo, da mi možemo tačno reći zbog čega se život ne može objasniti današnjom fizikom". Njegov argument bio je da su živi organizmi odveć stabilni da bi se mogli uklopiti u svet neprestanih kvantnih fluktuacija kakav opisuju kvantna mehanika i statistička mehanika. Na Šredingerovu pogrešku ukazao je molekularni biolog Maks Perac (Max Perutz) koji je otkrio, između ostalog, tačnu molekularnu strukturu hemoglobina: Šredinger naprosto nije imao u vidu veliku stabilnost koju mogu doneti procesi kao što je enzimska kataliza.

Najugledniji među današnjim akademskim kritičarima evolucije možda je profesor Filip Džonson (Phillip Johnson) koji predaje na Pravnom fakultetu Univerziteta Kalifornija. Džonson priznaje da se evolucija dogodila i da do nje ponekad dolazi zbog prirodnog odabiranja, ali tvrdi da "nema neoborivih opitnih dokaza" da tu evoluciju ipak ne usmerava neki Božiji plan. Naravno, mi se ne možemo nadati da ćemo ikada dokazati

da ne postoji neko natprirodno dejstvo koje potpomaže da neke mutacije postignu uspeh, a neke druge da propadnu. Ali isto važi i za sve ostale naučne teorije. Koliko god da uspešno primenjujemo Njutnove ili Ajnštajnovе zakone kretanja na tela u Sunčevom sistemu, ostaje uvek moguća pretpostavka da neki Božiji upliv ponekad malčice 'pogura' neku kometu dok mi ne pazimo. Prilično je jasno da Džonson iznosi takve tvrdnje ne iz razloga nepristrasnosti i otvorenosti uma, nego zato što, zbog svojih religijskih osećanja, veoma mnogo mari za život, dok mu je do kometa manje stalo. Ali jedini način da se nastavimo baviti ma kojom naukom jeste da pretpostavimo da nikakvih Božijih upliva nema, pa da vidimo dokle ćemo na osnovu te pretpostavke dogurati.

Džonson tvrdi da prirodna evolucija, dakle "evolucija u kojoj se ne pojavljuje intervencija niti ma kakvo rukovođenje od strane Tvorca koji stoji izvan sveta prirode", zapravo, ne daje osobito dobro objašnjenje za poreklo vrsta. Mislim da je on ovde zalutao zato što nema osećanje za one probleme na koje svaka naučna teorija uvek nailazi kad treba objasniti opaženo. Čak i kad izuzmemo obične greške koje uvek mogu da nam se dogode, ostaje činjenica da su naša izračunavanja i posmatranja uvek zasnovana na nekim pretpostavkama koje sežu dalje nego teorija koju pokušavamo proveriti. Nije još postojalo doba u kome bi sva izračunavanja zasnovana na Njutnovoј teoriji gravitacije, ili na bilo kojoj drugoj teoriji, bila u savršenom skladu sa opaženim činjenicama. U spisima današnjih paleontologa i evolucionih biologa prepoznajemo ono stanje stvari koje je nama fizičarima tako dobro znano: oni imaju jednu teoriju sa kojom rade (prirodnu teoriju evolucije) i postižu ogromne, blistave uspehe, ali ona još nije objasnila sve. Meni se čini da je od duboke važnosti otkriće da mi možemo veoma daleko stići u objašnjavanju sveta bez ikakvog pozivanja na Božiji upliv, i to u biologiji i u fizici.

U jednoj drugoj stvari Džonson je, ubeđen sam, u pravu. On tvrdi da postoji nespojivost između prirodne teorije evolucije i onoga što se obično podrazumeva pod verom. On kritikuje naučnike i predavače koji poriču tu nespojivost. Zatim se žali da je "prirodna evolucija u skladu sa postojanjem Boga samo u jednom slučaju: ako nama reč 'Bog' označava samo jedan prauzrok koji je postavio zakone prirode i pustio u pokret prirodne mehanizme, a onda se uzdržao od svake dalje delatnosti".

Nesklad između savremene teorije evolucije i vere u zainteresovanog Boga prema mom mišljenju nije toliko logički - jer čovek može zamisliti da je Bog postavio prirodne zakone, a onda pokrenuo mehanizam evolucije sa namerom da se putem prirodnog odabiranja pojavimo jednoga dana Vi i ja - koliko je to nesklad u temperamentu. Jer religija nije nastala u umovima muškaraca i žena koji su nagađali nešto o beskonačno dalekovidom prauzročniku svih stvari, nego je nastala u srcima onih koji su čeznuli za stalnim uplivima zainteresovanog Boga.

Religijski konzervativci shvataju, a njihovi liberalni oponenti izgleda da često ne shvataju, koliko mnogo toga zavisi od rasprave o držanju nastave o evoluciji u državnim školama. Godine 1983, ubrzo po mom dolasku u Teksas, pozvali su me da svedočim pred jednim odborom Senata te savezne države o jednom predloženom zakonu koji bi zabranio da srednjoškolski nastavnici biologije drže nastavu iz udžbenika štampanih o državnom trošku, ukoliko u tim knjigama kreacionizmu nisu dati jednak prostor i jednaka podrška kao i teoriji evolucije. Jedan od članova tog Odbora pitao me je kako može država podržavati školsku nastavu u kojoj se zastupa jedna teorija koja deluje na verska ubeđenja do te mere razorno kao što to čini teorija evolucije. Ja sam uzvratio da, baš kao što bi bilo pogrešno da oni koji su emotivno vezani za ateizam daju evoluciji više

naglasaka u nastavi biologije nego što je naučno opravdano, isto tako bi bilo pogrešno, i nesaglasno sa prvim amandmanom Ustava SAD, dati evoluciji manje prostora nego što ona zaslužuje, a to učiniti samo zato da bi se zaštitilo neko religijsko verovanje. Naprosto, nije posao državnih škola da se brinu kako će naučne teorije delovati na verska ubeđenja. Moj odgovor nije zadovoljio tog senatora, zato što je njemu bilo jasno, baš kao i meni, kakav će biti učinak nastave iz biologije koja u prikladnoj meri stavlja naglasak na teoriju evolucije. Dok sam ja izlazio iz odborske sale, taj senator je progundao: "Bog je još i sad na nebu, u svakom slučaju." To može biti tačno, ali mi smo dobili bitku: u knjigama iz biologije za srednjoškolce u Teksasu danas ne samo da je dozvoljeno nego je i obavezno da bude izložena moderna teorija evolucije, bez ikakvih kreacionističkih gluposti. Ali ima na svetu mnogo mesta (naročito u islamskim državama) gde tu bitku tek treba dobiti i gde, ako je i dobijemo, nema nikakvih jemstava da će ostati dobijena.

Često se čuje tvrdnja da nema sukoba između nauke i religije. Na primer, u jednom prikazu Džonsonove knjige Stiven Gould kaže da nauka i religija ne dolaze u sukob zato što "nauka tretira činjeničnu stvarnost, a religija ljudsku moralnost". Ja se u mnogo čemu slažem sa Gouldom, ali mislim da je ovde otišao predaleko: smisao religije treba odrediti na osnovu onoga u šta religiozni ljudi zaista veruju, a velika većina religioznih ljudi u današnjem svetu grdno bi se iznenadila kad bi im neko kazao da religija nema veze sa činjeničnom stvarnošću.

Ali to Gouldovo gledište veoma je rašireno među današnjim naučnicima i među verskim liberalima. Meni se čini da ovo znači jedan veliki uzmak religije sa položaja na kojima je nekada bila ušančena. Bejahu nekada neka vremena u kojima kao da nisi mogao objasniti prirodu bez po jedne nimfe u svakom potoku i gorske vile u svakom stablu drveta. Čak i u devetnaestom veku još se verovalo da način na koji su građene biljke i životinje jeste vidljivi dokaz postojanja Tvorca. Danas, iako u prirodi ima još bezbroj stvari koje ne možemo objasniti, mi verujemo da poznajemo načela koja upravljaju dejstvom prirode. Danas ko hoće stvarnu tajanstvenost, mora se okrenuti kosmologiji i fizici elementarnih čestica. A oni ljudi koji ne primećuju nikakav sukob između vere i nauke - pa, za njih je povlačenje vere sa teritorije koju je zaposela nauka gotovo sasvim dovršeno.

Oslanjajući se na istorijsko iskustvo, ja bih rekao da ćemo mi naći lepotu u konačnim zakonima prirode, ali ne i neki poseban status života ili inteligencije. A naročito ne neka merila vrednosti ili morala. Prema tome, nećemo naći ni ma kakav nagoveštaj Boga kome bi bilo stalo do takvih stvari. Možemo nalaziti vrednost i moral negde drugde, ali ne u zakonima prirode.

Moram priznati da se ponakad stiče utisak da u prirodi ima mnogo više lepote nego što je stvarno neophodno. Ispred prozora radne sobe u mojoj kući stoji jedno stablo hekberi drveta, na kome često zasedaju horovi ptica pametnica: tu vidim plave sojke kreštalice, zatim vireo-ptice sa žutim grlom, a naiđe i crvena ptica kardinal. Iako prilično dobro razumem kako su pera blistavih boja evoluirala u takmičenju za privlačenje partnera za sparivanje, maltene je neodoljiva maštarija da je neko načinio i raširio svu tu lepotu naprosto zato da bismo je mi gledali. Međutim, Bog ptica i drveća morao bi takođe da bude i Bog urođenih mana i Bog tumora.

Religiozni ljudi se već hiljadama godina rvu sa problemom koji se naziva teodiceja: kako opravdati postojanje patnje u svetu kojim navodno vlada jedan dobar Bog. Za ovo su nalažena domišljata rešenja, u terminima raznih navodnih Božijih

planova. Neću pokušavati da se sporim sa tim rešenjima, a još manje da im dodam i nekakvo svoje rešenje. Sećanje na nacističke zločine navodi me na to da bez naklonosti gledam na sve te pokušaje da se putevi Gospodnji moralno opravdaju pred ljudima. Ako postoji neki Bog koji ima neke naročite planove za ljudski rod, onda se On veoma dobro potrudio i namučio da od nas sakrije svoju zainteresovanost za nas. Meni izgleda neučtivo, a možda i bezbožno, da jednom takvom Bogu dosađujemo našim molitvama.

Ne bi se svi naučnici saglasili sa ovim mojim sumornim gledanjima na konačne zakone. Ne znam nikoga ko bi baš otvoreno tvrdio da zna naučni dokaz o postojanju nekog božanskog bića, ali nekoliko naučnika tvrdi da inteligentna živa bića imaju u prirodi poseban status. Naravno, svako zna da se biologija i psihologija moraju, iz praktičnih razloga, proučavati u svojim sopstvenim okvirima, a ne u terminima fizike elementarnih čestica, ali to nije znak da život i inteligencija imaju u Vaseljenu neki poseban položaj; jer vi morate i hemiju ili hidrodinamiku proučavati u njihovim sopstvenim okvirima. Ako bismo, međutim, našli u konačnim zakonima prirode, na mestu konvergencije svih strelica objašnjavanja, neku posebnu ulogu namenjenu inteligentnim bićima, onda bismo morali zaključiti da je Tvorac koji je te zakone pravio bio, na neki način, posebno zainteresovan za nas.

Džon Viler je bio očaran činjenicom da po standardnom kopenhagenskom tumačenju kvantne mehanike nijedan fizički sistem nema (odnosno, ne možemo reći da ima) nikakvu određenu vrednost za veličine kao što su položaj, energija ili impuls sve dok te veličine ne izmeri aparat nekog posmatrača. Po Vileru, neophodan je neki razuman život da bi kvantna mehanika imala smisao. U novije vreme Viler je otišao još dalje i počeo tvrditi da inteligentni život ne samo što mora da se pojavi, nego mora i da prožme sve delove Vaseljene, da bi svaka trunčica informacija o fizičkom stanju svemira bila, jednog dana, opažena. Meni se čini da Vilerovi zaključci daju dobar primer koliko je opasno kad čovek suviše ozbiljno prihvati doktrinu pozitivizma - naime, tvrdnju da nauka treba da se bavi samo onim što se može opaziti. Drugi fizičari, a među njima i ja, više vole drugi, realistički način gledanja na kvantnu mehaniku, u terminima jedne kvantne funkcije koja može opisati i laboratorije i posmatrače kao i atome i molekule, što je sve pod upravom izvesnih zakona koji materijalno ne zavise od prisustva ili odsustva ma kakvih posmatrača.

Neki naučnici veoma ističu činjenicu da neke temeljne konstante imaju vrednosti koje, zaista, izgledaju izvanredno tačno podešene da bi se inteligentni život mogao pojaviti u Vaseljenu. Još nije jasno da li u tom zapažanju ima nečega, ali čak i ako ima, to ne mora obavezno značiti da se umešala božanska volja. U nekoliko sada aktuelnih kosmoloških teorija, takozvane konstante prirode (kao što su mase elementarnih čestica) variraju od mesta do mesta, ili od vremena do vremena, ili čak od jednog do drugog termina talasne funkcije Vaseljene. Ako je to tako, onda, kao što smo videli, svaki naučnik koji proučava zakone prirode mora već živeti u onom delu Vaseljene gde se desilo da vrednosti prirodnih konstanti budu pogodne za evoluciju inteligentnih stvorenja.

Evo jedne analogije. Pretpostavimo da postoji planeta koju ćemo nazvati 'Zemlja-prim', a koja je u svakom pogledu istovetna kao naša, osim što je na toj planeti čovečanstvo razvijalo fiziku, a da o astronomiji nije saznalo baš ništa. (Na primer, mogli bismo zamisliti da je nebo Zemlje-prim većito zastrto oblacima.) Baš kao i na Zemlji, tako bi i na Zemlji-prim studenti našli, na poslednjim stranicama svojih udžbenika, tablice sa temeljnim konstantama. U tim tablicama bila bi data brzina svetlosti, masa

elektrona i tako dalje, pa i jedna 'temeljna' konstanta koja bi iznosila 1,99 kalorija energije po minutu po kvadratnom centimetru, a to bi bila energija koja pristize na Zemlju-prim iz nekog neznanog spoljašnjeg izvora. Na Zemlji je ovo poznato kao solarna konstanta, zato što znamo da ta energija stiže sa Sunca, ali na Zemlji-prim niko ne bi mogao znati otkud stiže i zašto je baš tolika. Neki fizičar na Zemlji-prim mogao bi primetiti da opažena vrednost ove konstante odgovara zaista veoma tačno onoj koja je potrebna da bi se život mogao pojaviti. Ako bi Zemlja-prim dobijala mnogo više ili mnogo manje od 2 kalorije po minutu po kvadratnom centimetru, voda u njenim okeanima bi ili isparila ili bi se zaledila, pa na Zemlji-prim ne bi ostala tečna voda, a ni ma koja druga razumna zamena u kojoj bi se život mogao razviti. Taj fizičar bi mogao zaključiti da je konstantu od 1,99 kalorija po minutu po kvadratnom centimetru sam Bog tako fino podesio da bi ljudima ugodio. Ali neki skeptičniji fizičar na Zemlji-prim mogao bi to osporiti i tvrditi da će takve konstante biti ranije ili kasnije objašnjene konačnim zakonima fizike, i da se naprosto srećno poklopilo da one imaju vrednosti povoljne za nastanak živih bića. A, zapravo, obojica bi grešila. Onda bi žitelji Zemlje-prim konačno uspeli da se domognu i astronomskih saznanja, pa bi uvideli da njihova planeta prima 1,99 kalorija na svaki kvadratni centimetar svoje površine u svakom minutu iz tog razloga što ona, kao i Zemlja, kruži na oko 150 miliona kilometara od Sunca koje proizvodi 5.600 miliona miliona miliona miliona kalorija u minutu; međutim, takođe bi im postalo poznato i to da ima drugih planeta, od kojih su neke bliže Suncu i prevruće za život, a druge udaljenije od Sunca i prehladne za život; oni bi se, štaviše, dosetili i da ima nebrojeno drugih planeta koje kruže oko drugih zvezda i da samo na malom broju njih postoje uslovi povoljni za živa bića. Tek upoznavajući astronomiju, ovi fizičari koji učestvuju u raspravi na Zemlji-prim konačno će shvatiti da razlog što oni žive na svetu koji prima približno dve kalorije po kvadratnom centimetru po minutu jeste naprosto taj da ni na kakvom drugom svetu ne bi ni mogli živeti. Mi u našem delu svemira možda smo danas kao žitelji Zemlje-prim pre nego što su doznali za astronomiju, s tom razlikom što su od nas skriveni neki drugi delovi Vaseljene, a ne obližnje planete koje, ipak, vidimo.

Predlažem da krenemo još dalje. Dok smo otkrivali sve više i više temeljnih načela fizike, činilo se da ona imaju sve manje i manje veze sa nama. Na primer, početkom dvadesetih godina mislilo se da jedine elementarne čestice jesu elektron i proton - naime, da su to sastojci od kojih smo mi i naš svet izgrađeni. Kad su otkrivene nove čestice kao što je neutron, smatralo se da je samo po sebi jasno da bi one morale biti sklopljene od nekakve kombinacije elektrona i protona. Danas stvari sasvim drugačije stoje. Mi danas nismo tako sigurni šta je uopšte smisao naše tvrdnje da su neke čestice 'elementarne'. Naučili smo važnu lekciju da sama činjenica da neke čestice jesu prisutne u običnoj materiji nema nikakve veze sa njihovom temeljnošću ili netemeljnošću. Gotovo sve čestice čija se polja pojavljuju u savremenom standardnom modelu čestica i međudejstava odmah se i raspadaju, tako brzo da ih u običnoj materiji nema; zato one ne igraju nikakvu ulogu u ljudskom životu. Elektroni su bitni deo našeg svakodnevnog sveta; čestice koje se zovu muoni i tauoni, međutim, utiču zaista vrlo malo, ili nimalo, na naš život; pa ipak, po načinu na koji su predstavljeni u našim teorijama, elektroni nisu nimalo 'temeljniji' od muona i tauona. Uopštenije govoreći, situacija je ova: niko nikad nije otkrio nikakvu korelaciju između važnosti ma čega za nas i važnosti toga istoga u zakonima prirode.

Naravno, većina ljudi ni ne očekuje da o Bogu dozna nešto iz naučnih otkrića. Džon Polkinghorn se rečito zalagao za jednu teologiju koja bi bila "smeštena u onu oblast ljudskog govora gde i nauka nalazi sebi dom" i zasnovana na verskim doživljajima kao što je otkrovenje, otprilike onako kako je nauka zasnovana na opitima i posmatranjima. Oni ljudi koji smatraju da su doživeli religijsko otkrovenje treba sami da procene kvalitet tog svog iskustva. Ali velika većina pristalica današnjih svetskih religija oslanja se ne na svoja lična, nego na otkrovenja koja su se navodno dogodila drugim ljudima. Moglo bi se pomisliti da to i nije mnogo različito od posla teorijskog fizičara koji se oslanja na nalaze opita koje su obavljali drugi ljudi; ali tu postoji jedna veoma važna razlika. Uvidi hiljada pojedinačnih fizičara sustiču se u jednom istom, zajedničkom (mada nepotpunom) razumevanju fizičke stvarnosti. Nasuprot tome, izjave o Bogu ili o bilo čemu drugom date na osnovu verskih doživljaja usmerene su u sasvim različitim pravcima. Posle nekoliko hiljada godina teoloških analiza, nije se stiglo bliže nekom zajedničkom razumevanju pouka koje nam iz otkrovenja stižu.

Još jednu jasnu razliku između religijskog iskustva i naučnog opita treba istaći. Pouke koje nam daju verski doživljaji mogu nam doneti duboko zadovoljstvo, za razliku od apstraktnog i bezličnog naučnog pogleda na svet. Za razliku od nauke, vera može sugerisati smisao našem življenju, može dočarati neku ulogu koju bismo mi mogli igrati u velikoj kosmičkoj drami greha i iskupljenja, pa može i dati obećanje da ćemo posle smrti imati neko produženje. Upravo iz tih razloga meni se čini da su verska učenja neizbrisivo obeležena žigom koji se zove priželjkivanje.

U mojoj knjizi objavljenoj 1977. godine, Prva tri minuta, brzopleto sam napisao da "Vaseljena, što shvatljivija postaje, to nam besciljnija izgleda". Nisam hteo time da kažem da nauka uči ljude da je Vaseljena besciljna, besmisljena. Želeo sam da kažem da Vaseljena, sama po sebi, ne nudi nikakvu primetnu svrhu ili smisao. I požurio sam tada da dodam sledeće: da mi možemo sami smisliti neku svrhu ili cilj za svoje življenje, kao što bi bila, na primer, želja da shvatimo Vaseljenu. Ali šteta je već bila naneta: tih nekoliko napisanih reči proganjaju me bez prestanka od tada pa sve do dana današnjeg. U novije vreme, Alen Lajtmen (Alan Lightman) i Roberta Broer (Roberta Brawer) objavili su intervju sa dvadeset sedam kosmologa i fizičara, a većinu njih su negde pred kraj intervjuja pitali za mišljenje o toj mojoj rečenici. Ljudi su se na razne načine ograđivali, ali i izjašnjavali, desetero tvrdeći da sam bio u pravu, a trinaest njih ne izričući takvu tvrdnju. Ali među tih trinaest pojavilo se i neslaganje, jer su troje od njih rekli da njima nije jasno zašto bi iko očekivao da Vaseljena ima neku 'poentu'. Harvardski astronom Margaret Geler (Margaret Geller) upitala je: "... Zašto bi Vaseljena imala poentu? Kakvu poentu? To je samo jedan fizički sistem, kakva tu svrha ili naum mogu postojati? Oduvek me je zbunjivala ta njegova rečenica." Prinstonski astrofizičar Džim Pibls (Jim Peebles) je napomenuo: "Voljan sam da verujem da smo mi ono što su nosile, pa izbacile razne struje i poplave." (Pibls je dodao da sam, po njegovom mišljenju, imao loš dan onda kad sam ono napisao.) Drugi prinstonski astrofizičar, Edvin Tarner (Edwin Turner), saglasio se sa mnom, ali uz napomenu da sam ja ono napisao možda iz želje da nerviram čitaoce. Najviše mi se svideo odgovor mog kolege sa Univerziteta Teksas, astronoma Žerara De Vokulera (Gerard de Vaucouleurs). On je rekao da je, po njegovom mišljenju, ta moja rečenica bila "nostalgična". A to je i bila - puna nostalgije za jednim svetom u kome nebesa slavu Gospodnju obznanjuju.

Pre otprilike vek i po, britanski pesnik Metju Arnold (Matthew Arnold) našao je u kretanju okeanskih voda u vreme oseke metaforu za uzmicanje religioznosti, i čuo u štroputu te vode 'prizvuk tuge'. Divno bi bilo otkriti u zakonima prirode neki plan pripremljen od strane jednog zainteresovanog Tvorca, plan u kome je ostavljena posebno važna uloga za ljudska bića. Nalazim tugu u tome što ne verujem da ćemo takav plan ikada naći. Među mojim naučnim kolegama ima i takvih koji kažu da im kontemplacija o prirodi daje isto onoliko duhovnog zadovoljenja koliko su drugi ljudi tradicionalno nalazili u svojoj veri u zainteresovanog Boga. Pa, moguće je da neki od njih zaista tako osećaju. Ja ne. Niti mi se čini da je korisno da, kao Ajnštajn, poistovetimo zakone prirode sa nekakvim udaljenim, nezainteresovanim Bogom. Što više prefinjujemo pojam Boga da bi bio uverljiv, to nam on besciljniji izgleda. Bez svrhe i poente.

Među današnjim naučnicima ja sam verovatno donekle atipičan već samim tim što mi je stalo do takvih razmišljanja. Drugi za takve stvari ne brinu. Dešava se, mada retko, da u ćaskanju tokom ručka ili čaja neko pomene religijska pitanja, ali najjača reakcija većine mojih kolega fizičara bude, tada, blago iznenađenje, kao i rasonodenost činjenicom da neko još i sad shvata takve teme ozbiljno. Mnogi fizičari ostaju na rečima verni veri svojih roditelja, i to im je neki oblik etničke identifikacije, a i običaj koga se pridržavaju na venčanjima i sahranama, ali malo koji od tih fizičara obraća pažnju, na ma koji primetan način, na ono što se smatra teologijom njihove religije. Poznajem dvojicu stručnjaka za opštu teoriju relativnosti koji su odani rimokatolici; nekoliko teorijskih fizičara koji su aktivni pripadnici jevrejske vere; jednog opitnog fizičara koji je pripadnik sekte 'ponovo rođenih hrišćana'; jednog teorijskog fizičara koji je predani musliman; i jednog matematičkog fizičara koji je u Engleskoj crkvi stupio u sveti red. Nesumnjivo ima i drugih fizičara koji su duboko religiozni, ali ja to ne znam, ili ne zna niko. Ali koliko uspevam primetiti, većina fizičara danas religiju toliko prenebregava da ih ne možete nazvati čak ni aktivni ateisti.

Postoje i verski liberali. Oni su, u jednom smislu reči, od nauke duhovno čak udaljeniji nego verski fundamentalisti i drugi konzervativci. Konzervativci vam bar, kao i naučnici, jasno kažu da veruju u to što veruju zato što jeste istinito, a ne zato što im, recimo, prija, ili što će to od njih načiniti dobre ljude. Za razliku od toga, mnogi verski liberali danas, čini se, smatraju da razni ljudi mogu imati razna, međusobno suprotna uverenja, i opet svi biti u pravu, ako im to ide u prilog. Jedan veruje u reinkarnaciju, drugi u raj i pakao; treći je siguran da duša umire kad i telo, ali niko od njih ne greši, sva trojica su u pravu istovremeno, jer svoj trojici duhovno prija kad misle to što misle. Kao što reče Suzan Zontag (Susan Sontag), okruženi smo "pobožnošću bez sadržine". Sve me to podseća na priču o jednom doživljaju Bertranda Rasela, koga su 1918. godine strpali u zatvor zbog njegovih antiratnih aktivnosti. Prilikom procedure primanja u zatvor, u jednom trenutku apsandžija pita Rasela koje je vere, a Rasel kaže: "Ja sam agnostik." Apsandžija nekoliko trenutaka zuri zbunjeno, onda se razvedri i kaže: "A, pa dobro, u redu je i to. Svi mi verujemo u istog Boga, zar ne?"

Volfंगा Paulija su jednom pitali za mišljenje o nekom izuzetno loše sačinjenom radu iz oblasti fizike: da li je pogrešan? Pauli je odgovorio da bi takav opis bio previše blag - jer taj rad nije čak ni pogrešan. Meni se sve čini da religijski konzervativci, iako veruju u pogrešne i netačne stvari, bar znaju šta stvarno znači verovati u nešto; bar to nisu zaboravili. A ono što misle religijski liberali, to, po mom utisku, nije čak ni pogrešno.

Često se danas čuju tvrdnje da teologija nije ono najvažnije u religiji, nego je najvažnije to kako nam religija pomaže da živimo. Veoma čudno: postojanje i priroda Boga i Božijeg milosrđa i greha i raja i pakla - sve to, nevažno! Pretpostavljam da to - da teologija njihove religije nije bitna - govore oni ljudi kojima je nezgodno da priznaju, jasno i glasno, da u nju ne veruju nimalo. Međutim, tokom cele istorije, pa i danas u mnogim delovima sveta, ljudi su verovali i veruju u ovu ili onu teologiju, i to im je bilo veoma važno.

Opet, koliko god da je čoveku odbojna ta razlivenost i razmrljanost onoga što nude verski liberali, glavnu štetu ipak čini konzervativna dogmatska vera. Ona je, doduše, u prošlosti dala velike doprinose u oblasti morala i u oblasti likovnih umetnosti; to je neosporno. Ova knjiga nije mesto gde bismo mogli otvoriti raspravu o tome kako treba da se stavi na jedan tas sve to pozitivno što je religija dala, a na drugi tas vage cela ona duga, okrutna priča o krstaškim ratovima, džihadima, inkviziciji, pogromima. Ipak, želim da naglasim da u jednom takvom vaganju ne bismo smeli reći da su verski progono i sveti ratovi bili izopačenja prave religije. Misliti da jesu, bilo bi, po meni, simptom jednog veoma raširenog odnosa prema religiji, koji se sastoji od dubokog poštovanja i potpunog nezanimanja. Mnoge od velikih svetskih religija nas uče da Bog zahteva jednu veru, sasvim određenu, i određene načine njenog ispoljavanja. Ništa čudno ako neki od ozbiljno verujućih zaključe, sasvim iskreno, da su te Božje naredbe neuporedivo važnije nego li izvesne samo svetovne vrline kao što su popustljivost, saosećanje ili razum.

Širom Azije i Afrike danas mračne sile religijskog zanosa jačaju, a razum i popustljivost klimavo stoje čak i u sekularnim državama Zapada. Istoričar Hju Trevor-Rouper (Hugh Trevor-Roper) rekao je da je širenje duha nauke u Evropi tokom sedamnaestog i osamnaestog veka dovelo do prestanka spaljivanja veštica. Moglo bi se desiti da nam opet zatreba duh nauke kao odbrana od svetskog ludila. A nauka je za tu dužnost podobna ne zato što je sigurna u svoje znanje, nego upravo zato što nije sigurna. Kad vidite kako naučnici mnogo puta preispituju i menjaju svoje uverenje o nečemu što se može neposredno, u laboratoriji, opitno proveriti, kako možete posle toga ozbiljno verovati u verska predanja i svete spise u kojima se sa krajnjom kategoričnošću govori o stvarima koje su izvan svakog ljudskog iskustva?

Naravno, i nauka je dala doprinos jadima i nesrećama u svetu, ali najčešće tako što nam je pružala sredstva da se međusobno ubijamo, a ne pobude za to. Kad god je autoritet nauke bio prizivan kao opravdanje za razne užasne zločine, bila su to, zapravo, samo izopačenja nauke, a ne prava nauka. Primer za to jeste nemački rasizam zasnovan na 'eugenici'. Kao što kaže Karl Popper: "Jasno je da su sve nacionalne mržnje i agresije izazvane iracionalizmom, a ne racionalizmom, i pre i posle krstaških ratova. Ne znam ni za jedan rat vođen sa 'naučnim' ciljevima i podstaknut od strane naučnika."

Ja, nažalost, ne verujem da je moguće racionalnim argumentima ubediti svakoga da treba da misli na naučni način. Još je Dejvid Hjum (David Hume) uvideo da mi, kad se pozivamo na dosadašnje iskustvo sa naukom i ističemo mnogobrojne uspehe koje je nauka postigla, u stvari time već podrazumevamo da je ispravan onaj način mišljenja za koji se, takvim argumentima, zalažemo. Slično može da postupi i druga strana, i da sve naše logičke argumente potuče najjednostavnijim odbijanjem da misli logično. Zato ne možemo naprosto odbaciti sledeće pitanje: ako onu duhovnu utehu koju želimo ne možemo naći u zakonima prirode, zašto je ne potražiti negde drugde - na primer, u nekom duhovnom autoritetu, ili u nekom nezavisnom 'skoku u verovanje'?

Odluka da li da verujemo ili ne nije samo stvar naše volje. Možda bih ja bio srećnije ljudsko biće, i možda bih se ponašao bolje, ako bih verovao da sam potomak kineskih careva, ali ja ni najvećim naporom volje ne bih mogao naterati sebe da u to poverujem, baš kao što ne mogu snagom volje naterati moje srce da prestane da kuca. A ipak, izgleda da su mnogi ljudi sposobni da odlučuju u šta hoće da veruju, a u šta ne, i da se opredele da veruju u ono što će ih činiti srećnim i dobrim ljudskim bićima. Najzanimljiviji meni poznat opis načina na koji ta kontrola može uspeti nalazi se u romanu Džordža Orvela (George Orwell) 1984. Glavni junak, Vinston Smit, zabeleži u svome dnevniku da "sloboda jeste sloboda da se kaže da su dva i dva četiri". To pročita inkvizitor, O'Brajen, shvati to kao izazov i stupi u akciju sa ciljem da natera Smita da promeni mišljenje. Podvrgnut mučenju, Smit spremno kaže da su dva i dva pet, ali to nije ono što O'Brajen želi. Najzad, bol postaje tako nepodnošljiv, da Smit, samo da bi se spasao, uspeva da ubedi sebe da dva i dva jesu pet. O'Brajen je time zadovoljan (ali ne zadugo) i mučenje se privremeno prekida. Na sličan način, bol zbog toga što ćemo umreti i što će naši mili i dragi umreti goni nas da usvojimo ona verovanja koja će ga ublažiti. Ako mi možemo tako da podesimo svoju veru, zašto ne bismo činili tako?

Ne vidim nijedan logički ili naučni razlog da ne potražimo utehu nekim takvim podešavanjem onoga u šta ćemo verovati - ali vidim jedan moralni razlog, jedno malo pitanje časti. Šta mislimo o čoveku koji je zbog očajničke potrebe za novcem uspeo da ubedi sebe da će na lutriji, na predstojećem izvlačenju, njegov loz sigurno dobiti premiju? Možda će mu neko i pozavideti na tom prijatnom razdoblju velikih očekivanja, ali mnogi drugi će smatrati da je taj čovek podbacio u ispunjavanju jedne dužnosti racionalnog i odraslog ljudskog bića, a to je dužnost da se stvari sagledavaju kakve jesu. Baš kao što je svako od nas, odrastajući, morao naučiti da se odupire zaludnim priželjkivanjima kad su u pitanju banalne stvari kao što je lutrija, tako isto i ljudski rod, odrastajući, mora naučiti da mi nemamo nikakvu važnu ulogu ni u kakvoj veličanstvenoj kosmičkoj drami.

Ali opet, ja ne verujem, ni za tren, da će nauka ikad moći da nam pruži one utehe koje, kad se suočimo sa umiranjem, dobijamo od religije. Od svih meni poznatih formulacija ovog egzistencijalnog izazova, najbolja je ona koju je negde oko 700. godine naše ere zapisao Prečasni Bid (Venerable Bede) u svojoj knjizi Crkvena istorija Engleza. Bid priča kako je Edvin, kralj državnice Nortumbrije, održao savetovanje leta gospodnjeg 627. sa naumom da odluči koja će vera biti u njegovoj kraljevini prihvaćena, i kako je tada jedan od kraljevih doglavnika zborio ovako:

Vaše veličanstvo, kad poredimo sadašnji život čoveka na Zemlji sa onim iz vremena o kojima ne znamo ništa, meni on liči na brzi let vrapca kroz gozbenu dvoranu u kojoj Vi sedite za večerom u zimskoj noći sa Vašim ratnim zapovednicima i Vašim savetnicima. U sredini je vatra koja prijatno greje celu dvoranu; napolju besne zimske oluje, kiše ili mećave. Taj jedan vrapac uleti hitro kroz jedna vrata dvorane, a na druga izleti. Dok je unutra, ništa mu ne mogu zimske oluje; ali posle nekoliko trenutaka udobnosti, on sa vašeg vidika nestane i vrati se u zimsku noć iz koje je došao. Isto tako, na Zemlji čovek bude, zakratko; a šta pre ovog života bejaše, i šta će posle biti, ne znamo.

Iskušenje je maltene neodoljivo da poverujemo, kao Bid, i kao Kralj Edvin od Nortumbrije, da mora postojati nešto za nas negde izvan gozbene dvorane. Osećanje časti

koje nas obuzme kad se tom iskušenju uspešno odupremo zamena je, samo tanka zamena, za utehe koje religija nudi; ali i ono može, na svoj način, da prija.

12. SILAZAK U OKRUG ELIS

Ej, vi, mamice, ne dajte da vaše bebice
kad porastu budu kaubojske.
Da dohvate gitarčine, da teraju kamiončine.
Ne, ne.
Bolje da budu lekari,
advokati, bankari,
i takve stvarčice.

Ed i Petsi Brus

Oblast Elis je u Teksasu, u srcu jedne pokrajine koja je nekad bila najveće uzgajalište pamuka na svetu. Nije teško naći znake tog pamučnog napretka u gradiću Vaksahači, u kome je smeštena opštinska vlast. U samom centru gradića je grandiozna palata opštinske većnice i sudnice, podignuta 1895. godine od crvenog granita, krunisana visokim tornjem sa časovnikom. Ispred zgrade je središnji gradski trg iz koga se pružaju glavne ulice. U njima su kuće fine, viktorijanske, izgledaju kao ulica Bretl u Kembridžu preneti na američki jugozapad. Ali sada je oblast znatno siromašnija. U toj opštini gaje se pšenica, kukuruz i, još i sad, ponešto pamuka, ali cene više nisu ono što su bile. Četrdeset minuta autoputem broj 35 na sever, i vi ste u gradu Dalasu; nekolicina bogatih Dalasovaca preselila se u Vaksahači zbog seoskog mira i tišine, ali kompjuterska i avio-industrija, koje su u Dalasu i Fort Vortu u punom zamahu, nisu došle 'dole' u opštinu Elis. Godine 1988. stopa nezaposlenosti u Elisiu mirovala je na 7%. Zato je u opštinskoj većnici nastalo poprilično uzbuđenje kad je stigla vest, 10. novembra 1988, da je oblast Elis izabrana da bude mesto na kome će se nalaziti najveći i najskuplji naučni instrument na svetu, superprovodni superkolajder.

Planiranje za superkolajder počelo je nekih šest godina pre toga. U to vreme, Ministarstvo energije imalo je u rukama jedan projekat s kojim je bilo dosta problema, poznat kao 'Izabela' (ISABELLE). Već je bila u toku izgradnja 'Izabele' u Nacionalnoj laboratoriji Brukhejven na Long Ajlendu. Trebalo je da 'Izabela' preuzme od postojećeg akceleratora u Fermilabu blizu Čikaga titulu najboljeg američkog pogona za istraživanja u oblasti fizike čestica. 'Izabela' se počela graditi 1978. godine, ali je onda imala dvogodišnji zastoje u izgradnji zbog problema oko pravljenja superprovodnih magneta koji bi držali 'Izabelin' mlaz protona tačno na putanji i obezbeđivali da ostane uzan. Ali postojao je još jedan, dublji problem sa 'Izabelom': iako se znalo da će, kad bude dovršena, postati najjači akcelerator na svetu, isto tako se znalo i da neće biti dovoljno jaka da odgovori na pitanje do koga je fizičarima očajnički stalo: kako se narušava simetrija koja spaja slaba i elektromagnetna međudejstva?

U standardnom modelu elementarnih čestica, opis slabe sile i opis elektromagnetne sile zasnivaju se na tačnoj simetriji načina na koji one ulaze u jednačine teorije. Ali kao što smo videli, ta simetrija nije prisutna u rešenjima jednačina - naime, u odlikama samih čestica i samih tih sila. Svaka verzija standardnog modela koja bi

dopustila takvo narušavanje simetrije morala bi sadržati i neke crte koje još nisu opitno otkrivene: ili nove čestice koje se zovu Higsove čestice i odlikuju se slabim reagovanjem, ili nove superjake sile. Mi još ne znamo koja je od tih odlika faktički prisutna u prirodi, a naše napredovanje u odnosu na standardni model sputano je ovom neizvesnošću.

Jedini pouzdan način da se ta pitanja razreše jesu opiti u kojima je na raspolaganju bilion volti za stvaranje ili Higsovih čestica ili masivnih čestica koje bi na okupu bile držane superjakim silama. Pokazalo se da je za ovo potrebno dati paru protona koji će se sudariti ukupnu energiju od oko 40 biliona volti zato što energiju jednog protona dele između sebe kvarkovi i gluoni od kojih je taj proton sačinjen, tako da bi samo otprilike jedna četrdesetina uložene energije preostala za proizvodnju nove čestice u sudaru jednog (bilo kog) kvarka ili gluona u jednom protonu sa jednim (bilo kojim) kvarkom ili gluonom u drugom protonu. Osim toga, nije dovoljno ispaliti zrak protona natovarenih energijom od 40 hiljada milijardi volti na nepokretnu protonsku metu, zato što bi pogođeni protoni bili odbačeni unazad, dakle poneti silom pogotka, i tu bi se uludo utrošila gotovo sva energija. Da bismo pouzdano rešili pitanje narušavanja elektroslabe simetrije, potreban nam je čeon sudar dva protonska zraka od kojih će svaki nositi po 20 biliona volti energije, tako da će se međusobno poništiti impulsi onih dvaju protona koji se sudare; tada nimalo energije neće biti izgubljeno. Srećom, mi možemo sa punim pouzdanjem predvideti da će onaj akcelerator koji proizvede zrake protona sa po 20 biliona volti, što se silovito sudaraju, uspeti, zaista, da nađe ili Higsovu česticu, ili dokaze o novim jakim silama.

Godine 1982. među opitnim i teorijskim fizičarima počela je kružiti zamisao da bi bilo dobro napustiti projekat 'Izabela' i umesto njega početi izgradnju mnogo jačeg novog akceleratora koji bi imao sposobnost da reši pitanje narušavanja elektroslabe simetrije. Tog leta je u jednoj nezvaničnoj radionici Američkog fizičkog društva načinjena prva detaljna studija o akceleratoru koji bi proizvodio i sudarao mlazeve fotona sa energijom od po 20 biliona volti, a to je približno 50 puta veća energija od one planirane za 'Izabelu'. U februaru sledeće godine jedan pododbor Savetodavnog odbora za fiziku visokih energija pri Ministarstvu za energiju, pod rukovodstvom Stenlija Vodžickog (Stanley Wojicki) sa Stenforda, organizovao je niz sastanaka na kojima su razmatrane opcije za tu sledeću generaciju akceleratora. Pododbor se u Vašingtonu sastao sa naučnim savetnikom predsednika SAD, Džejom Kejvortom (Jay Keyworth). Od njega je pododbor dobio jak nagoveštaj da će administracija sa naklonošću gledati na neki veliki novi projekat.

Pododbor Vodžickoga održao je svoj najvažniji sastanak od 29. juna do 1. jula 1983. u ciklotronskoj laboratoriji Nevis pri Univerzitetu Kolumbija, u oblasti Vestčester. Okupljeni fizičari jednoglasno su podržali izgradnju ubrzivača koji će stvarati dva zraka protona, davati im energije između 10 i 20 biliona volti i sudarati ih. Da je stvar ostala na tome, glasanje ne bi privuklo mnogo pažnje. Možete pouzdano računati na to da će naučnici na svakom polju nauke uvek podržati velike nove nabavke opreme za svoj rad. Ali usledilo je još jedno, mnogo važnije glasanje. Sa deset glasova prema sedam preporučeno je da se prekine rad na 'Izabeli'. Bila je to dramatično teška odluka, protiv koje se svim silama borio Nik Samios (Nick Samios), direktor Brukhejvena. (Posle je Samios rekao da je takvo glasanje bilo "jedna od najglupljih odluka ikada donetih u fizici visokih energija".) Ne samo što je ta odluka dramatizovala podršku pododbora u prigod

velikog novog akceleratora - ona je i stvorila političku situaciju u kojoj je Ministarstvu za energiju bilo vrlo teško da nastavi tražiti od Kongresa pare za 'Izabelu', a kad bi 'Izabela' bila obustavljena i kad u isti mah ne bi ništa drugo bilo započeto, Ministarstvo za energiju ne bi imalo baš nikakav visokoenergetski projekat u izgradnji.

Deset dana kasnije preporuke pododbora Vodžickog jednoglasno je odobrilo i administrativno telo koje je bilo osnivač tog pododbora - naime, Savetodavni odbor za fiziku visokih energija pri Ministarstvu za energiju. Tada je prvi put novi akcelerator dobio neko određeno ime: superprovodni superkolajder, skraćeno SSC. Jedanaestog avgusta Ministarstvo za energiju dalo je pomenutom Odboru ovlašćenje da sačini plan istraživačkih i razvojnih radova potrebnih za SSC, a 16. novembra 1983. Donald Hodel (Donald Hodel), ministar za energiju, objavio je odluku svog ministarstva da obustavi projekat 'Izabela' i zatražio od oba Kongresna odbora za odobravanje finansijskih sredstava (jedan je odbor Senata, a drugi je odbor Predstavničkog doma) ovlašćenje da preusmeri pare od 'Izabele' ka SSC-u.

Traganje za mehanizmom narušavanja elektroslabe simetrije nije ni u kom slučaju bilo jedina pobuda za izgradnju superkolajdera. Obično se novi akceleratori, kao onaj u CERN-u i onaj u Fermilabu, grade sa očekivanjem da će podizanje na nove nivoe energije dati uvid u nove pojave i doneti nova otkrića. To očekivanje gotovo je svaki put bilo ispunjeno. Na primer, protonski supersinhrotron u CERN-u sagrađen je iako se nije imala neka određena zamisao o tome šta bi se u njemu moglo otkriti; sasvim je sigurno da niko nije znao da će opiti sa zracima neutrina iz ovog akceleratora otkriti slabe sile neutralne struje, a to je godine 1973. bilo otkriće koje je potvrdilo našu sadašnju objedinjenu teoriju slabe sile i elektromagnetne sile. Današnji veliki akceleratori potomci su onih koje je pravio Ernest Lorens (Ernest Lawrence) u Berkliju početkom tridesetih godina dvadesetog veka, a koji su projektovani da imaju dovoljno snage da prokrče put kroz odbojno polje koje elektroni prave oko nuklearnog jezgra. Lorens pojma nije imao na šta će naići kad se protoni 'zabiju' kroz elektronski omotač. Dešava se da neko otkriće bude unapred tačno predviđeno; tako je Bevatron u Berkliju bio, pedesetih godina, izgrađen sa izričitom svrhom da ima dovoljno energije (skromnih 6 milijardi volti) da stvori antiprotone. (Znamo da se protoni nalaze u svim normalnim atomskim jezgrima.) Veliki sudarač elektrona i pozitrona koji i danas radi u CERN-u izgrađen je prvenstveno da bi razvio dovoljno energije da proizvodi veoma veliki broj 'Z' čestica pomoću kojih bi standardni model mogao biti podvrgnut veoma strogim opitnim proverama. Ali čak i kad je planiranje novog akceleratora nadahnuto željom da bude rešen jedan tačno određen problem, najvažnija otkrića mogu se na njemu dogoditi sasvim neočekivano. To se svakako desilo u Bevatronu; on jeste pravio antiprotone, ali je neočekivano, a mnogo važnije bilo otkriće mnoštva novih, raznovrsnih čestica koje su ispoljavale jaka međudejstva. Zato se od samog početka planiranja superkolajdera pomišljalo da bi u njemu mogla, jednog dana, iskrsnuti otkrića važnija čak i od mehanizma narušavanja elektroslabe simetrije.

Opiti u visokoenergetskim akceleratorima kao što je superkolajder mogli bi, čak, rešiti najvažnije pitanje sa kojim se suočava moderna kosmologija: problem nedostajuće tamne materije. Znamo da glavnina mase galaksija, a naročito mase galaktičkih jata, jeste mračna, a ne u obliku blistavih zvezda kao što je Sunce. Ogromna (i ogromno veća nego što smo mislili) količina tamne materije zahteva se u sada popularnim kosmološkim teorijama kao objašnjenje za brzinu širenja Vaseljene. Tako velika količina tamne

materije ne bi mogla biti u obliku običnih atoma; da je tako, onda bi taj veliki broj protona, neutrona i elektrona uticao na proračune o zastupljenosti lakih elemenata proizvedenih u prvih nekoliko minuta širenja Vaseljene, tako da se rezultati tih izračunavanja više ne bi podudarali sa onim što je opaženo.

A šta je, onda, tamna materija? Fizičari su proveli već mnogo godina u nagađanjima o tome da bi ona mogla biti sačinjena od ovakvih ili onakvih neobičnih čestica, ali zasad bez nekih konačnih zaključaka. Ako bi akceleratori otkrili postojanje neke nove dugoživeće čestice, onda bismo mogli izmeriti njenu masu i njena međudejstva, pa izračunati koliko je takvih preostalo od Velikog praska, i zaključiti da li su one dovoljne da dodaju Vaseljenu onoliko materije koliko joj nedostaje.

U novije vreme, ova pitanja postala su dramatičnija zbog osmatranja koja je izvršio satelit zvani 'Istraživač kosmičke pozadine'. COBE, Cosmic Background Explorer - prim. prev. Osetljivi mikrotalasni prijemnici na tom satelitu otkrili su znake malenih neujednačenosti između raznih delova neba u pogledu temperature onog zračenja koje je zaostalo iz doba kad je Vaseljena bila oko tri stotine hiljada godina stara. Veruje se da su te neravnomernosti u temperaturi nastale delovanjem gravitacionog polja koje je proizvedeno tadašnjom malčice neravnomernom distribucijom materije. Taj trenutak, tri stotine hiljada godina posle Velikog praska, bio je od kritičnog značaja u istoriji Vaseljene; jer tada je Vaseljena prvi put postala prozračna za razna zračenja, a osim toga, obično se pretpostavlja da su neujednačenosti u raspodeli materije tada tek počinjale da kolabiraju pod uticajem sopstvene gravitacije i da stvaraju zgušnjavanja iz kojih će najzad nastati one galaksije koje danas vidimo na nebu. Međutim, neujednačenosti u raspodeli materije uočene pomoću COBE-a nisu mlade galaksije; COBE je proučavao samo nepravilne 'mrlje' veoma velikih razmera, mnogo puta veće od onih koje je materija ijedne današnje galaksije mogla zauzimati kad je Vaseljena bila trista hiljada godina stara. Ako ono što je COBE video ekstrapoliramo unazad i kažemo da su galaksije bile po svojim dimenzijama znatno manje u razdoblju kada su se rađale, i ako na osnovu toga izračunamo stepen neujednačenosti materije u takvim srazmerno malim prostorima, nailazimo na novi problem: tako male neujednačenosti bile bi tada, ujedno, i vrlo blage neujednačenosti, tako da ne bi mogle pod uticajem sopstvene gravitacije dati, ni do danas, ove galaksije koje vidimo. Jedan izlaz iz ovog problema bio bi da pretpostavimo da su neujednačenosti, i to neujednačenosti velike otprilike koliko galaksije, već bile počele svoje gravitaciono zgušnjavanje pre isteka tog razdoblja od tri stotine hiljada godina, a u tom slučaju ne bi bilo ispravno postupljeno ako bismo ekstrapolacijom unazad onoga što je COBE video došli do tog zaključka o znatno manjim dimenzijama galaksija. Ali to se nije moglo desiti ako je materija Vaseljene uglavnom sačinjena od običnih elektrona, protona i neutrona, jer nehomogenosti u takvoj običnoj materiji nisu mogle doživeti nikakav značajan porast sve dok Vaseljena nije postala prozračna za zračenje; naime, u svim ranijim trenucima svako zgušnjavanje bilo bi odmah razneto u komadiće, zbog pritiska svojih sopstvenih zračenja iznutra. S druge strane, egzotična tamna materija sačinjena od električno neutralnih čestica postala bi providna za zračenja još mnogo ranije, pa bi i svoja gravitaciona zgušnjavanja počela u nekom znatno ranijem trenutku koji je znatno bliži času Velikog praska, što bi dovelo do tadašnjih nehomogenosti znatno jačih nego što su one na koje ukazuju COBE-ovi rezultati - dovoljno jakih, možda, da na taj način nastanu ove galaksije koje danas vidimo. Otkriće neke čestice tamne materije,

ako bi se dogodilo u superkolajderu, bilo bi potvrda ove pretpostavke o poreklu galaksija, pa bi, samim tim, osvetlilo ranu istoriju Vaseljene.

Ima i mnogo drugih novih stvari koje bi mogle biti otkrivene u akceleratorima kao što je taj superkolajder: mogle bi unutar kvarkova postojati neke čestice, baš kao što unutar protona postoje kvarkovi; mogao bi se otkriti neki od raznih superpartnera koje bi, po teoriji supersimetrija, obične čestice trebalo da imaju; mogle bi se ispoljiti nove vrste sila, povezane sa novim unutrašnjim simetrijama, i tako dalje. Ne znamo da li nešto od ovoga, i šta, postoji, a ako postoji, može li se otkriti u superkolajderu. Zbog toga je bilo umirujuće što smo unapred znali za bar jedno otkriće za koje se unapred možemo pouzdati da će ga superkolajder načiniti, a to je otkriće mehanizma narušavanja elektroslabe simetrije. Posle odluke Ministarstva za energiju da izgradi SSC, nastupile su godine planiranja i smišljanja; nije se moglo odmah krenuti u izgradnju. Dugotrajno iskustvo pokazalo je da ova vrsta izgradnje, iako ima državu za sponzora, najbolje uspeva u izvođenju privatnih firmi. Zato je Ministarstvo za energiju prepustilo pravo upravljanja nad fazom 'istraživanje i razvoj' Univerzitetkom udruženju za istraživanja, a to je jedan neprofitni konzorcijum sastavljen od šezdeset devet univerziteta koji su upravljali i Fermilabom. To udruženje je, onda, angažovalo univerzitetske i industrijske naučnike koji su postali članovi Nadzornog odbora za SSC, a mi smo posao detaljnog planiranja superkolajdera predali jednoj centralnoj konstrukcionoj grupi u Berkliju, ali pod rukovodstvom Morija Tignera (Maury Tigner) sa Kornela. Do kraja aprila 1986. ta grupa je dovršila planove: predviđen je podzemni tunel prečnika deset stopa (tri metra) savijen tako da daje ovalni prsten ukupne dužine 83 kilometra (što se može uporediti sa autoputem 'Vašington Beltvej'), a u njemu dva vitka protonska zraka, svaki nakrcan sa po 20 biliona volti energije, ali zahuktana u dva suprotna smeru. Protone će održavati na putanji obavijajući magneti kojih treba da bude 3.840 (svaki po 17 metara dugačak). Za fokusiranje bi služilo 888 drugih magneta. Svi ti magneti zajedno sadržali bi 41.500 tona gvožđa, 19.400 kilometara superprovodnih kablova i 2 miliona litara tečnog helijuma za hlađenje.

Tridesetog januara 1987. Bela kuća je odobrila ovaj projekat. U aprilu je Ministarstvo za energiju otpočelo proces odabiranja mesta za izgradnju, na taj način što je pozvalo zainteresovane savezne države da se jave. Do krajnjeg roka, a to je bio 2. septembar 1987, stigle su ukupno 43 prijave (zajedno teške oko 3 tone) država koje su želele da privuku superkolajder na svoju teritoriju. Nacionalne akademije za nauku i inženjerstvo imenovale su jedan odbor koji je od ponuđenih 43 izabrao 7 terena sa najboljim 'kvalifikacijama', a onda je, 10. novembra 1988, ministar za energiju saopštio odluku svog ministarstva: superkolajder ide u oblast Elis u Teksasu.

Deo razloga za ovakav izbor leži duboko ispod tekstaških ravnica. Od grada Ostina pa na sever sve do Dalasa prostire se jedna geološka formacija stara osamdeset miliona godina, poznata kao 'ostinska kreda'. Ona se tu nataložila kao sediment u doba kad je more prekrivalo veliki deo Teksasa. To doba zove se razdoblje krede. Kreda ne propušta vodu, dovoljno je meka da omogući lako kopanje, a ipak toliko čvrsta da ne bi bilo potrebno dodatno ojačavanje zidova tunela. Teško da bi se iko mogao nadati da će kopati tunel za superkolajder kroz neki bolji materijal.

U međuvremenu, bitka za finansiranje superkolajdera tek je počinjala. Prelomni trenutak za projekte ove vrste jeste odobravanje prve tranše para za građevinske radove. Sve do tog trenutka, ulagalo se samo u razvoj i istraživanje, a to se može lako započeti i

isto tako lako zaustaviti. Ali kad krenu građevinski radovi, onda je za političare prilična nezgodno da prestanu zato što bi time prećutno priznali da su novci utrošeni uludo na već obavljene, pa prekinute radove. U februaru 1988. predsednik Regan je zatražio od Kongresa 363 miliona dolara za građevinske radove, ali je Kongres odobrio samo 100 miliona dolara, i to izričito samo za istraživanje i razvoj, a ne za građevinske radove.

Projekat SSC nastavio se kretati kao da mu je budućnost osigurana. Januara 1989. određen je jedan industrijski tim za menadžment, a Roj Šviter (Roy Schwiters) sa Harvarda izabran je za direktora superkolajderske laboratorije. Šviter je bradat, ali srazmerno mlad opitni fizičar, tada je imao 44 godine, a svoje menadžerske sposobnosti dokazao je kao vođa velikih grupa saradnika u vodećem američkom pogonu za visoke energije, kolajderu Tevatron u Fermilabu. Sedmog septembra 1989. stigle su nam dobre vesti: zajednički konferencijski odbor Senata i Predstavničkog doma saglasio se sa odobravanjem 225 miliona dolara za SSC u fiskalnoj 1990. godini, od čega je 135 bilo namenjeno baš za građevinske radove. Projekat superkolajdera konačno se odlepio od faze istraživanja i razvoja.

Borba nije bila gotova. Svake godine superkolajder ponovo ide pred Kongres i traži nastavak finansiranja, i svake godine protiv njega se pokreću novi napadi sa uvek istim argumentima. Samo veoma naivan fizičar bi se iznenadio kad bi saznao kako malo ti argumenti, u stvari, imaju veze sa narušavanjem elektroslabe simetrije ili sa konačnim zakonima prirode. Ali samo veoma ciničan fizičar neće biti baš nimalo rastužen zato što tu istinu zna.

Glavni i najjači činilac koji opredeljuje političare da se izjašnjavaju za superkolajder ili protiv njega jeste najneposredniji ekonomski interes građana u njihovoj izbornoj jedinici. Glavna 'nemeza' superkolajdera u Kongresu, poslanik Džon Riter, uporedio je superkolajder sa 'političkim svinjogojstvom' (tako kažu za one projekte koji sami po sebi ne vrede ništa, ali će doneti političku korist onim kongresmenima koji ih forsiraju), rekavši da je to 'kvarkogojstvo'. Pre nego što je lokacija za izgradnju odabrana, imali smo opštu podršku svih onih koji su se nadali da će superkolajder biti kod njih, u njihovim saveznm državama. Kad sam svedočio u prilog superkolajderu pred jednim senatorskim odborom 1987. godine, jedan od senatora mi je rekao da u tom trenutku ima gotovo sto senatora koji su za superkolajder, ali kad se odabere lokacija za izgradnju, ostaće samo dvojica. Podrška superkolajderu je svakako popustila, ali je taj senator ipak bio previše pesimističan. I sad postoji podrška od više nego dvojice senatora. Možda je to zato što kompanije širom SAD dobijaju porudžbine za komponente koje će biti ugrađene u superkolajder, ali, po mom mišljenju, delimično je i zato što ljudi uviđaju koliku naučnu važnost ovaj projekat ima.

Mnogi protivnici superkolajdera ukazuju na hitnu potrebu da se sreže federalni deficit. Ovo je kao svoju temu stalno ponavljao senator Dejl Bampers (Dale Bumpers) iz Arkanzasa, takođe jedan od vodećih protivnika SSC-a u Senatu. Ja razumem njegovu zabrinutost, ali ne razumem zašto kresanje deficita mora početi baš na najistaknutijim domašajima nauke. Čovek pomisli na mnoge druge projekte, od svemirske stanice do podmornice 'Morski vuk', koji su mnogo skuplji, a čija je unutrašnja vrednost daleko manja. Moramo li mi nastaviti te druge projekte da bismo zaštitili od ukidanja radna mesta mnogih zaposlenih? Ali novac utrošen na superkolajder stvara otprilike isti broj radnih mesta kao i novac utrošen na ma šta drugo. Možda nije suviše cinično ako sugerišemo da su projekti kao svemirska stanica i 'Morski vuk' odveć dobro politički

zaštićeni mrežom kompanija vojne i avio-industrije, tako da ne mogu biti obustavljeni, i da zato SSC ostaje na brisanom prostoru kao podesna žrtva koju treba uništiti da bi se, čisto simbolično, 'smanjivao' deficit.

Jedna od uporno pokretanih tema u raspravama o superkolajderu bila je ona o navodnoj prevlasti 'velike nauke' ili 'male nauke'. Superkolajder je privukao na sebe neprijateljstvo nekih naučnika koji vole jedan stariji i skromniji stil vršenja opita: jedan profesor i jedan postdiplomac nešto petljaju u podrumu fakultetske zgrade. Većina onih koji rade u današnjim ogromnim akceleratorским laboratorijama takođe bi više volela taj stil fizike, ali mi smo u prošlosti postigli takve uspehe da sad naprosto ne možemo ići dalje sa Raderfordovim kanapom i pečatnim voskom. Pretpostavljam da mnogi vazduhoplovcu nostalgично razmišljaju o danima kad je pilotska kabina bila otvorena sa gornje strane, ali nećete, valjda, tako preko Atlantskog okeana.

Protivljenje projektima 'velike nauke' kao što je superkolajder dolazi i od nekih naučnika koji bi radije videli da se te iste pare utroše na neke druge projekte (recimo, njihove sopstvene). Ali oni se, po mom utisku, zavaravaju. Kad je administracija zatražila, a Kongres uskratio novce za superkolajder, tako oslobođeni novac preusmeren je u projekte za navodnjavanje, a ne u nauku. Mnogi od tih projekata za navodnjavanje su čisto 'političko svinjogojstvo', a proždiru svote spram kojih fondovi za SSC izgledaju patuljasto.

Neki su napali superkolajder zbog utiska da je u nekoj vezi sa Reganovim 'Zvezdanim ratovima' protiv nailazećih neprijateljskih raketa, odnosno sa svemirskom stanicom: kao, Regan pati od bezumnog oduševljenja za sve redom što je veliko, novo i tehnološko. A meni se baš čini da njihovi napadi izviru iz njihove jednako bezumne nenaklonosti prema svemu što je veliko, novo i tehnološko. Novinari su redovno trpali u jednu istu vreću svemirsku stanicu i superkolajder, kao užasavajuće primere velike nauke, uprkos činjenici da svemirska stanica uopšte nije naučni projekat. Natezanja jesmo li za malu ili smo za veliku nauku predstavljaju zgodan način da se izbegne razmišljanje o pojedinačnoj vrednosti nekog određenog projekta.

Izvesna politička podrška, nezanemarljiva, dolazi od onih koji vide superkolajder kao jednu vrstu industrijske staklene bašte, u kojoj ćemo mi svakako, hteli-ne hteli, morati da ubrzamo svoj napredak u nekim kritično važnim tehnologijama: u kriogenici, konstruisanju magneta, kompjuterima koji mogu da prate veoma brze procese i tako dalje. Superkolajder bi bio i intelektualno bogatstvo zato što bi oko sebe, dakle u našoj zemlji, zadržao mnoge izuzetno nadarene naučnike. Bez superkolajdera, celo jedno pokolenje fizičara visokih energija moraće se odseliti u Evropu ili u Japan da tamo nastavi istraživanja. Čak i oni koji ne mare za rezultate u fizici mogli bi se doseliti da zajednica fizičara visokih energija predstavlja jedan zdenac naučne nadarenosti koji je našoj zemlji dobro poslužio, još od 'Projekta Menhetn' u prošlosti, pa do današnjeg rada na uporednim programima za superkompjutere.

To su dobri i značajni razlozi da naš Kongres podrži SSC, ali to nisu razlozi koji dotiču srce fizičarevo. Jer ono kuca neodložnom željom da vidi superkolajder priveden kraju zato što oseća da bez njega ne možemo nastaviti našu veliki intelektualnu pustolovinu otkrivanja konačnih zakona prirode.

U oblast Elis sam 'sišao' pred kraj jeseni 1991. godine da pogledam teren za izgradnju superprovodnog superkolajdera. Zemljište je u tom delu Teksasa uglavnom

blago talasasto i dobro navodnjeno nebrojenim potočićima pored kojih rastu šumarci 'pamučnog' drveća. U to doba godine, zemljište nije izgledalo mnogo lepo: sa gotovo svih njiva bilo je sve požnjeveno, a ozimi usevi još nisu iznikli, tako da si svuda mogao videti uglavnom ogromna prostranstva blata i samo nekoliko polja belih od pamuka koji zbog nedavnih kiša nije mogao biti na vreme požnjeven. Nebom su patrolirali jastrebovi, nadajući se da uhvate nekog miša ako krene u pabirčenje. Nije to zemlja kauboja. Na jednoj livadi video sam zgurenu grupu krava sorte 'crni angus', na drugoj jednog belog konja samog, ali stoka koja stiže na stočne tržnice Fort Vorta dolazi uglavnom sa rančeva koji su daleko na severu i na zapadu od oblasti Elis. Dok se vozite ka budućim stambenim zgradama koje će činiti kampus onih što će raditi na SSC-u, dobri državni drumovi namenjeni prevozu robe od farme do tržnice postepeno se svedu na zemljane seoske puteljke, nimalo različite od onih kojima su farmeri donosili ovoj zemlji pamuk pre sto leta.

Znao sam da sam stigao na zemljište koje je Teksas otkupio za kampus kad sam se provezao pored nekih farmi sa daskama zakucanim unakrst preko prozora kuća; čekale su da budu premeštene ili srušene. Oko kilometar i po odatle, na sever, video sam ogromnu novu građevinu, 'Magnetaru', namenjenu razvijanju magneta. Onda, iza šumarka hrastova, visoki toranj za bušenje. Pomislio sam tada na Tomasa Hakslija.

Iako se tu već uveliko zidalo i bušilo, ja sam znao da budžet za ovaj projekat može i sad biti uskraćen. Mogao sam zamisliti kako se rupe zatrpavaju, a 'Magnetara' ostavlja prazna, i kako dolazi dan kad se samo još poneki stari farmer mutno seća da je bilo nekad nekih naučnih planova u oblasti Elis. Možda omađijan Hakslijevim viktorijanskim optimizmom, nisam mogao poverovati da će stvarno doći baš do toga, niti da će u našem vremenu traganje za konačnim zakonima prirode biti napušteno.

Niko ne može kazati da li će neki pojedinačni akcelerator biti sredstvo našeg stizanja do konačne teorije. Znam da te mašine predstavljaju neophodne sledeće stepene i naslednike u jednom istorijskom redosledu velikih naučnih uređaja, koji se pruža od današnjih akceleratora kao što su onaj u Brukhejvenu, u CERN-u, DESI, Fermilab, KEK i SLAK, unazad preko Lorensovog ciklotrona i Tomsonove katodne cevi, sve do Frauenhoferovog (Frauenhofer) spektroskopa i Galilejevog teleskopa. Bez obzira na to da li će konačni zakoni prirode biti otkriveni ili neće biti otkriveni za našeg života, velika je stvar to što smo nosioci i nastavljači tradicije da se priroda stalno ispituje i preispituje, i da se uvek iznova, nebrojeno puta, postavljaju pitanja zašto ona jeste takva kakva jeste.

POGOVOR DRUGOM IZDANJU: SUPERKOLAJDER, GODINU DANA KASNIJE

Upravo kad je ova knjiga odlazila u štampu, u pozni oktobar 1993, Donji dom Američkog parlamenta izglasao je odluku da se program izgradnje superprovodnog superkolajdera ukine. Iako je u prošlosti bilo takvih glasanja, da bi potom program ipak bio spasavan, ovog puta ukidanje, bar dok ovo pišem, izgleda konačno. Politikolozi i istoričari nauke sigurno će u budućnosti imati mnogo posla dok budu analizirali tu odluku, ali možda nije prerano da ponudim nekoliko mojih objašnjenja kako se, i zašto, to dogodilo.

Na dan 24. juna 1993. Predstavnički dom je izglasao odluku da izbriše fondove za superkolajder iz budžeta namenjenog za energiju i vodu. Tako isto je glasao i godine

1992. Time budžet za energiju i vodu nije postao ništa manji, niti je dao veću podršku nekim drugim oblastima nauke; naprosto su novci od superkolajdera postali raspoloživi za neke druge projekte u oblasti energije i vode. Sada je samo povoljno glasanje u Senatu moglo spasiti superkolajdersku laboratoriju.

Još jednom su fizičari iz svih delova Sjedinjenih Američkih Država napustili svoje radne stolove i laboratorije da bi u Vašingtonu lobirali, celog leta, u korist superkolajdera. Teatralni vrhunac bitke oko opstanka superkolajdera verovatno je bila senatska rasprava koja je održana tokom 29. i 30. septembra 1993. Gledao sam tu raspravu i imao nadrealno iskustvo: slušao sam, naime, kako senatori, usred Senata, raspravljaju o postojanju Higsovih bozona i navode ovu knjigu kao autoritet. Najzad je, 30. septembra, Senat glasao sa 57 glasova za i 42 glasa protiv, i time doneo odluku da odobri fondove za superkolajder u punom iznosu (640 miliona dolara) koliko je vlada tražila. Ovu odluku je onda podržao i zajednički odbor Senata i Predstavničkog doma, ali 19. oktobra je Predstavnički dom sa maltene dvotrećinskom većinom odlučio da vrati budžet za energiju i vodu tom istom odboru, ali sa uputstvom da fond za superkolajder ima biti izbrisan. Pomenuti odbor se, evo, sastao i saglasio da projekat superkolajdera bude ukinut.

Zbog čega se ovo dogodilo? Program, to je sigurno, nije naišao ni na kakve tehničke teškoće. Tokom godinu dana proteklih od kad je ova knjiga napisana, iskopano je 24 kilometra tunela kroz ostinsku kredu ispod teksaškog okruga Elis. Za linearni akcelerator kućište je završeno, a oprema jednim delom ugrađena; bio je to prvi u nizu akceleratora koji je trebalo da šalju protone na putovanje kroz superkolajder. Završeni su radovi na 570 metara dugačkom tunelu za niskoenergetski 'buster' koji je trebalo da ubrzava protone kad iziđu iz linearnog akceleratora, da ih podigne do energije od dvanaest milijardi volti, a onda preda u nadležnost srednjenergetskom busteru. (To je, prema današnjim merilima, skromna energija, ali kad sam ja počinjao moja istraživanja u fizici, nijedna laboratorija na svetu nije mogla domašiti dvanaest milijardi volti.) Podignute su u Luizijani, Teksasu i Virdžiniji fabrike koje je trebalo masovno da proizvode magnete što bi vodili i fokusirali protone na putovanju kroz sva tri bustera, a zatim kroz glavni prsten, koji je 87 kilometara dugačak. Pored one laboratorije koju sam video prilikom moje posete 1991. godine - laboratorije za razvoj magneta - podignute su i druge zgrade: laboratorija za proveru magneta, laboratorija za testiranje akceleratorskih sistema i zgrada u kojoj je trebalo da budu smešteni masivni rashlađivači i kompresori potrebni da bi tečni helijum neprestano hladio superprovodne magnete glavnog prstena. Jedan program opita - u kome bi sarađivalo više od hiljadu doktora fizike iz dvadeset četiri zemlje - već je dobio predodobrenje, a drugi je bio blizu odobrenja.

Nije se ni dogodilo neko otkriće u fizici elementarnih čestica koje bi oslabilo razloge za izgradnju superkolajdera. I sad smo 'zaglavljani' u naporima da zakoračimo dalje od standardnog modela. Bez superkolajdera, naša najveća nada jeste da će fizičari u Evropi krenuti u ostvarenje svojih planova za jedan sličan akcelerator.

Nevolje projekta superkolajdera jednim delom su uzgredna posledica izvesnih političkih promena koje sa fizikom nemaju nikakve veze. Predsednik Klinton jeste nastavio pružanje podrške administracije projektu superkolajdera, ali Klintonu je taj projekat politički manje važan nego što je bio predsedniku Bušu, koji je iz Teksasa, ili predsedniku Reganu, tokom čijeg mandata je taj projekat otpočeo. Možda je najvažnije bilo to što su mnogi članovi Kongresa (naročito oni novoizabrani) osetili potrebu da

dokažu svoju budžetsku štedljivost tako što će glasati protiv nečega. Projekat superkolajdera čini samo 43 hiljadita dela jednog postotka ukupnog federalnog budžeta, ali postao je zgodan politički simbol.

Najupornije ponavljana nota u raspravi o superkolajderu bila je zabrinutost oko prioriteta. Ovo je ozbiljna tema; vidimo da neki od naših sugrađana nemaju dovoljno dobru ishranu niti dovoljno dobre stanove, pa zbog toga nikad nije lako izdvojiti novac za bilo šta drugo. Ali neki poslanici uviđaju da dugoročni dobici od ulaganja u temeljnu nauku mogu biti mnogo važniji nego sva neposredna dobra dela koja se tim istim novcem mogu učiniti za današnje nezbrinute. Uostalom, mnogi članovi Kongresa koji su žustro osporavali prioritetnost superkolajdera glasaju rutinski za razne druge projekte čija je važnost daleko manja. Drugi krupni projekti, pa i svemirska stanica, preživeli su ovu godinu, ne toliko zbog svoje unutrašnje vrednosti koliko zbog činjenice da veliki broj glasača, onih koji stoje iza naših kongresmena, ima ekonomsku dobit od tih programa. Da je superkolajder bio dva puta skuplji i stvarao dva puta više radnih mesta, možda bi bolje prošao.

Protivnici superkolajdera naveliko su insistirali na tvrdnjama da je projektom loše upravljano i da su se troškovi oteli kontroli. A istina glasi da nikakvog lošeg upravljanja nije bilo, a da su gotovo sva povećanja troškova proistekla iz kašnjenja u odobravanju finansijskih sredstava iz državnog budžeta. To sam ja i rekao kad sam svedočio pred senatskim Odborom za energiju i prirodna bogatstva, u avgustu 1993. Najbolji odgovor na sve takve optužbe dao je u avgustu ministar za energiju O'Liri (O'Leary) koji je rekao da je projekat utrošio dvadeset odsto ukupno predviđene svote i da je sad dvadeset odsto dovršen.

Neki kongresmeni su zastupali gledište da superkolajder jeste naučno vredan, ali da ga ne možemo sebi priuštiti baš sad. Ali kad god da započnemo neki projekat takvih razmera, čije ostvarenje mora trajati dugi niz godina, neminovno je da naiđu i neke godine koje će ekonomski biti loše. I šta treba da radimo - da započinjemo sve nove i nove velike projekte, ali i da ih redom napuštamo kad god privreda posustane? Upravo sada smo otpisali, kao propale, dve milijarde dolara i deset hiljada radnih godina ukupno dosad uloženi u superkolajder; koje bi to strane vlade i koji naučnici želeli učestvovati u ma kom takvom projektu u budućnosti, ako on može biti poništen kad god ekonomija opet zaškripi? Naravno da svaki program treba da bude izložen preispitivanju, ako to zahtevaju promene u nauci ili tehnologiji. Pa, zapravo, sami nuklearni fizičari su povukli prvi potez u poništenju projekta 'Izabela', a to je bio naš poslednji veliki akceleratori projekat, zato što su promene u ciljevima fizike zahtevale da se povuče baš takav potez. Ali u razlozima za izgradnju superkolajdera nije se izmenilo ništa. Sad, kad je program za superkolajder ukinut, i to ukinut zbog toga što je budžet tesan ove godine, izgleda da su Sjedinjene Države rekle trajno 'zbogom' svakoj nadi da će u budućnosti imati odgovoran program istraživanja u fizici elementarnih čestica.

Razmišljam sad o letošnjoj borbi i nalazim neku utehu u tome da postoje i neki kongresmeni koji, bez obzira na sve političke i ekonomske pobude koje ih podstiču da podrže superkolajder, zaista jesu zainteresovani i za naučni posao koji bi superkolajder obavio. Jedan od takvih je senator Benet Džonston (Bennett Johnston) iz Luizijane, koji je organizovao prosuperkolajdersku stranu uoči senatske rasprave. Njegova zavičajna savezna država ima ekonomski interes da proizvodi magnete za superkolajder, ali, izvan toga, on je i oduševljeni 'navijač nauke', što je i ispoljio svojim rečitim govorom u

Senatu. Isto intelektualno uzbuđenje zbog same nauke nalazimo i u izjavama nekih drugih članova Kongresa, kao što su senatori Moynihan (Moynihan) iz Njujorka i Kerrey (Kerrey) iz Nebraske i kongresmeni Nedler (Nadler) sa Menhetna i Gepart (Gephardt) iz Misurija; kao i kod predsednikovog savetnika za nauku Džeka Gibonsa (Jack Gibbons). U maju sam išao kao član jedne grupe fizičara na susret sa onim članovima Kongresa koji su skupštinske novajlije, prvi put izabrani. Kad su drugi objasnili kakvo vredno tehnološko iskustvo možemo steći izgradnjom superkolajdera, ja sam rekao da, doduše, o politici ne znam mnogo, ali da mi se čini da ne treba zaboraviti da ima mnogo glasača koji se iskreno zanimaju za temeljne probleme nauke, bez obzira na eventualnu tehnološku primenljivost. Jedan kongresmen iz Kalifornije tada je primetio da se sa mnom slaže samo u jednom: naime, da o politici ne znam mnogo. Malo kasnije u salu je ušao jedan kongresmen iz Merilenda. Neko vreme je slušao raspravu o korisnim tehnološkim ostvarenjima koja će usput, uz rad na superkolajderu, biti postignuta; zatim je rekao da ne treba zaboraviti da su mnogi glasači zainteresovani i za temeljne probleme nauke. Ja to čuo, pa otišao srećan.

Rasprava o superkolajderu navodi čoveka i na neke misli koje su manje vesele. Već vekovima, odnose između nauke i društva nalaže jedna prećutna pogodba. Većina naučnika želi da postigne otkrića koja su sveobuhvatna ili divna ili temeljna, bez obzira na to da li mogu doneti ikakvu konkretnu korist za društvo. Neki ljudi koji nisu naučnici nalaze da je takva, čista nauka uzbuđljiva, ali društvo, baš kao onaj kongresmen iz Kalifornije, uglavnom podržava nauku zato što očekuje da će tu biti i nečeg primenljivog, neposredno korisnog. To očekivanje se, govoreći uopšteno, ostvarivalo. Nije reč samo o tome što svaki naučni rad ranije ili kasnije, verovatno, naiđe makar i nehotice na neku mogućnost korisne primene. Suština je u tome da mi, kad pomeramo krajnje granice dostignutog znanja, nalazimo stvari koje su zaista nove, a neke od njih se pokažu korisne. Tako se, eto, za elektrone i za radioaktivnost pokazalo da su korisne stvari. Osim toga, u stremljenju ka novim otkrićima mi postizemo novu tehnološku i intelektualnu virtuoznost, koja vodi ka novim praktičnim primenama.

Ali sada se ta prećutna pogodba, reklo bi se, počinje da kviri. Neki kongresmeni su izgubili poverenje u čistu nauku; što je još gore, neki naučnici koji rade u neposredno primenljivijim poljima počeli su, u borbi za što veći udeo u budžetu, da napadaju nas koji tragamo za zakonima prirode. Ovo kako je superkolajder nastradao u Kongresu samo je jedan simptom šireg gubljenja naklonosti prema temeljnoj nauci. Drugi takav simptom jeste nedavni pokušaj da se u Senatu progura zahtev da Nacionalna zadužbina za nauku ubuduće posvećuje šezdeset odsto svojih fondova rešavanju socijalnih problema. Ne kažem da to ne bi bio dobro potrošen novac, ali užasavajuće je da neki senatori žele da obezbede pare za socijalu tako što bi manje para davali za temeljna naučna istraživanja. Rasprava oko superkolajdera pokrenula je neka pitanja čija važnost nadilazi tu jednu spravu, pitanja koja će ostati sa nama u predstojećim decenijama.

Ostin, Teksas
oktobar 1993.

BELEŠKE

1. PROLOG

(13) Aristotel tvrdi da je kretanje projektila (bačenog predmeta) delimično prirodno, a delimično ne prirodno: Oduvek sam imao utisak da je Aristotel govorio da će projektil putovati pravolinijski sve dok ne potroši sav svoj početni impuls i da će onda pasti okomito na tle. Međutim, nisam uspeo pronaći tu tvrdnju nigde u njegovim delima. Jedan stručnjak za Aristotela, Robert Henkinson (Robert Hankinson), sa Univerziteta Teksas, uverava me da Aristotel nikada nije rekao ništa što bi bilo toliko suprotno opažanjima, i da sam ja verovatno negde naišao na neko srednjovekovno pogrešno navođenje Aristotelovih gledišta.

(15) Uistinu, reč 'zakon' retko je korišćena u antičkim vremenima: E. Zilsel, "The Genesis of the Concept of Physical Law", *Philosophical Review* 51 (1942): 245.

(15) Proučavalac klasike Piter Grin smatra da krivicu za ograničenost grčke nauke...: Peter S. Green, *Alexander to Actium: The Historical Evolution of the Hellenistic Age* (Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1990), pp. 456, 475-8.

(16) Njutn je opisao u svojoj knjizi *Optika* kako bi se, po njegovom mišljenju, taj program mogao izvesti: Zahvaljujem se Bengtu Nejdželu (Bengt Nagel) što mi je preporučio da upotrebim ovaj navod.

(17) Robert Endrus Milikan, takođe američki eksperimentalista: *The Autobiography of Robert A. Millikan* (New York: Prentice-Hall, 1950), p. 23. Takođe vidi belešku: K. K. Darrow, *Isis* 41 (1950): 201.

(17) Pričao mi je jedan prijatelj da se po Kembridžu često govorkalo, u doba kad je on bio student: Fizičar Abdus Salam.

(17) postoji obilje drugih dokaza o... osećanju naučnog samozadovoljstva: Priloge o osećanju zadovoljstva postignutim u nauci poznog devetnaestog veka sakupio je istoričar sa Berklija Lorens Bedaš i objavio u delu: Lawrence Badash, "Celovitost nauke devetnaestog veka", *Isis* 63 (1972): 48-58.

(19) "Čini se da nije daleko dan kada će se...": A. A. Michaelson, *Light Waves and Their Uses* (Chicago: University of Chicago Press, 1903), p. 163.

(20) da "osnovni fizički zakoni...": P. A. M. Dirac, "Quantum Mechanics of Many Electron Systems", *Proceedings of the Royal Society A* 123 (1929): 713.

(21) Kao što kaže njegov biograf Ejbraham Peiz: Tako je to naveo Bokser (S. Boxer) u *New York Times Book Review*, January 26, 1992, p.3.

2. O PARČETU KREDE

(24) Naslov njegovog predavanja bio je: Thomas Henry Huxley, *On a Piece of Chalk*, ed. Loren Easley (New York: Scribner, 1967).

(26) pa kad se dogodi apsorpcija takvih fotona, onda oni preostali... zelenkastoplave boje: Ta boja nije kod svakog jedinjenja bakra sasvim ista zato što na energije atomskih stanja utiču okolni atomi.

(29) daje spisak pitanja koja su još otvorena: D. J. Gross, "The Status and Future Prospects of String Theory", *Nuclear Physics (Proceedings Supplement)* 15 (1990): 43.

(29) deset primera pitanja: E. Nagel, *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation* (New York: Harcourt, Brace, 1961).

(30) Iako je Njutn svoje slavne zakone kretanja izveo jednim delom iz ranijih Keplerovih: Po Keplerovim zakonima, orbite planeta su elipse kojima je Sunce u jednoj žiži; brzina svake planete tokom kretanja po elipsi menja se na takav način da linija koja

spaja planetu sa Suncem pokrije u jednakom vremenskom razmaku jednake površine; a kvadrati perioda obrtanja oko Sunca srazmerni su kubovima najvećih prečnika eliptičnih putanja. Njutnovi zakoni kažu da svaka čestica u Vaseljeni privlači svaku drugu silom koja je srazmerna njihovoj masi, ali obrnuto srazmerna kvadratu udaljenosti između njih, i nalažu kako se telo kreće pod uticajem bilo koje date sile.

(30) da "najnoviji teorijski metodi, inteligentno primenjeni...": H. F. Shaefer III, "Methylene: A Paradigm for Computational Quantum Chemistry", Science 231 (1986): 1100.

(31) nismo sigurni da ćemo ikada znati kako da te proračune izvedemo: Ima teoretičara koji pokušavaju da izvedu izračunavanja o jakim nuklearnim silama tako što će prostorvreme predstaviti kao rešetku zasebno razaznatljivih tačaka, i što će onda uključiti u rad veći broj kompjutera uporedno, u nadi da steknu uvid u vrednost tih polja na svakoj takvoj tački. Postoji nada, ali smo daleko od izvesnosti, da bi takvim metodima odlike jezgra mogle biti izvedene iz načela kvantne hromodinamike. Ali do sada nije uspelo čak ni izračunavanje mase protona i neutrona, dvaju čestica od kojih je jezgro sačinjeno.

(31) da "u temelju celog modernog pogleda na svet leži privid...": L. Wittgenstein, Tractatus Logico-Philosophicus, trans. D. F. Pears and B. F. McGuines (London: Routledge, 1922), p.181. U sličnom duhu govorio mi je i jedan moj filozofski orijentisani prijatelj, profesor Filip Bobit (Philip Bobbit) sa Pravnog fakulteta Univerziteta Teksas. Rekao je: "Kad me neko dete pita zašto jabuka pada na zemlju, a ja mu kažem 'To ti je zbog gravitacije', nisam objasnio ništa. Fizika daje matematičke opise fizičkog sveta, ali to nisu objašnjenja..." Slažem se da bi tako bilo, ako bi gravitacija bila samo sklonost teških predmeta da padaju na Zemlju. Ali ako pod gravitacijom podrazumevamo ceo kompleks pojava opisan teorijama Njutna i Ajnštajna, a gde ulaze i plime i oseke, i kretanja planeta i galaksija, onda odgovor da jabuka pada zbog gravitacije meni svakako zvuči kao objašnjenje. U svakom slučaju, na taj način većina aktivnih naučnika shvata značenje reči 'objašnjenje'.

(32) Kad se pravila kvantne mehanike primene na atome od kojih se kreda sastoji: Najstabilniji su oni hemijski elementi čiji je broj elektrona toliki da ti elektroni mogu uredno da se uklope u celovite elektronske omotače; takvi su inertni (plemeniti) gasovi: helijum (dva elektrona), neon (deset elektrona), argon (osamnaest elektrona) i tako dalje. (Te gasove nazivamo inertnim ili plemenitim zato što u hemijskim reakcijama učestvuju malo ili nimalo.) Kalcijum ima dvadeset elektrona, dva više nego argon; svi argonovi elektronski omotači su celoviti, ali ugljenik izvan toga ima još dva elektrona, i lako ih gubi. Kiseonik ima osam elektrona - dakle, tek kad bi ulovio još dva imao bi celovite omotače kao neon; zato je kiseonik sklon da dogradi dva elektrona odnekud i time popuni rupe u svom elektronskom omotaču. Ugljenik ima šest elektrona, pa ga vi možete gledati kao 'helijum sa dodata još četiri' ili 'neon sa oduzeta četiri' elektrona. Iz tog razloga ugljenik može i da izgubi četiri, ali i da dobije četiri elektrona. (Ova ambivalencija omogućuje ugljenikovim atomima da se veoma čvrsto vežu jedan za drugi, što i čine u dijamantu.)

(33) Broj protona mora biti jednak broju elektrona da bi atom ostajao električno neutralan: Ako atom ima neko pozitivno ili negativno naelektrisanje, onda on ispoljava sklonost da dobije ili izgubi izvestan broj elektrona da bi postao električno neutralan.

(37) čudnovate fosile (zaista nastranog izgleda) u Burdžesovom škrljcu: S. J. Gould, *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* (New York: Norton, 1989).

(40) Suštinu izranjanja lepo je uhvatio: P. Anderson, *Science* 177 (1972): 393.

(41) i jednu osobinu zvanu entropija: Da biste definisali entropiju, zamislite da se temperatura jednog sistema veoma lagano diže od apsolutne nule. Povećanje entropije sistema dok on prima svaku sledeću novu, malu količinu energije jednako je toj energiji podeljenoj apsolutnom temperaturom pri kojoj se ta toplota dodaje.

(41) koja se proticanjem vremena uvek uvećava u svakom zatvorenom sistemu: Važno je zapaziti da se entropija može i smanjivati u onom sistemu koji nije zatvoren nego je sposoban da razmenjuje energiju sa svojom okolinom. Pojava živih bića na Zemlji predstavlja smanjenje entropije, a termodinamika to dopušta zato što Zemlja prima energiju sa Sunca i gubi energiju ispuštajući je u svemir.

(41) Ernest Nejdžel je ovo naveo kao paradigmatični primer svođenja jedne teorije na drugu: E. Nagel, *The Structure of Science*, pp. 338-45.

(41) bitka između pristalica nove statističke mehanike i...: Priču o ovoj bici ispričao je istoričar Stiven Braš (Stephen Brush) u delu *The Kind of Motion We Call Heat* (Amsterdam: North-Holland, 1976), naročito u odeljku 1.9 knjige 1.

(42) objašnjenje zašto je termodinamika primenljiva na neki određeni sistem: Termodinamika važi za crne rupe, ne zbog toga što one sadrže veliki broj atoma, nego zato što sadrže veliki broj temeljnih jedinica mase kvantne teorije gravitacije, jednakih približno jednom stohiljaditom delu grama i poznatim kao Plankova masa. Ne bi bilo moguće primeniti termodinamiku na crnu rupu koja bi imala težinu manju od jednog stohiljaditog dela grama.

(44) "Većina korisnih koncepata u hemiji": R. Hoffman, "Under the Surface of the Chemical Article", *Angewandte Chemie* 27 (1988): 1597-602.

(44) korisni, ali koji bi mogli u ovakvom svođenju biti izgubljeni: H. Primas, *Chemistry, Quantum Mechanics, and Reductionism*, 2nd ed. (Berlin: Springer-Verlag, 1983).

(44) "Ne postoji nijedan deo hemije koji ne zavisi": L. Pauling, "Quantum Theory and Chemistry", in *Max Plank Festschrift*, ed. B. Kockel, W. Mocke, and A. Papapetrou (Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft, 1959), pp. 385-8.

(44) "Svakako je nemoguće": A. B. Pippard, "The Invincible Ignorance of Science", *Eddington Memorial Lecture delivered at Cambridge on January 28, 1988*, *Contemporary Physics* 29 (1988): 393.

(45) Gde bismo, tačno, mogli povući liniju razgraničenja?: Ponekad se kaže da razliku između čoveka i drugih životinja čini jezik, i da ljudi postaju svesni tek kad počnu govoriti. Međutim, računari koriste jezik, a ne bi se baš reklo da su svesni, dok, s druge strane, naš stari sijamski mačak Tai Tai nikada nije progovorio (a imao je na raspolaganju i vrlo ograničen raspon izraza lica), pa ipak je u svemu ostalom pokazivao iste znake svesnosti kao i ljudska bića.

(45) 'duh u mašini': G. Ryle, *The Concept of Mind*, (London: Hutchinson, 1949).

(46) da reči realizam i realist nikad više ne budu upotrebljene: G. Gissing, *The Place of Realism in Fiction*, reprinted in *Selections Autobiographical and Imaginative*

from the Works of George Gissing (London: Jonathan Cape and Harrison Smith, 1929), p. 217.

(48) Rekoh u nekom TV intervjuu: B. Moyers, *A World of Ideas*, ed. B. S. Flowers (New York: Doubleday, 1989), pp. 249-62.

(48) Slično tome, kada je Filip Anderson nedavno napisao omalovažavajući članak: P. Anderson, "On the Nature of Physical Law", *Physics Today*, December 1990, p. 9.

(48) 'anomalijskim pojavama u vezi sa svešču': R. G. Jahn and B. J. Dunne, *Foundations of Physics* 16 (1986): 721. Pošteno bi bilo da napomenem da Džan vidi svoj rad kao razumno produženje kopenhagenskog tumačenja kvantne mehanike, a ne kao deo nečeg paranormalnog. Realističko 'mnogoistorijsko' tumačenje kvantne mehanike ima tu prednost što nam pomaže da izbegnemo tu vrstu zabune.

(48) "Iako je njegova... radna soba samo koju stotinu metara daleko od moje": R. G. Jahn, pismo uredniku, *Physics Today*, October 1991, p. 13.

(48) a da i ne govorimo o nečemu tako malenom kao što je jedna osoba: Opšta teorija relativnosti zasniva se dobrim delom na načelu da gravitaciona polja ne deluju na vrlo malo telo koje se nalazi u slobodnom padu - naime, ne deluju ni na koji drugi način osim što mu nalažu da nastavi padati. Planeta Zemlja nalazi se, u Sunčevom sistemu, u slobodnom padu, pa zato mi ljudi na Zemlji ne osećamo gravitaciono polje Sunca, niti Meseca, niti ma čega drugog, osim po dejstvima kao što su plima i oseka, a koji nastaju zbog toga što Zemlja nije vrlo mala.

3. DVAPUT URA ZA REDUKCIONIZAM

(50) Naučni savet Kanade nedavno je napao: *Science*, August 9, 1991, p. 611.

(51) nije ništa manje ili više nego uviđanje da naučna načela jesu onakva kakva jesu zbog dubljih naučnih načela: Jednom prilikom sam u jednom članku napisao da to gledište jeste 'objektivni redukcionizam'; pogledajte, dakle, članak: S. Weinberg, "Newtonianism, Reductionism, and the Art of Congressional Testimony", *Nature* 330 (1978): 433-7. Ne nadam se da će tu sintagmu prihvatiti filozofi nauke, ali prihvatio ju je bar jedan biohemičar, Džozef Robinson (Joseph Robinson), i upotrebio u svome odgovoru na napad filozofa H. Kinkejda (H. Kincaid) na redukcionizam. Videti: J. D. Robinson, "Aims and Achievements of the Reductionist Approach in Biochemistry/Molecular Biology/Cell Biology: A Response to Kincaid", *Philosophy of Science*, tek treba da bude štampano.

(51) Podzemni čovek Dostojevskog zamišlja naučnika: Fyodor Dostoevsky, *Notes from Underground*, trans. Mirra Ginsburg (New York: Bantam Books, 1974), p. 13.

(51) Naše rasprave počele su kad se, u jednom svom članku godine 1985, on: E. Mayr, "How Biology Differs from Physical Sciences", from *Evolution at a Crossroads*, ed. D. Depew and B. Weber (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985), p.44.

(52) obrušio na jedan red teksta koji sam ja napisao u časopisu *Scientific American*: S. Weinberg, "Unified Theories of Elementary Particle Interactions", *Scientific American* 231 (July 1974): 50.

(52) Odgovorio sam člankom: S. Weinberg, "Newtonianism".

(52) Usledila je frustrirajuća prepiska: Deo te rasprave možete naći u: E. Mayr, "The Limits of Reductionism", a deo mog odgovora u: *Nature* 331 (1987): 475.

(53) "možda najprotivrečnije pitanje koje se ikad postavilo pred zajednicu fizičara": R. L. Park, *The Scientist*, June 15, 1987 (priređeno iz razgovora na simpozijumu 'Big Science/Little Science' na godišnjem sastanku American Physical Society, May 20, 1987).

(53) "nisu ni u kom smislu temeljniji": P. W. Anderson, letter to the *New York Times*, June 8, 1986.

(54) "DNK revolucija navela celo jedno pokolenje biologa na uverenje": H. Rubin, "Molecular Biology Running into a Cul-de-sac?" letter to *Nature* 335 (1988): 121.

(54) "nesumnjivo, hemijska priroda nekoliko crnih kutija": E. Meyr, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982), p. 62.

(56) Nema sumnje da će fizičari kondenzovane materije ranije ili kasnije rešiti problem superprovodljivosti pri visokim temperaturama, čak i bez ikakve neposredne pomoći fizičara elementarnih čestica: Kažem 'neposredne' zato što postoji i te kako velika posredna pomoć koju razne grane fizike daju jedna drugoj. Jedan deo nje je intelektualno unakrsno oplodžavanje; fizičari kondenzovane materije preuzeli su jedan od svojih glavnih matematičkih metoda (takozvani metod renormalizacionih grupa) od fizike čestica, a fizičari čestica su o pojavi zvanoj spontano narušavanje simetrije doznali od fizike kondenzovane materije. Kada je godine 1987. svedočio pred kongresnim odborima u prilog projektu superkolajdera, Robert Šrifer (Robert Schrieffer), koji je sa Džonom Bardinom (John Bardeen) i Lionom Kuperom (Leon Cooper) bio jedan od osnivača naše moderne teorije superprovodljivosti, naglasio je da se u svom radu na superprovodljivosti rukovodio između ostalog i iskustvom koje je stekao sa teorijama mezona u fizici elementarnih čestica. (U jednom nedavnom članku, "John Bardeen and the Theory of Superconductivity", *Physics Today*, April 1992, p. 46, Šrifer pominje da je godine 1957. njegovo nagađanje o kvantnomehantičkoj funkciji za superprovodnik bilo podstaknuto razmišljanjem o teoriji polja koju je dvadeset godina pre toga razvijao Sin-Itiro Tomonaga.) Naravno, različite grane fizike uzajamno se pomažu i na druge načine; na primer, superkolajder bi trošio tako ogromne količine električne energije, da niko ne bi mogao dati tolike novce za struju, i mi tu ne bismo imali nikakve nade da nije pri ruci tehnologija za izradu magneta od superprovodljivih kablova; a sinhrotronsko zračenje koje se emituje kao nuzproizvod u nekim akceleratorima čestica visoke energije pokazalo se kao veoma korisno u medicini i u proučavanju izvesnih materijala.

(57) "Ja bih stoga izoštrio kriterijum naučne vrednosti": A. M. Weinberg, "Criteria for Scientific Choice", *Physics Today*, March 1964, pp. 42-8. Takođe videti: A. M. Weinberg, "Criteria for Scientific Choice", *Minerva* 1 (Winter 1963): 159-71; and "Criteria for Scientific Choice II: The Two Cultures", *Minerva* 3 (Autumn 1964): 3-14.

(57) jedan moj članak o tim pitanjima: S. Weinberg, "Newtonianism".

(58) autor Džejsms Glajk. (On je predstavio širem čitalištu fiziku haosa): J. Gleick, *Chaos: Making a New Science* (New York: Viking, 1987).

(58) U jednom svom nedavnom istupanju, Glajk kaže: Završno obraćanje Džejsma Glajka na konferenciji povodom dodeljivanja Nobelove nagrade u koledžu 'Gustav Adolf' (Gustavus Adolphus), oktobar 1990.

4. KVANTNA MEHANIKA I NJENA NEZADOVOLJSTVA

(66) po jedan broj za svaku tačku u prostoru: Jasna je stvar da u svakoj zapremini prostora imate bezbroj tačaka, iz čega sledi da nije stvarno moguće navesti u bilo kom spisku sve brojeve koji bi trebalo da predstavljaju jedan talas. Ali za svrhe vizualizacije (i često u numeričkim proračunima) moguće je zamisliti da se prostor sastoji od veoma velikog, ali ipak konačnog broja tačaka, koje zauzimaju neku određenu, konačnu, makar i veliku, zapreminu.

(66) Elektronski talas bi se takođe mogao opisati u svakom trenutku kao niz brojeva: To su, inače, složeni brojevi, što znači da u sebi najčešće sadrže i jednu komponentu označenu malim latiničnim slovom i , a ona je jednaka kvadratnom korenu iz minus jedan, ali takođe sadrže obične brojeve, kako pozitivne tako i negativne. Ako pogledamo bilo koji složeni broj, onaj njegov deo koji je srazmeran vrednosti i nazivamo imaginarni deo toga složenog broja; a za preostali deo kažemo da je stvarni deo njegov. Ja u ovoj knjizi malo 'pretrčavam' preko te komplikacije zato što ona, iako sama po sebi jeste važna, ne utiče stvarno na ono što hoću da kažem o kvantnoj mehanici.

(67) kad takav paketić tresne u jedan atom, trebalo bi da se razbije: Istina je sledeća. Taj talasni paketić elektrona počinje da se razbija još pre nego što udari u atom. Razumeli smo, posle izvesnog vremena, da ova pojava nastaje zato što, prema probabilističkom tumačenju kvantne mahanike, taj talasni paketić nije elektron sa jednom određenom brzinom nego je jedna raspodela njegovih različitih mogućih brzina.

(68) elektronski talas uobličan tako da se u njemu glatko i često smenjuju mnoga mala izdignuća i ulegnuća raširena preko mnogih talasnih dužina predstavlja elektron čiji impuls prilično tačno znamo: Ovaj opis mogao bi nekoga navesti na pogrešan utisak da u tom stanju, kad elektron ima određen impuls, postoji neko naizmenično smenjivanje između tačaka gde elektron verovatno nije, što će reći onih gde su odgovarajuće vrednosti talasne funkcije najmanje, i tačaka gde elektron verovatno jeste, dakle onih gde su vrednosti te talasne funkcije najveće. To nije tako, jer, kao što smo pomenuli u jednoj ranijoj beleški, talasna funkcija je složena. Uistinu, postoje dva dela svake vrednosti talasne funkcije: nazivamo ih stvarni deo i imaginarni deo. Ta dva dela su u raskoraku jedan sa drugim: kad je jedan mali, drugi je veliki. Verovatnoća da se elektron nalazi u ma kom određenom malom području prostora srazmerna je zbiru kvadrata ta dva dela vrednosti talasne funkcije za taj položaj, a taj zbir je strogo konstantan u stanju određenog impulsa.

(68) koju je nazvao komplementarnost: N. Bohr, Atti del Congresso Internazionale dei Fisici, Como, Settembre 1927, reprinted in Nature 121 (1928): 78, 580.

(69) sa verovatnoćama koje su određene kvadratima vrednosti talasne funkcije: Strogo uzev, verovatnoću raznih konfiguracija daje zbir kvadrata stvarnog i imaginarnog dela vrednosti talasne funkcije.

(70) mitska... čestica koja ima samo dva moguća položaja: Naravno da čestice u stvarnom svetu mogu imati i više položaja, a ne samo dva, ali postoje izvesni fizički sistemi koje mi možemo, iz praktičnih razloga, posmatrati tako kao da imaju samo dve konfiguracije. Spin elektrona daje primer nečega što jeste u stvarnom svetu, a gledamo ga kao sistem sa samo dva stanja. (Spin, odnosno ugaoni momenat, bilo kog sistema jeste mera sledećih odlika: koliko se taj sistem brzo vrti oko sebe, koliko je masivan, i koliko je daleko njegova masa opružena od ose rotacije u prostor. Smatra se da spin ima pravac, koji leži opružen duž ose rotacije.) U klasičnoj mehanici, spin nekog žiroskopa ili planete može imati bilo koju veličinu i bilo koji pravac. Za razliku od toga, u kvantnoj mehanici

je ovako: ako izmerimo iznos spina jednog elektrona oko nekog pravca - na primer severa (a to se obično radi tako što se meri energija međudejstva elektrona i magnetnog polja u tom pravcu) - dobićemo samo jedan od dva moguća rezultata: naime, spin rotira oko tog pravca ili u smeru kazaljke na satu ili u suprotnom, ali veličina tog spina je uvek ista. Veličina spina elektrona oko ma kog pravca jednaka je Plankovoj konstanti podeljenoj sa 4π , a to je približno sto miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona puta slabije od momenta impulsa planete Zemlje.

(70) verovatnoća da će se pokazati da je ovde data je kvadratom vrednosti ovde neposredno pre merenja, a verovatnoća da je ipak tamo data je kvadratom vrednosti tamo: Zbir te dve verovatnoće mora biti jednak jedinici (odnosno 100%), pa, prema tome, vrednost ovde na kvadrat plus vrednost tamo na kvadrat mora biti jednaka jedinici. Odavde sledi jedna vrlo korisna geometrijska slika. Nacrtajte pravougli trougao tako da jedna kateta ima dužinu jednaku vrednosti ovde, a druga kateta dužinu jednaku vrednosti tamo. Ne morate biti diplomac matematike da biste znali jednu vedru istinu o pravougloj trouglu: kvadrat nad njegovom hipotenuzom biće jednak zbiru kvadrata nad katetama. Ali kao što smo videli, kvadrat nad hipotenuzom moraće da iznosi tačno jedan, pa prema tome i hipotenuza mora imati dužinu 1. (Ne mislim 1 metar ili 1 stopu, nego mislim samo na broj, čist broj 1.) Možemo to preobratiti u drugi, jednako dobar primer: ako nam je data jedna strela čija je dužina tačno jednaka nekoj jedinici dužine (dakle, dugačka tačno 1 metar, 1 kilometar i slično), i ako ta strela leži u nekoj ravni određenoj, naravno, dvema dimenzijama (drugim rečima, ako ta strela jeste jedan dvodimenzioni jedinični vektor), onda kad pogledamo dve dimenzije te ravni (a one moraju biti pod pravim uglom jedna u odnosu na drugu) i kad projektujemo našu strelu na tu jednu dimenziju, pa zatim na tu drugu dimenziju, dobićemo dva broja čiji kvadrati, kad ih saberemo, daju neizbežno opet vrednost 1. Prema tome, umesto da određenije kažemo kolika je vrednost za ovde, a kolika za tamo, mi možemo stanje jednako dobro predstaviti jednom strelom (hipotenuzom našeg trougla) čija dužina iznosi 1, a čija projekcija na ma koji pravac jeste vrednost talasne funkcije za onu konfiguraciju sistema koja odgovara tom pravcu. Za tu strelu imamo naziv. Ona se zove vektor stanja. Dirak je razvio jednu pomalo apstraktnu formulaciju kvantne mehanike u terminima takvih vektora stanja, što ima izvesne prednosti u odnosu na formulaciju u terminima talasnih funkcija zato što možemo govoriti o vektorima stanja, a ne moramo se pozivati ni na koju pojedinačnu konfiguraciju sistema.

(71) o prirodi sistema o kome je reč: Dabome da su dinamički sistemi, ogromna većina njih, složeniji od naše mitske čestice. Pomislite samo, na primer, na dve takve čestice. Tu imamo četiri moguće konfiguracije, u kojima čestica jedan i čestica dva jesu: ovde i ovde, ovde i tamo, tamo i ovde, i tamo i tamo. Prema tome, talasna funkcija za stanje dveju takvih čestica ima četiri vrednosti, pa je potrebno šesnaest konstantnih brojeva da bismo opisali kako se ona razvija sa proticanjem vremena. Zapazite da je to još i sad samo jedna talasna funkcija, koja opisuje zajedničko stanje dveju čestica. To je gotovo uvek tako; nemamo po jednu, zasebnu, talasnu funkciju za svaki elektron ili drugu česticu, nego samo jednu talasnu funkciju za bilo koji sistem, pa ma koliko mnogo čestica bilo u njemu.

(71) postoji jedan par stanja, nešto nalik na stanja pouzdano utvrđenog impulsa, kojima možemo dati nazive stani i kreni: Ja to samo otprilike, netačno kažem da ta stanja

imaju pouzdano utvrđeni impuls. Ako postoje samo dva moguća položaja, stanje kreni je približno (najviše što se mi uopšte možemo primaći) jednom glatkom talasu koji ima svoj vrh ovde, a svoju udolinu tamo, i to odgovara čestici koja ima impuls različit od nule, dok stanje stani jeste kao jedan ravan talas, čija je talasna dužina mnogo veća nego daljina od ovde do tamo, a što odgovara čestici koja miruje. Ovo vam je bila primitivna verzija jedne analize koju matematičari nazivaju Furijeova (Fourier) analiza. (Strogo uzet, moramo uzeti vrednosti stani i kreni te naše talasne funkcije kao zbir ili kao razliku vrednosti za ovde i za tamo kroz kvadratni koren iz dva, da bi se zadovoljio uslov pomenut u prethodnoj beleški, a to je da zbir kvadrata tih dveju vrednosti mora biti jednak jedinici.)

(72) pisci, kao što je Frithof Kapra: F. Capra, The Tao of Physics (Boston: Shambhala, 1991).

(73) tako su jednostavne, da tu haotična rešenja nisu dopuštena: Fizičari ponekad koriste termin 'kvantni haos' da opišu one odlike kvantnih sistema koje bi bile haotične kad bi to bila (ali nije) klasična fizika. Kvantni sistemi nikada nisu haotični.

(75) i da su potom eksperimentalni fizičari dokazali: Naročito Alan Aspekt (Alain Aspect).

(77) da će odsad obe te istorije nastaviti da se odvijaju zasebno, jedna na drugu ne utičući: Pojava u kojoj dve istorije sveta prestaju uticati jedna na drugu zove se 'dekoherencija'. U poslednje vreme, velika pažnja posvećuje se proučavanju načina na koji do toga dolazi. Na dekoherenciji se mnogo angažuju teoretičari Marej Gel-Man i Džejms Hartl, i, zasebno od njih, Brus Devit.

(77) Dug je spisak fizičara koji su radili sa željom da iz temelja kvantne mehanike iščiste sve izjave o verovatnoći: Pomenuću samo neke reference. J. B. Hartle, "Quantum Mechanics of Individual Systems", American Journal of Physics (1968): 704; B. S. De Witt and N. Grahmann in The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics (Princeton: Princeton University Press, 1973), pp. 183-6; D. Deutsch, "Probability in Physics", Oxford University Mathematical Institute preprint, 1989; Y. Aharonov, rad u pripremi.

(81) da bi... nelinearnost opšte teorije mogla biti upotrebljena da se signali šalju trenutno na velika rastojanja: Polčinski je kasnije našao malčice izmenjeno tumačenje ove teorije, u kojoj je ta vrsta komunikacije brže od svetlosti zabranjena, ali u kojoj 'različiti svetovi' koji odgovaraju različitim ishodima merenja mogu nastaviti da komuniciraju jedan sa drugim.

5. PRIČE O TEORIJAMA I OPITIMA

(83) orbite... ispoljavaju svojstvo precesije: To znači da se orbita ne zatvori baš tačno. Planeta se kreće od tačke najbližeg prolaska pored Sunca, koja se zove perihel, u daljinu, u svemirski prostor, do tačke najvećeg udaljavanja od Sunca, koja je poznata kao afel, i vraća se onda svojom elipsastom putanjom još jednom u perihel, ali - pri tome načini oko Sunca obilazak malo veći od 360 stepeni. Tako nastalu laganu promenu orijentacije orbite obično nazivamo 'precesija perihela'.

(86) Podnoseći izveštaj Nobelovom odboru 1921. godine: Informacije ovde navedene o tim izveštajima Nobelovom odboru i o nominacijama uzete su iz vrhunski kvalitetne naučne biografije Ajnštajna koju je napisao Pejz Prefinjeno postupa Gospod

Bog: nauka i život Alberta Ajnštajna (A. Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*) (New York: Oxford University Press, 1982), poglavlje 30.

(87) astronomi iz pohoda prilikom pomračenja iz 1919. bili su optuženi za pristrasnost: Raspravu i reference o ovome potraži u: D. G. Mayo, "Novel Evidence and Severe Tests", *Philosophy of Science* 58 (1991): 523.

(87) u slučaju opšte teorije relativnosti, jedna retrodikcija... bila je u stvari test daleko pouzdaniji nego kasnija predikcija: Ja sam ovu primedbu izgovorio u mojim 'bamptonskim predavanjima' na Univerzitetu Kolumbija godine 1984. Kasnije mi je mnogo laknulo kad sam video da je do istog zaključka nezavisno došao jedan dokazano ugledni historičar nauke, Stiven Braš, u svome radu 'Predviđanje i vrednovanje teorije: slučaj sa savijanjem svetlosti'. (Stephen Brush, "Prediction and Theory Evaluation: The Case of Light Bending", *Science* 246 (1989): 1124.

(88) videli smo da su rani opitni dokazi za opštu teoriju relativnosti: Trebalo bi da pomenem da je Ajnštajn bio predložio i treći test za teoriju relativnosti, zasnovan na predviđenom gravitacionom crvenom pomaku svetlosti. Baš kao što projektil hitnut uvis sa površine planete Zemlje gubi brzinu dok se penje iz zahvata Zemljine gravitacije, tako isto i zrak svetlosti emitovan sa površine neke zvezde ili planete gubi energiju dok se penje u svemir. Kod svetlosti, ovaj gubitak energije se odražava kao povećanje talasne dužine i samim tim (kod vidljive svetlosti) kao pomak ka crvenom kraju spektra. To je vrlo malo povećanje talasne dužine. Opšta teorija relativnosti predviđa da će ono iznositi 2,12 milionitih delova za svetlost koja se otrže sa površine Sunca. Predlog je bio da ispitamo spektar svetlosti koja nam stiže sa Sunca, pa da vidimo da li su spektralne linije za toliko pomaknute sa svojih normalnih talasnih dužina ka crvenom. Astronomi su tragali za ovim efektom, ali ga nisu u prvo vreme nalazili, a ta činjenica izgleda da je zabrinula neke fizičare. Izveštaj Nobelovog odbora iz godine 1917. pominje da je Sent Džon (C. E. St. John) na opservatoriji Maunt Vilson uzaludno tragao za ovim crvenim pomakom, pa zaključuje: "Izgleda da Ajnštajnova teorija relativnosti, kakve god vrednosti imala, Nobelovu nagradu ne zaslužuje." I ponovo, godine 1919, Nobelov odbor pominje ovaj crveni pomak kao razlog da se bude uzdržan i da se u neko kasnije doba izrekne ocena o opštoj teoriji relativnosti. Međutim, većina fizičara onoga doba (pa i sam Ajnštajn) izgleda da se nije mnogo brinula zbog ovog problema sa crvenim pomakom. Danas jasno vidimo da tehnike korišćene oko 1920. godine nisu ni mogle dati tačne rezultate u merenju Sunčevog crvenog pomaka. Na primer, predskazani gravitacioni pomak od samo dva milionita dela mogao je biti maskiran drugim pomakom, koji nastaje zbog toga što se na površini Sunca događa konvekcija gasova koji emituju svetlost (dobro znani Doplerov efekat) bez ikakve veze sa opštom teorijom relativnosti. Ako bi ti gasovi uzletali od Sunca prema posmatraču brzinom od 600 metara u sekundi (a to na Suncu nije nemoguća brzina), gravitacioni crveni pomak bio bi sasvim poništen. Tek u novije doba, pomno proučavanje svetlosti sa ruba Sunčevog diska (gde će konvekcija biti većinom pod pravim uglom u odnosu na pravac našeg pogleda) otkrilo je crveni pomak približno očekivane vrednosti. Ali, vidite, prva tačna merenja gravitacionog pomaka nisu uopšte bila merenja svetlosti sa Sunca, nego su mereni gama-zraci (svetlost veoma kratke talasne dužine) kojima je bilo dopuštano da se dižu ili da padaju samo tričavih 22,6 metara u kuli Fizičke laboratorije Džeferson na Harvardu. Godine 1960. taj opit izveli su Paund (R. V. Pound) i Rebka (G. A. Rebka) i našli promenu talasne dužine koja se sa predviđanjima opšte teorije relativnosti podudarila uz greške od oko 10% koje su bile moguće zbog

nesavršenosti upotrebljene opreme. Ova opitna nesigurnost nekoliko godina kasnije smanjena je na oko 1%.

(88) nove tehnike u radarskoj i radio-astronomiji omogućile su da se izvedu novi, daleko tačniji testovi: Naročito rad Irvina Šapira (Irwin Shapiro) koji se tad nalazio na Masačusetskom institutu za tehnologiju.

(89) kretanja čestica u fluidima: To je poznato kao Braunovo kretanje. Događa se zato što molekuli tečnosti naleću na čestice, sudaraju se s njima. Uz pomoć Ajnštajnovе teorije Braunovog kretanja, postalo je moguće izračunati, na osnovu posmatranja tog kretanja, neke odlike molekula, a ujedno ubediti hemičare da molekuli stvarno postoje.

(89) Ajnštajn je bar jedan od tih načina oprobao: Za stručnjake, kažem ovde: teoriju skalara bez mase.

(91) ne možemo pomoću jednog referentnog sistema: Pretpostavimo, na primer, da prihvatimo referentni sistem koji obuhvata sav prostor celog svemira i koji ubrzava pravcem od Teksasa prema središtu Zemlje, i to 9,81 metar u sekundi na kvadrat. U tom referentnom sistemu, mi u Teksasu ne bismo osećali nikakvu gravitaciju zato što je to inercijalni referentni sistem u Teksasu, ali bi naši prijatelji u Australiji osećali dvostruko jaču gravitaciju zato što bi se u Australiji taj referentni sistem ubrzano udaljjavao od središta Zemlje, a ne primicao središtu.

(94) u Njutnovu teoriju uneti, umesto rastojanja dignutog na kvadrat, rastojanje dignuto na kub, ili dignuto na 2,01: Ovo je tačno za njegovu teoriju u onom obliku u kome ju je sam Njutn formulisao, dakle u terminima sile koja deluje iz daljine, ali ne važi za kasnije reformulacije Njutnove teorije (koje su izvršili Laplas /Laplace/ i drugi) koje su je pretvorile u teoriju polja. Ali čak i u toj drugoj verziji bilo bi lako dodati Njutnovu teoriju neki novi član u jednačinama polja, koji bi doveo do nekih drugih promena u zavisnosti sile od udaljenosti. Na primer, zakon o obrnutoj srazmernosti kvadratu rastojanja mogao bi se zameniti formulom koja bi nalagala da do izvesne udaljenosti sila teže opada približno tako, a odmah posle te udaljenosti počinje da opada eksponencijalno brzo. Ta vrsta promena nije moguća u opštoj teoriji relativnosti.

(96) energija i impuls... u zraku svetlosti dolaze u paketićima koji se ponašaju kao čestice: Born, Hajzenberg i Žordan su, zapravo, razmatrali samo jednu pojednostavljenu verziju elektromagnetnog polja, u kojoj se prenebregavaju promene nastale zbog polarizacije svetlosti. Pomenute komplikacije nešto kasnije je analizirao Dirak, a potpunu kvantnu teoriju elektromagnetnih polja dao je Enriko Fermi.

(97) može se izračunati sabiranjem beskonačnog broja zasebnih doprinosa: Dopusštene energije fotona čine jedan kontinuum, tako da je taj 'zbir' u stvari integral.

(99) Na kraju je, u poznim četrdesetim godinama dvadesetog veka, izronilo pravo rešenje: Pripovest o ovim događanjima daju Kao i Šveber u svom tekstu 'Konceptualni temelji i filozofski vidovi renormalizacione teorije' (T. Y. Cao and S. S. Schweber, "The Conceptual Foundations and Philosophical Aspects of Renormalisation Theory") koji će biti objavljen u časopisu SynthFse (1992).

(99) Lemb je neposredno pre konferencije uspeo da tačno izmeri: Strogo uzev, Lemb je izmerio razliku u energetsom pomaku dva stanja vodonikovog atoma. Po staroj Dirakovoj teoriji, trebalo je da ta dva stanja, bez ikakvih emisija i reapsorpcija fotona, imaju tačno istu energiju. Iako Lemb nije mogao izmeriti tačne iznose energija tih dvaju

stanja elektrona, uspeo je da ustanovi da se njihove energije zaista razlikuju, iako samo vrlo malo, i time je pokazao da je nešto izazvalo nejednak pomak energija u ta dva stanja.

(100) da li je moguće da se te dve beskonačnosti međusobno poništavaju i da ostavljaju jednu konačnu energiju kao svoj zbir?: Ovu zamisao su nešto pre toga izložili Dirak, Vajskopf i Krejmers (H. A. Kramers).

(102) Kao što Niče kaže: U tekstu "Aus dem Nachlass der achtziger Jahre", u svesci iz osamdesetih godina devetnaestog veka, koji je objavljen posthumno u: F. Nietzsche, Werke III, ed. Schlechta, 6th ed. (München: Carl Hauser, 1969), p. 603. Ova Ničeova napomena poslužila je kao tema za roman Pčelareva smrt (Death of a Beekeeper) mog kolege u Teksasu, Larsa Gustafsona (Lars Gustafsson).

(103) ovo izračunavanje je neprestano usavršavano: Pregled ovih teorijskih i opitnih rezultata daje Kinošita u časopisu Quantum Electrodynamics, ed. T. Kinoshita (Singapore: World Scientific, 1990).

(103) Ja nisam video šta je tako strašno u beskonačno velikoj goloj masi i beskonačno velikom golom naelektrisanju: Postoji nešto drugo što još ozbiljnije 'škripi' u kvantnoj elektrodinamici. Godine 1954. Marej Gel-Man i Frensis Lou (Francis Low) pokazali su da se efektivni naboj jednog elektrona povećava veoma lagano zajedno sa energijom onog procesa pomoću koga mi taj naboj merimo, a to je ukazalo na mogućnost da bi (kao što je ranije nagađao sovjetski fizičar Lav Landau) efektivno naelektrisanje elektrona moglo postati u bukvalnom smislu reči beskonačno veliko pri nekoj veoma visokoj energiji. Novija izračunavanja ukazuju na to da se ova katastrofa odista događa u čistoj kvantnoj elektrodinamici (a to je teorija samo fotona i elektrona i ničeg drugog). Međutim, energija pri kojoj nastupa ova beskonačnost tako je visoka (mnogo veća od energije sadržane u sveukupnoj masi dosad viđene Vaseljene) da mnogo pre stizanja do takvih energija postaje nemoguće prenebregavati svakojake druge čestice u prirodi - dakle, one koje nisu ni fotoni ni elektroni. Pa, prema tome, ako još postoji ikakva sumnja u matematičku saglasnost kvantne elektrodinamike, ta sumnja se stopila u jednu celinu sa pitanjem saglasnosti naših kvantnih teorija svih čestica i svih sila.

(105) Fermijeva teorija o slaboj nuklearnoj sili dobila je svoj konačni oblik: Taj posao obavili su Fajnmen i Gel-Man, kao i, nezavisno od njih dvojice, Robert Maršak (Robert Marshak) i Džordž Saderšen (George Sudarshan).

(106) zasnovanu na analogiji sa kvantnom elektrodinamikom: Ovde imam na umu ono uopštavanje kvantne elektrodinamike koju su dali Jang (C. N. Young) i Mils (R. L. Mills).

(108) navođen je godine 1967... nula puta: Strogo uzev, nije baš tako, jer sam ja sam pomenuo ovo u jednom radu koji sam pročitao na konferenciji 'Solvej' u Briselu 1967. godine. Ali ISI računa jedino članke publikovane u časopisima, a moja napomena je objavljena u materijalima sa te konferencije.

(108) najnavođeniji rad: Judžin Garfild, 'Najnavođeniji radovi svih vremena, SCI 1945-88'. (Eugene Garfield, "The Most-Cited Papers of All Time, SCI 1945-1988", in Current Contents, February 12, 1990, p. 3.) Budimo još malo tačniji: to je jedini rad iz oblasti fizike elementarnih čestica (ili iz bilo koje druge oblasti fizike osim oblasti biofizike, hemijske fizike i kristalografije) među sto članaka koji su, u istoriji svih nauka zajedno, najčešće bili navođeni tokom pomenutog razdoblja pokrivenog studijom ISI, dakle od 1945. do 1988. godine. (Pretpostavlja se da u razdoblju od 1938. do 1945. godine, zbog rata, nijedan rad nije često navođen.)

(113) fizičari u Oksfordu i Sietlu ponovili su svoje opite: Slučaj me naneo u Oksford pre koju godinu, pa sam iskoristio tu priliku i pitao Peta Sendersa (Pat Sanders) koji je rukovodio opitima bizmutom, da li je njegova grupa ikada ustanovila šta nije bilo u redu u prvom opitu. On mi je odgovorio da to nisu ustanovili, a da nažalost nikada i neće, jer su eksperimentalisti Oksforda tadašnju aparaturu rasturili na delove i pojedine ugradili u novu aparaturu, koja danas daje tačne rezultate. Eto, vidite, to vam je život.

(114) predskazali postojanje još jedne nove vrste čestice: Bilo je to na osnovu jednog načela simetrije koje su predložili Roberto Pecei (Roberto Peccei) i Helen Kvin (Helen Quinn).

(114) ili je pogrešna ili su joj potrebna preinačenja: Takve preinačenja predlagali su Dajne (M. Dine), Fišler (W. Fischler), i Sredniciki (M. Srednicki), a takođe Kim (Y. Kim).

(115) otkriće... pozadinskog šuma na području radio-talasa: To su otkrili Arno Penzijas (Arno Penzias) i Robert Vilson (Robert Wilson). Pisao sam o otkriću te pojave u knjizi Prva tri minuta: jedan moderni pogled na poreklo Vaseljene (The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of The Universe. New York: Basic Books, 1977).

(116) vojni istoričari često pišu kao da generali gube bitke zato što se ne pridržavaju nekih čvrsto ustanovljenih pravila: Jedan primer je Bazil Lidell Hart (Basil Liddell Hart) koji zastupa 'posredni pristup'.

(117) Ovo nazivaju ratna veština ili umetnost rata: Moram priznati da se sintagma 'umetnost rata' pojavljuje u prevodima klasičnih dela Sun Cua (Sun Tzu), Jominia (Jomini) i Klauzevica (Klauswitz) na takav način da je reč 'umetnost' tu suprotna reči 'nauka' otprilike kao što je 'tehnika' suprotna 'znanju', ali ne onako kako je 'subjektivno' suprotno 'objektivnom' ili 'nadahnuće' suprotno 'sistemu'. Ti autori koriste reč 'umetnost' da istaknu da oni o umetnosti rata pišu zato što žele biti od koristi ljudima koji će stvarno dobijati ratove, a da tom pisanju ipak pristupaju na naučan i sistematičan način. U američkom građanskom ratu 1861-65. general južnjačke Konfederacije Džejms Longstrit (James Longstreet) upotrebio je izraz 'umetnost rata' otprilike u istom značenju kao ja ovde kad je rekao da su i general Mak Klelan i general Li "majstori nauke rata, ali ne i umetnosti rata". (James Longstreet, From Manassas to Appomatox, /Philadelphia: Lippincott, 1869 /, p. 288.) Kasnije su istoričari kao Čarls Oumen (Charles Oman) i Siril Fols (Cyril Falls) koji pišu o 'umetnosti rata' jasno ukazali na to da u ratu nema sistema. Čitalac koji je sve dovde izdržao - shvatio je da ni u nauci nema, baš, mnogo sistema.

6. LEPE TEORIJE

(118) traganje za lepotom u fizici: Astrofizičar Subramanjan Čandrasedkar (Subrahmanyan Chandrasekar) pisao je na dirljiv način o ulozi lepote u nauci, u knjizi Istina i lepota: estetika i motivacija u nauci (Truth and Beauty: Aesthetic and Motivations in Science) Chicago: University of Chicago Press, 1987. Takođe u: Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences 43, no. 3 (December 1989): 14.

(120) a u Ajnštajnovoj... četrnaest: Kad to kažem, mislim na njegovih deset jednačina polja plus četiri jednačine kretanja.

(121) Kao što je sam Ajnštajn rekao o opštoj teoriji relativnosti: Te reči navodi Holton (G. Holton, "Constructing a Theory: Einstein's Model", American Scholar 48 (summer 1979): 323.

(126) stižu u paketićima koji se zovu gravitoni i koji se takođe ponašaju kao čestice sa masom jednakom nuli: Gravitoni nisu opitno otkriveni, ali to nije iznenađenje: proračuni pokazuju da gravitoni tako slabo stupaju u međudejstva da nisu ni mogli biti otkriveni ni u jednom dosadašnjem opitu. Pa ipak, nema tu nikakve ozbiljne sumnje: gravitoni postoje.

(128) porodice tih drugih tipova čestica: Strogo uzev, u te porodice ulaze samo levoruka stanja elektrona i neutrina, i dva kvarka, i to gore i dole. (Kad kažem levoruki, to znači da se čestica 'vrti oko sebe' u onom pravcu u kome su prsti vaše leve šake povijeni ako palac svojim ispružanjem uvis pokazuje u kom pravcu se čestica kreće.) Ovo razlikovanje porodica koje nastaju od levorukih stanja i od desnorukih stanja jeste izvor činjenice da slabe nuklearne sile ne uvažavaju simetriju leve strane i desne strane. (Asimetriju između leve strane i desne strane u slabim silama predložili su 1956. godine teoretičari Li /T. D. Lee/ i Jang /C. N. Yang/. Ta asimetrija potvrđena je opitima sa nuklearnim beta raspadom koje je izvršila Vu (C. S. Wu) u saradnji sa jednom grupom naučnika u Nacionalnom birou za standarde /National Bureau of Standards/ u Vašingtonu; takođe je potvrđena u opitima sa raspadom p mezona koje su izvršili Garvin /R. L. Garvin/, Ledermen /L. Lederman/ i Vajnrih /M. Weinrich/, kao i Fridmen /J. Friedman/ i Teledži /V. Telegdi./) Mi ni do danas ne znamo zbog čega samo levoruki elektroni, neutriini i kvarkovi stvaraju te porodice; tu je izazov za otkrivanje nekih novih teorija, koje će ići dalje od našeg standardnog modela elementarnih čestica.

(129) iz razloga koji su čisto istorijski: Godine 1928. matematičar Herman Vejl predložio je sledeću misao: da simetrija opšte teorije relativnosti pod promenama položaja ili orijentacije koje zavise od prostora i vremena treba biti dopunjena simetrijom pod promenama (takođe zavisnim od prostora i vremena) načina na koji merimo razdaljine i vremena. Izraz 'na koji merimo' u prethodnoj rečenici može biti zamenjen izrazom 'na koji kalibrišemo', i tu se pojavljuje reč 'kalibrisati'Engleski gauge - prim. prev. Ovo Vejlovo načelo simetrije fizičari su uskoro napustili (mada njegove pojedine verzije i do danas iskrsavaju u nekim spekulativnim teorijama), ali ono je matematički veoma nalik na jednu unutrašnju simetriju u elektrodinamici; tu unutrašnju simetriju mnogi su zato počeli da nazivaju 'kalibraciona invarijantnost'. A onda su C. N. Jang i R. L. Mils godine 1954. uveli jednu složeniju vrstu lokalne unutrašnje simetrije (u pokušaju da objasne postojanje jake nuklearne sile) i toj njihovoj simetriji takođe je dat naziv 'kalibraciona simetrija'.

(129) u vezi sa jednom unutrašnjom osobinom kvarkova za koju je, malčice maštovito i neozbiljno, usvojen naziv boja: Razne druge reči kojima bi moglo biti označeno to svojstvo kvarkova, sada poznato kao 'boja', predlagali su Grinberg (O. W. Greenberg); Han (M. Y. Han) i Nambu (Y. Nambu); i Bardin (W. A. Bardeen), Frič (H. Fritsch) i Gel-Man.

(131) uslov: da... teorija bude 'renormalizabilna': Ali vidi primedbe izrečene povodom poglavlja 8 koje ovaj zahtev kvalifikuju.

(134) uspeva objasniti i procese kao što je nuklearni beta raspad, koji nisu mogli biti objašnjeni Dirakovom teorijom: U Dirakovoj teoriji, elektroni su večni; proces kao što je proizvodnja jednog elektrona i jednog pozitrona tumači se kao podizanje jednog elektrona sa negativnom energijom u stanje pozitivne energije, pri čemu u moru elektrona negativne energije ostaje rupa koju opažamo kao pozitron; a anihilacija jednog elektrona i jednog pozitrona tumači se kao upadanje jednog elektrona u takvu rupu. U nuklearnom

beta raspadu nastaju elektroni, ali bez pozitrona - nastaju iz energije i iz naelektrisanja u elektronskom polju.

(134) ali ima drugih čestica, sa drugim spinovima: Dirak i ja smo prisustvovali jednoj konferenciji na Floridi početkom sedamdesetih godina, i ja sam iskoristio tu priliku da ga pitam kako bi objasnio činjenicu da postoje čestice (kao p mezon ili 'W' čestice) koje imaju spin drugačiji nego što je elektronov, i ne mogu imati stabilna stanja negativne energije, a ipak imaju jasno uočene antičestice. Dirak je odgovorio da nikada nije smatrao te čestice značajnim.

(135) Jedno moguće objašnjenje za ovo dao je Nils Bor: Naime, Hajzenberg u svojim prisećanjima tvrdi da je Bor to rekao. A Hajzenbergovo prisećanje navode Valentajn Teledži (Valentine Telegdi) i Viktor Vajskopf u svome pregledu Hajzenbergovih sabranih dela u časopisu Physics Today, July 1991, p. 58. Istu tu zamisao o ograničenoj raznovrsnosti mogućih matematičkih oblika izrazio je matematičar Endru Glison (Andrew Gleason).

(135) engleski matematičar G. H. Hardi: Tokom celog svog života Hardi se hvalio da istraživanja kojima se on bavi jesu istraživanja u oblasti čiste matematike, da ne mogu i da nikada nikako neće imati nikakve praktične primene. Ali kad smo Kerson Huang i ja radili u MIT-u na ponašanju materije pri krajnje visokim temperaturama, mi smo upravo one matematičke formule koje su nam zatrebale pronašli u radovima koje je Hardi zajedno sa Ramanujanom (Ramanujan) objavio o teoriji brojeva.

(135-136) kad su... Karl Fridrih Gaus i još neki naučnici razvili jednu neeuklidovsku geometriju: Druge glavne arhitekta ovog zakrivljenog prostora bili su Janoš Boljai (Janos Bolyai) i Nikolaj Ivanovič Lobačevski. Rad Gausa, Boljaija i Lobačevskoga bio je od značaja za budućnost matematike zato što oni taj prostor nisu opisali kao neku običnu krivu površinu, kakva je recimo površina Zemlje, koja je ugrađena u jedan nezakrivljeni prostor koji ima više dimenzija od nje (ima tri), nego su opisali zakrivljeni prostor u terminima zakrivljenosti samoga prostora kao takvog, bez ikakvog pominjanja nekog njegovog usađivanja u neki prostor sa većim brojem dimenzija.

(136) zadovoljava sve Euklidove postulate osim petog: Euklidov peti postulat, u jednoj svojoj verziji, kaže da kroz bilo koju datu tačku izvan bilo koje date linije može biti nacrtana jedna i samo jedna linija paralelna sa datom. U novoj neeuklidovskoj geometriji Boljaija, Gausa i Lobačevskoga može se nacrtati mnogo takvih paralelnih linija.

(137) iznenađenje kad su opiti pokazali, godine 1936, da nuklearna sila: Te opite izvršio je Merl Tuve (Merle Tuve) u saradnji sa Hajdenbergom (N. Heydenberg) i Hafstodom (R. L. Hafstad), upotrebljavajući Van de Grafov (Van de Graff) akcelerator od milion volti pomoću koga je ispaljivao zrake protona u neku od meta bogatih protonima, kao što je parafin.

(137) Ove simetrijske transformacije deluju... na jedan način koji je matematički isti kao delovanje običnih rotacija u tri dimenzije na spinove čestica: Iz tog razloga, ta simetrija je poznata kao izospinska simetrija. Predložili su je 1936. godine Breit (G. Breit) i Finberg (E. Feenberg), a nezavisno od njih Kasen (B. Cassen) i Kondon (E. U. Condon), na osnovu opita koje su izveli Tuve i drugi. Izospinska simetrija takođe je matematički slična onoj unutrašnjoj simetriji koja leži ispod slabih i elektromagnetnih sila u elektroslaboj teoriji, ali je fizički sasvim drugačija. Jedna razlika sastoji se u tome

što su različite čestice grupisane u porodice: proton i neutron za izospinsku simetriju, a levoruki elektron, levoruki neutrino i levoruki kvark gore i kvark dole za elektroslabu simetriju. Osim toga, elektroslaba simetrija iskazuje nepromenljivost zakona prirode pod transformacijama koje mogu zavistiti od položaja u prostoru i vremenu; jednačine koje vladaju nuklearnom fizikom zadržavaju svoj oblik samo ako pretvorimo protone i neutrone jedne u druge na isti način svuda i u svako vreme. Konačno, izospinska simetrija je samo približna, i danas se shvata kao donekle slučajna posledica malih masa kvarkova u našoj modernoj teoriji jakih nuklearnih sila; a elektroslaba simetrija je sasvim tačna i shvata se kao jedno temeljno načelo u elektroslaboj teoriji.

(138) daje matematičku strukturu koja je poznata kao grupa: Ako dve transformacije ostave nešto nepromenjeno, onda će isto to učiniti i njihov 'proizvod' koji se definiše tako što se obavi prvo jedna transformacija, pa druga. Ako jedna transformacija ostavi nešto neizmenjeno, učiniće to i ona njoj inverzna, dakle ona kojom se poništava prva. Osim toga, uvek postoji jedna transformacija koja će ostaviti sve neizmenjeno, a to znači - transformacija koja neće učiniti baš ništa, poznata kao jedinična transformacija, zato što deluje kao množenje brojem jedan. Te tri odlike jesu ono što čini da neki skup operacija, bilo koji, bude grupa.

(138) popis svih 'jednostavnih' Lijeviskih grupa: Sažeto rečeno, postoje tri beskonačne kategorije jednostavnih Lijeviskih grupa. Jednu takvu čine dobro poznate rotacione grupe u jednoj dimenziji, dve dimenzije i tri dimenzije. Druga i treća kategorija jesu transformacije koje donekle nalikuju na rotacije, a poznate su kao unitarne i simplektičke kategorije. Osim toga, ima i pet (samo pet) 'izuzetnih' Lijeviskih grupa koje ne pripadaju nijednoj od tih kategorija.

(138) predskazana čestica pronađena 1964: To je postigla grupa kojom je rukovodio N. Samios (N. Samios).

(139) dokaz da ne postoje opšte formule za rešavanje izvesnih algebarskih jednačina: Galoa je u svom radu obrađivao jednu određenu grupu, i to skup permutacija rešenja jednačine.

(139) U jednom svom poznatom eseju, fizičar Eugen Vigner: E. P. Wigner, "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics", Communications in Pure and Applied Mathematics 13 (1960): 1-14.

(141) Tek kad su... razvili svoj rigorozni i apstraktni matematički stil: J. L. Richards, "Rigor and Clarity: Foundations of Mathematics in France and England, 1800-1840", Science in Context 4 (1991): 297.

(143) Frensis Krik u svojoj autobiografiji opisuje: F. Crick, What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery (New York: Basic Books, 1988).

(143) neki tripleti... ne služe baš ničemu: Strogo uzev, takvi tripleti ipak prenose poruku 'ovde je kraj lanca'. Ali nemaju nikakav drugi smisao.

(144) Kepler je pisao da je radio: To je napisao u maju 1605. godine u svome pismu Fabricijusu. Navod iz tog pisma našao sam u sledećem izvoru: E. Zilsel, "The Genesis of the Concept of Physical Law", Philosophical Review 51 (1942): 245.

7. PROTIV FILOZOFIJE

(147) Ne znači to da filozofija nema baš nikakve vrednosti: Dvojica mojih prijatelja, filozofi po struci, ukazala su mi na to da je naslov ovog poglavlja, 'Protiv filozofije', preterivanje, jer ja u tom poglavlju ne napadam filozofiju uopšte nego samo

kritikujem štetno dejstvo koje su na nauku imale izvesne filozofske doktrine kao što su pozitivizam i relativizam. Onda su nagađali da sam ja taj naslov spremio kao 'utuk' na naslov Fajerabendove knjige Protiv metoda. A zapravo je ovako bilo: naslov ovog poglavlja ja sam smislio pod uticajem dva dobro poznata članka iz oblasti rasprave o zakonima, ali zakonima u smislu pravnih nauka i državnog zakonodavstva. To su bili članci Ovena Fisa (Owen Fiss) 'Protiv poravnanja' i Luize Vajnberg (Louise Weinberg) 'Protiv učtivosti'. Osim toga, nije mi se činilo da bi čitaocce mnogo oduševio naslov 'Protiv pozitivizma i relativizma'.

(147) "Ove maltene tajanstvene rasprave": G. Gale, "Science and the Philosophers", Nature 312 (1984): 491.

(147) "Ništa mi ne izgleda tako malo verovatno kao pretpostavka da": L. Wittgenstein, Culture and Value (Oxford: Blackwell, 1980).

(147) Našao sam da su neka od njih napisana žargonom tako neprobojnim: Na primer, vidi neke od članaka u knjizi: Reduction in Science: Structure, Examples, Philosophical Problems, ed. W. Balzer, D. A. Pearce, and H. - J. Schmidt (Dordrecht: Reidel, 1984).

(148) Ali vrlo retko sam sticao utisak da imaju ikakve veze sa onim što je meni poznato kao naučni rad: Mnogi drugi aktivni naučnici reaguju isto ovako kao ja na pisanija filozofa. Na primer, u svome odgovoru filozofu H. Kinkejdu (naveo sam odlomak iz toga u glavi III), biohemičar Dž. D. Robinson kaže da "biolozi, sumnje nema, čine jezive filozofske grehe. I sigurno da bi trebalo da oduševljeno pozdrave svako zanimanje filozofa za njihov posao. Ali to zanimanje je, međutim, najkorisnije kad filozofi saznaju šta su namere biologa i šta biolozi, zapravo, rade."

(148) Prema Fajerabendu: P. K. Feyerabend, "Explanation, Reduction, and Empiricism", Minnesota Studies in the Philosophy of Science 3 (1962): 46-8. Filozofi koje Fajerabend pominje jesu pozitivisti takozvanog Bečkog kruga, o kojima ću kasnije reći još nešto.

(149) preovladale, oko 1720. godine, i na evropskom kontinentu: A. Rupert Hol, "Making Sense of the Universe", Nature 327 (1987): 669.

(150) u dirljivom romanu Rasela Mak Kormaka: R. McCormach, Night Thoughts of a Classical Physicist (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982).

(152) Andre Linde i drugi kosmolozi: Ti radovi se zasnivaju na takozvanoj inflacionoj kosmologiji Alena Guta (Alan Guth).

(153) u jednom pismu koje je nekoliko godina kasnije poslao Mahu: To navodi Bernštajn, a ja prenosim. J. Bernstein, "Ernst Mach and the Quarks", American Scholar 53 (winter 1983-4): 12.

(154) Hajzenbergovo veliko prvo delo: Ovaj prevod Hajzenbergovih reči na engleski jezik uzeo sam iz knjige: Sources of Quantum Mechanics, ed. B. L. van der Waerden (New York: Dover, 1967).

(154) Džordž Gejl čak tvrdi da je pozitivizam kriv: G. Gale, "Science and the Philosophers".

(155) Mah je istrajavao u jednoj 'utuk na utuk' raspravi: E. Mach, Physikalische Zeitschrift 11 (1910): 603; trans. J. Blackmore, British Journal of the Philosophy of Science 40 (1989): 524. Blekmor daje pregled rasprave koja se vodila i koja se još vodi među istoričarima nauke o pitanju da li se Mah ikada filozofski pomirio sa istinitošću Ajnštajnovne posebne teorije na koju su upravo Mahove doktrine uticale.

(156) Kaufman je, međutim, bio pozitivist: Moj prijatelj Samburski (koga sam naveo u petom poglavlju) poznao je, kad je bio veoma mlad, Kaufmana. Potvrdio je moj utisak da je Kaufman bio krut čovek sputan svojom sopstvenom filozofijom.

(157) nijedno osmatranje ne može biti oslobođeno teorije: Ovu poentu je snažno istakao filozof Dadli Šapere. Dudley Shapere, "The Concept of Observation in Science and Philosophy", *Philosophy of Science* 49 (1982): 485-525.

(157) U jednom predavanju iz 1974, Hajzenberg se prisetio: W. Heisenberg, in *Encounters with Einstein, and Other Essays on People, Places and Particles* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1983), p. 114.

(158) Ajnštajn je rekao da je Mah... dobar mehaničar: J. Bernstein, "Ernst Mach".

(158) Na kraju, taj njihov program je propao: Ipak, smatram da smo izvukli neke vredne pouke iz teorije o S-matricama. Kvantna teorija jeste takva kakva jeste zato što je ona jedini način da se jemči da opazive stvari predviđene u njoj, a naročito u S-matrici, imaju razumne fizičke odlike. Godine 1981. održao sam jedno predavanje u Radijacijskoj laboratoriji u Berkliju, pa, pošto sam znao da će Džefri Ču biti u publici, izdvojio sam izuzetno mnogo vremena da kažem neke lepe stvari o pozitivnom uticaju teorije S-matrice. Posle predavanja, Ču mi je prišao i rekao da ceni moje napomene, ali da on sada radi u drugoj oblasti - naime, u kvantnoj teoriji polja.

(159) izvesne vrste teorija kvantnih polja: ovde mislim na takozvane neabelijanske ili Jang-Milsove (Yang-Mills) gejdž teorije.

(160) postaju, pri sve višim energijama, sve manje i manje: Ovo izračunavanje upotrebilo je matematičke metode koje su 1954. godine uveli u kontekst kvantne elektrodinamike Marej Gel-Man i Frensis Lou. Ali sila se, u kvantnoj elektrodinamici i u većini drugih teorija, povećava sa povećanjem energije.

(160) u opitima sa visokoenergetskim rasipanjem još godine 1967: Naročito u opitima sa razbijanjem neutrona i protona pomoću visokoenergetskih elektrona, koje je u linearno-akceleratorском centru Stenford izvela jedna grupa predvođena Džeromom Fridmenom, Henrijem Kendalom (Henry Kendall) i Ričardom Tejlorom (Richard Taylor).

(160) nekolicina teoretičara predložila je drugo objašnjenje: Gros, Vilček i ja.

(160) Sada se veruje da ako pokušate: Koliko je meni poznato, ovu sliku smo stekli zahvaljujući nezavisnim (međusobno odvojenim) radovima t Hufta i Saskinda. Rani predlog o zarobljavanju kvarka izložili su i Frič, Gel-Man, i Lojtvajler (H. Leutwyler).

(160) postala je deo prihvaćene mudrosti savremene fizike čestica: Tvrdnja da kvarkovi postoje dobila je neospornu potvrdu kad su godine 1974. dve grupe naučnika, jedna pod upravom Bartona Rihtera (Burton Richter), a druga pod upravom Sema Tinga (Sam Ting), pronašle česticu kojoj je prva grupa dala naziv y čestica, a druga J čestica. Odlike ove čestice pokazale su, van svake sumnje, da se ona sastoji od jednog teškog novog kvarka i njegovog antikvarka, bez obzira na to što se ni jedan ni drugi nisu mogli zasebno proizvesti. (Postojanje tog tipa teškog kvarka predložili su ranije Šeldon Glešou, Džon Iliopulos /John Iliopoulos/ i Lucijano Majani /Luciano Maiani/ da bi izbegli izvesne probleme u teoriji slabih međudejstava, a masu te čestice teorijskim putem su procenili Meri Gajar /Mary Gaillard/ i Ben Li. Česticu J-psi predvideli su Tomas Eplkvist /Thomas Appelquist/ i Dejvid Policer.)

(161) filozofski relativisti poriču da nauka otkriva objektivnu istinu: Etiologiju i kritiku takvog relativizma videti u: M. Bunge, "A Critical Examination of the New Sociology of Science", *Philosophy of the Social Sciences* 21 (1991): 524 /Part 1/ and *ibid.*, 22 (1991): 46 /Part 2/.

(161) U svojoj hvaljenoj i slavljenoj knjizi: T. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., enlarged (Chicago: University of Chicago Press, 1970).

(162) mnoga njena opažanja zvuče istinito: S. Traweek, *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1988).

(162) U jednoj nedavno objavljenoj knjizi o vrednovanju u grupama međusobno ravnopravnih ljudi: D. E. Chubin and E. J. Hackett, *Peerless Science: Peer Review and U. S. Science Policy* (Albany, N. Y.: State University of New York Press, 1990); ovo je navedeno u prikazu knjige, koji je dao Sem Trejman. (Sam Treiman, *Physics Today*, October 1991, p. 115.)

(162) Posmatrajući izbliza rad naučnika u Salkovom institutu: B. Latour and S. Woolgar, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts* (Beverly Hills, Calif., and London: Sage Publications, 1979), p.237.

(163) naslov jedne knjige Endrua Pikeringa: A. Pickering, *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics* (Chicago: University of Chicago Press, 1984).

(164) kao nekakvu promenu mode: Slične poglede izrazio je u svojim ranijim spisima (pre više od dvadeset godina) Fajerabend, ali je kasnije promenio svoja uverenja. Travikova pažljivo izbegava da to pomene; pa kaže da ona ima naklonosti prema uverenju, u kome fizičari žive, da elektroni postoje. I ona, kaže, isto tako u svojim delima polazi od pretpostavke da fizičari postoje.

(165) samo jedan vid šireg, radikalnog napada na samu nauku: Vidi zbirku članaka o kritici nauke, u knjizi: *Science and Its Public: The Changing Relationship*, ed. G. Holton and W. Blanpied (Boston: Reidel, 1976). Jedan skorašniji komentar o ovome: G. Holton, "How to Think about the 'Anti-Science Phenomenon'", *Public Understanding of Science* 1 (1992): 103.

(165) Fajerabend je zatražio formalno razdvajanje nauke i društva: P. Feyerabend, "Explanation, Reduction, and Empiricism".

(165) "ne samo seksistička nego i": S. Harding, *The Science Question in Feminism* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1986), p. 9.

(165) "Na fizici i hemiji, na matematici i logici": *ibid.*, p. 250.

(165) "temeljni senzibilitet naučne misli": T. Roszak, *Where the Wasteland Ends* (Garden City, N.Y.: Doubleday, Anchor Books, 1973), p. 375.

(165) Ne znam nijednog aktivnog naučnika koji ih ozbiljno shvata: To potvrđuje Ivlin Foks Keler u svom delu *Razmišljanja o rodu i nauci* (Evelyn Fox Keller, *Reflections on Gender and Science*, New Haven: Yale University Press, 1985). Kao ilustraciju naučničkog stava, Keler navodi jednu svoju davnu napomenu koja glasi: "Zakoni prirode su isto onoliko bezlični i lišeni ljudskih vrednosti koliko i pravila aritmetike. Mi nismo želeli da to tako ispadne, ali jeste tako." U novije vreme, reagujući na jednu nametljivu sociološku reinterpretaciju naučnog napretka, jedan genetičar sa Londonskog univerziteta, Džounz (J. S. Jones), napomenuo je da "sociologija nauke stoji u istom odnosu prema nauci kao pornografija prema seksu: jeftinija je, lakše je njome se baviti, i - pošto je

ograničena samo maštom - može biti daleko zabavnija". (U prikazu knjige *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*, by Peter J. Bowler, in: *Nature* 324 /1989/: 352.)

(166) javljeno je... da britanski ministar nadležan za trošenje državnih para na civilna naučna istraživanja: U uvodniku u časopisu *Nature* 356 (1992): 729. Taj ministar je Džordž Volden (George Walden), član Parlamenta.

(166) o jednoj knjizi Brajana Epljarda: B. Appleyard, *Understanding the Present* (London, Picador, 1992).

(166) Slutim da je Džerard Holton blizu istine: G. Holton, "How to Think about the End of Science", in: *The End of Science*, ed. R. Q. Elvee (Lanham, Minn.: University Press of America, 1992).

8. BLUZ DVADESETOG VEKA

(169) elektroni i 'W' i 'Z' čestice imaju masu, ali neutriini i fotoni nemaju masu: Moguće je ipak da i neutriini, pa čak i fotoni, imaju neku masu, tako malenu da je sve dosad ostala neotkrivena. Ali te mase bi se veoma mnogo razlikovale od masa elektrona i 'W' i 'Z' čestica, a to se ne bi očekivalo ako će se simetrija između ovih čestica ispoljiti u prirodi.

(169) Čovek bi mogao pretpostaviti da simetrija između dva tipa kvarkova nalaže da im mase budu jednake, ali to nije jedina mogućnost: Na primer, jednačina koja kaže da odnos između mase kvarka gore i mase kvarka dole plus odnos između mase kvarka dole i mase kvarka gore jeste jednaka broju 2,5, očigledno je simetrična za ta dva kvarka. Ona ima dva rešenja: U jednom rešenju, masa kvarka gore je dvaput veća od mase kvarka dole, a u drugom rešenju masa kvarka dole je dvaput veća od mase kvarka gore. Ali nema nikakvog rešenja u kome bi masa kvarka gore i masa kvarka dole bile međusobno jednake zato što bi onda i jedan i drugi odnos bili jednaki jedinici, pa bi njihov zbir bio 2, a ne bi bio 2,5.

(170) spontano stekne neko svoje magnetno polje koje je usmereno u nekom određenom pravcu: Pravac tog magnetnog polja biće određen dejstvom bilo kog magnetnog polja koje se zadesi u blizini, recimo Zemljinog. Važno je to da će se u gvožđu razviti jednaka snaga magnetičnosti bez obzira na to koliko je slabo to magnetno polje koje je slučajno bilo prisutno. U odsustvu bilo kog jakog spoljašnjeg magnetnog polja, pravac magnetičnosti biće drugačiji u svakom od zasebnih 'područja' koja će se u gvožđu pojaviti, a magnetna polja koja tako spontano nastanu u raznim područjima poništavaće se uzajamno tako da taj komad gvožđa, kao celina, neće biti magnet. Područja je moguće postrojiti (da sva budu poređana u istom pravcu) tako što će gvožđe, dok se hladi, biti izloženo delovanju jakog spoljašnjeg magnetnog polja. Onda će taj komad gvožđa postati magnet, a to će i ostati, i kad se spoljašnje magnetno polje ukloni.

(170) jednu simetriju koja izgleda da je narušena u našoj Vaseljeni. To je simetrija koja spaja slabu i elektromagnetnu silu: Ova simetrija nije sasvim narušena; preostaje ipak jedna nenarušena simetrija (poznata kao elektromagnetna gejdž invarijantnost) koja nalaže da foton mora imati masu nula. Ali i ova preostala simetrija biva narušena u superprovodniku. Uistinu, to je ono što superprovodnik jeste - u suštini, samo jedan komad materije u kome je narušena elektromagnetna gejdž simetrija.

(171) Neutrino se nije lako dao uhvatiti, ali... konačno je opitno otkriven: To su postigli Č. L. Kauan (C. L. Cowan) i F. Reins (F. Reines).

(172) matematika za jednostavnije primere narušavanja ove vrste simetrija opisana je u radovima nekolicine teoretičara: Među njima su F. Englert (F. Englert) i R. Braut (R. Brout), kao i Guralnik (G. S. Guralnik), Hagen (C. R. Hagen) i Kibbl (T. W. B. Kibble).

(174) mogućnost postoji da se ona narušava zbog posrednog dejstva neke nove vrste superjake sile: Zbog te nove sile dogodilo bi se da bi proizvodi polja bilo koje čestice na koju bi ta sila delovala mogli dobiti vakuumske vrednosti, a to bi narušilo elektroslabu simetriju, iako su vakuumske vrednosti svih pojedinačnih polja uvek nula. (Dobro je poznata osobina svih verovatnoća da proizvod izvesnih količina može imati prosek različit od nule čak iako prosečne vrednosti pojedinačnih količina iščeznu. Na primer, prosečna visina talasa iznad srednjeg nivoa mora je, već po definiciji, jednaka nuli, ali kvadrat visine okeanskih talasa - što znači, proizvod koji se dobije kad te visine pomnožimo njima samima - ima prosečnu vrednost različitu od nule.) Ova nova sila je možda mogla izmaći našoj potrazi ukoliko deluje samo na neke hipotetične čestice toliko masivne da ih mi još nismo mogli otkriti.

(174) Takve teorije razvijane su u poznim sedamdesetim godinama: Razvijali su ih nezavisno jedan od drugoga dvojica teoretičara. Jedan je Leni Saksind na Stanfordu, a drugi sam ja. Da bi se ta nova vrsta superjake sile, potrebna u tim teorijama, razlikovala od dobro poznatih 'sila u boji' koje vezuju kvarkove unutar fotona, Saksind je smislio novi naziv za nju - 'tehnikator'. Nevolja sa idejom o tehnikolor-silama ogleda se u tome što ona ne objašnjava mase kvarkova, elektrona i tako dalje. Moguće je teoriji dodavati razna proširenja, nadograđivati je i postići da u njoj budu i mase tih čestica, a da se ništa ne kosi sa vrednostima koje su opažene u opitima, ali teorija onda postaje toliko barokna i veštačka da ju je teško uzeti za ozbiljno.

(174) u kojoj bi i jaka i slaba i elektromagnetna sila bile objedinjene: Često se za teoriju koja će objединiti jako nuklearno međudejstvo sa elektroslabim međudejstvom kaže da će biti 'velika objedinjena teorija', ili skraćeno VOT. Konkretno pokušaje da se takva teorija formuliše učinili su Jogeš Pati (Jogesh Pati) i Abdus Salam; Hauard Džordži i Šeldon Glešou; takođe Hauard Džordži samostalno; a posle njih, još mnogi.

(175) Godine 1974. pojavila se jedna zamisao: Bio je to rad Hauarda Džordžija, Helen Kvin i moj.

(175) uspeli smo doći do jednog predviđanja u vezi sa jačinama: Tačnije govoreći, tu se predviđa samo jedan jedini odnos između tih jačina. Kad je ovo predviđanje izloženo, godine 1974, izgledalo je u prvi mah kao neuspeh; jer bila je predviđena proporcija 0,22, a opiti sa rasipanjem neutrina pokazivali su umesto toga vrednost od oko 0,35. Vreme je prolazilo, opiti su ponavljani i dobijao se sve niži rezultat, tako da sada važi rezultat vrlo blizak pomenutoj vrednosti od 0,22. Ali sada su i merenja, a i teorijska izračunavanja, toliko dobila na tačnosti da mi jasno vidimo da preostaje još nekoliko postotaka nepodudarnosti između njih. Kao što ćemo videti, postoje teorije (u koje je ugrađena jedna simetrija poznata kao 'supersimetrija') koje ovu preostalu nepodudarnost odstranjuju na veoma prirodan način.

(178) jedna nova vrsta simetrije, koja bi se zvala supersimetrija: Supersimetrija je uvedena kao očaravajuća mogućnost, radom dvojice naučnika godine 1974. To su bili Džulijus Ves (Julius Wess) i Bruno Cumino (Bruno Zumino). Njen potencijal za rešavanje problema hijerarhije glavni je razlog što je supersimetrija od tada pa do danas privlačila toliko pažnje. (Različite verzije supersimetrije bile su se pojavile, zapravo, u

još ranijim radovima, pre Vesa i Cuminoa, a dali su ih Golfand /Yu. A. Gol'fand/ i Likhtman /E. P. Likhtman/, kao i Volkov /D. V. Volkov/ i Akulov /V. K. Akulov/, ali u tim radovima nije bio istražen fizički značaj supersimetrije. Ves i Cumino su deo nadahnuća za svoj rad crpli iz radova na teoriji struna, koje su objavili 1971. godine Ramon /P. Ramond/, Nevo /A. Neveu/ i Švorc, kao i Žerve /J.-L. Gervais/ i Sakita /B. Sakita/.)

(178) ali simetrija zabranjuje pojavu ma koje Higsove čestične mase u temeljnim jednačinama teorije: Sve do pronalaska supersimetrije, smatralo se da bi bilo nemoguće da bilo koja simetrija zabrani takve mase. Odsustvo mase za čestice kao što su kvarkovi, elektroni i foton, i 'W' i 'Z' čestice, i gluoni u jednačinama prvobitne verzije standardnog modela nerazdvojno je povezano sa činjenicom da te čestice imaju spin. (Polarizacija svetlosti, taj dobro znani efekat, neposredno proističe iz fotonovog spina.) Ali da bi jedno polje imalo vakuumsku vrednost različitu od nule, čime bi se narušila elektroslaba simetrija, to polje ne sme imati nikakav spin; inače bi njegova vakuumska vrednost takođe narušila simetriju vakuuma u odnosu na promene pravca, a to je u grubom neskladu sa onim što opažamo. Supersimetrija rešava ovaj problem tako što uspostavlja odnos između jednog polja bez spina, koje svojom vakuumskom vrednošću narušava elektroslabu simetriju, i različitih polja koja imaju spin i kojima elektroslaba simetrija zabranjuje da imaju ikakvu masu u jednačinama polja. Teorije supersimetrije imaju svoje sopstvene probleme: nisu otkriveni superpartneri poznatih čestica, što znači da moraju biti mnogo teži, iz čega proističe da i sama supersimetrija mora biti narušena simetrija. Postoje razni zanimljivi predlozi za mehanizam koji bi narušavao supersimetriju, a neki od tih predloga uključuju u sebe i silu teže; zasad, međutim, to pitanje ostaje otvoreno.

(179) U jednom drugom pristupu... pripisali bismo...dejstvu neke nove superjake sile: Jedna verzija standardnog modela, i to ona zasnovana na uvođenju novih superjake (tehnikolor) sila, izbegla bi ovaj problem zato što ne bi bilo baš nikakvih masa ni u jednoj od jednačina koje opisuju fiziku na energijama znatno manjim od Plankove energije. Skala masa 'W' i 'Z' čestica i drugih elementarnih čestica standardnog modela bila bi, umesto toga, povezana sa načinom na koji se tehnikolor sile menjaju sa energijom. Očekivalo bi se da tehnikolor sile, baš kao i jaka sila i elektroslaba sila, imaju istu svojstvenu jačinu pri nekoj vrlo visokoj energiji, koja se ne bi mnogo razlikovala od Plankove energije. Sasvim je prihvatljiva pretpostavka da bi bez ikakvog daljnog, finog podešavanja konstanti u toj teoriji tehnikolor-sila jačala sa smanjivanjem energije nešto brže nego obična kolor-sila, zbog čega bi mogle biti dobijene mase otprilike nalik opaženim masama 'W' i 'Z' čestica standardnog modela, dok bi obične kolor-sile, dejstvujući samostalno, dale tim istim česticama mase hiljadu puta manje.

(179) Nažalost, zasad nema nijednog znaka u prirodi da postoji ikakva supersimetrija: Supersimetrija bi zahtevala da svi poznati kvarkovi, fotoni i tako dalje imaju 'superpartnere' drugačijeg spina. Iako nijedan takav superpartner nije viđen, teoretičari su pohitali da daju nazive svim takvim česticama: superpartneri (sa nultim spinom) čestica kao što su kvarkovi, elektroni i neutrini zovu se sada skvarkovi, selektroni, sneutrini i tako dalje, a superpartneri (sa pola spina) fotona, 'W', 'Z', i gluona zovu se fotino, vino, zino i gluino. Ja sam jednom prilikom predložio da taj žargon nazovemo 'jezikino' (engl. 'languino'), a Marej Gel-Man je predložio još bolju reč: 'sjezik' (engl. 'slanguage'). Stižu sveže vesti da je zamisao supersimetrije dobila značajno pojačanje u opitima sa raspadanjem 'Z' čestice u laboratoriji CERN u Ženevi. Kao što

sam pomenuo ranije, ti opiti su sada tako tačni da je moguće kazati da postoji malo neslaganje (oko 5%) između one razmere jačine međudejstva koja je bila predskazana 1974. (trebala je biti 0,22) i stvarne vrednosti. Zanimljivo je da izračunavanja pokazuju da bi prisustvo skvarkova i gluina i svih tih drugih novih čestica zahtevanih supersimetrijom moglo izmeniti način na koji se sa promenom energije menja i jačina međudejstva, taman koliko treba da se opažanja stvarne situacije i teorija dovedu u međusobni sklad.

(182) broj neutrina čiji dolazak iz Sunca mi uspevamo da detektujemo daleko manji od očekivanog broja: Ovo je prvi put primećeno godine 1968, kad su upoređeni opitni rezultati koje je postigao Rej Dejvis Mlađi (Ray Davis Jr.) sa neutrinjskim fluksom koji bi se mogao očekivati po izračunavanjima Džona Bahkola (John Bahcall).

(182) moguć je zaključak da su se ti neutriini, prolazeći kroz Sunce, preobratali u neutrine drugih vrsta, i da ih zato tako slabo uspevamo primetiti: To su predložili, godine 1985, Mihajev (S. P. Mikhaev) i Ju Smirnov (A. Yu Smirnov), na temelju ranijih radova Linkolna Volfenštajna (Lincoln Wolfenstein).

9. OBLIK KONAČNE TEORIJE

(186) U toku tog rada, shvaćeno je: To su nezavisno ostvarili Joiširo Nambu (Yoichiro Nambu), Holger Nilsen i Lionard Saskind.

(186) njihova energija vibriranja naprosto nema kuda da ode: Ovu napomenu dao je Edvard Viten.

(186) Rane verzije teorije struna nisu bile bez problema: Neke od tih teškoća mogle bi se izbeći samo nametanjem jedne simetrije koja je kasnije nazvana supersimetrija, tako da se sad za takve teorije često kaže da su teorije superstruna.

(186) pojavljivala kao čestica nulte mase i sa spinom dva puta većim od spina fotona: Iako je ta neželjena čestica iskrsavala u teorijama struna kao način vibriranja zatvorene strune, ne bi bilo moguće izbeći njenu pojavu tako što bismo razmatrali samo otvorene strune, zato što se otvorene strune, u međusobnom sudaru, neizbežno spoje u zatvorene strune.

(187) Poznato je... da bi svaka teorija čestice sa takvom masom i takvim spinom morala izgledati manje-više isto kao opšta teorija relativnosti: Do ovog zaključka došli smo zasebnim radom Ričard Fajnmen i ja.

(187) nova čestica bez mase... pravi graviton: Ovo su prvi put predložili, još 1974. godine, Šerk (J. Scherk) i Švorc, i, nezavisno od njih, Joneja (T. Yoneya).

(188) "najveće intelektualno uzbuđenje u mom životu": Tako je njegove reči naveo Džon Horgan (John Horgan) u časopisu Scientific American, November 1991, p. 48.

(188) kao da su slobodne od ma kakvih beskonačnosti: Istina je da vi možete za bilo koju teoriju struna smatrati da je samo teorija čestica koje odgovaraju različitim načinima vibriranja struna, ali pošto je u svakoj teoriji struna broj vrsta čestica beskonačan, teorije struna ne dejstvuju na isti način kao obične kvantne teorije polja. Na primer, u kvantnoj teoriji polja emisija i reapsorpcija čestica jedne iste vrste (recimo, fotona) daje beskonačno veliki pomak energije; međutim, u valjano formuliranoj teoriji struna ovu beskonačnost poništavaju dejstva emisija i reapsorpcija čestica koje pripadaju beskrajnom mnoštvu drugih vrsta čestica prisutnih u teoriji.

(189) test... na kome su pale ranije proučavane teorije struna: Ovu nedoslednost u nekim teorijama struna otkrili su nešto ranije Viten i Luis Alvarez-Gome (Luis Alvarez-GaumQ).

(189) jedna ekipa teoretičara: Filip Kandelas, Geri Horovic (Gary Horowitz), Endru Strominger (Andrew Strominger) i Edvard Viten.

(189) 'Prinstonski gudački kvartet': Dejvid Gros, Džefri Harvi (Jeffrey Harvey), Emil Martinek (Emil Martinec) i Rajan Rom (Ryan Rohm).

(189) konformalna simetrija... morala biti uneta: Konformalna simetrija zasniva se na činjenici da strune koje sačinjavaju jedan skup struna, dok se kreću kroz prostor, opisuju dvodimenzionu površinu u prostorvremenu: svaka tačka na toj površini ima jednu koordinatnu 'etiketu' koja kaže vreme, i drugu 'etiketu' koja određuje položaj na kome se ta tačka nalazi na dužini jedne od struna. Ono što važi za svaku površinu, važi i za ovu: geometriju ove dvodimenzione površine koja nastaje 'prevlačenjem struna preko prostora' opisuju tako što odredimo, pomoću tih 'etiketa', rastojanja između bilo koje dve međusobno veoma bliske tačke. Načelo konformalne invarijantnosti kaže da jednačine koje vladaju strunom zadržavaju svoj oblik ako izmenimo način merenja razdaljina tako što ćemo pomnožiti sve razdaljine između jedne tačke i bilo koje susedne tačke nekom veličinom koja može na proizvoljan način biti zavisna od položaja prve tačke. Konformalna simetrija mora postojati zato što bi, inače, vibracije struna duž njihovog vremenskog pravca dovele (bar po jednoj formulaciji ove teorije) ili do negativnih verovatnoća, ili do nestabilnosti vakuuma. Zahvaljujući konformalnoj simetriji ove vibracije vremenskog tipa mogu biti uklonjene iz teorije, i to pomoću jedne transformacije simetrije, čime smo ih učinili neškodljivim.

(191) antropičko načelo: Tu sintagmu smislio je Brendon Karter (Brandon Carter); vidi *Confrontation of Cosmological Theories with Observation*, ed. M. S. Longair (Dordrecht: Reidel, 1974). Takođe: B. Carter, "The Anthropic Principle and its Implications for Biological Evolution", in *The Constants of Physics*, ed. W. McCrea and M. J. Rees (London: Royal Society, 1983), p. 137; reprinted in *Philosophical Transactions of The Royal Society of London A310* (1983): 347. Temeljito razmatranje raznih varijanti antropičkog načela vidi u: J. D. Barrow and F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Clarendon Press, 1986); J. Gribbin and M. Rees, *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and the Anthropic Cosmology* (New York: Bantam Books, 1989), chap. 10; J. Leslie, *Universes* (London: Routledge, 1989).

(192) Rešenje je posle dužeg vremena pronašao Edvin Salpiter: Salpiter u svome članku objavljenom 1952. godine odaje priznanje drugom naučniku, po imenu Epik (E. J. Öpik), koji je na tu istu zamisao došao godinu dana pre njega - naime, 1951. godine.

(192) eksperimentatori koji su radili sa Hojлом: Danbar (D. N. F. Dunbar), Venzel (W. A. Wensel) i Vejling (W. Whaling).

(192) nema daljih prepreka za izgradnju svih težih elemenata: Zapravo, energetski nivoi kiseonika takođe moraju imati izvesne posebne odlike, da se ne bi desilo da sav ugljenik bude 'prekuvan' u kiseonik.

(192) Kao prvo, jedna grupa fizičara nedavno je pokazala: Livio (M. Livio), Holovel (D. Hollowell), Vajs (A. Weiss) i Truran (J. W. Truran).

(192) da bi energija tog pomenutog ugljenikovog stanja mogla znatno da se poveća: Konkretno, mogla bi se povećati za oko 60.000 volti. To je, priznajem, vrlo mala

energija u poređenju sa razlikom od 7.644.000 volti koja postoji između energije tog nestabilnog stanja i energije stabilnog najnižeg energetskeg stanja ugljenika. Ali nije potrebno neko fino podešavanje da bi, sa tim pomenutim stepenom greške, odnosno odstupanja, energija tog nestabilnog stanja ugljenikovog jezgra postala jednaka energiji koju imaju jedno jezgro berilijuma 8 i jedno jezgro helijuma zato što možemo sa prilično dobrom približnošću kazati da relevantna stanja i ugljenikovog jezgra i berilijumovog jezgra jesu naprosto labavo spojeni jezgrieni molekuli sačinjeni od tri ili od dva jezgra helijuma. (Zahvaljujem kolegi Vadimu Kaplunovskom /Vadim Kaplunovsky/ sa Univerziteta Teksas za ovu primedbu.)

(193) postoji jedan kontekst u kome on naprosto sledi iz običnog zdravog razuma: Ta verzija antropičkog načela ponekad se naziva 'slabo antropičko načelo'.

(193) Jedna vrlo jednostavna mogućnost, koju je predložio Hojl: F. Hoyle, Galaxies, Nuclei, and Quasars (London: Heinemann, 1965).

(194) do te mere da bi se čak mogle otvarati 'crvotočine': Strogo uzev, ove crvotočine se pojavljuju matematički u jednom pristupu kvantnoj teoriji koji je poznat kao integracija euklidovskih putanja. Nije jasno kakve veze imaju crvotočine sa ikakvim stvarnim fizičkim procesom.

(194) a u svakom od njih 'konstante' prirode poprimaju različite vrednosti, uz razne, drugačije verovatnoće: Koulmen je išao i dalje od toga, tvrdeći (kao što su tvrdili pre njega Baum /Baum/ i Hoking) da su verovatnoće za ove konstante beskonačno velike pri nekim posebnim vrednostima, tako da je izuzetno velika i verovatnoća da će te konstante poprimiti baš te vrednosti. Ali ovaj zaključak je zasnovan na jednoj matematičkoj formulaciji (integraciji euklidovskih putanja) čija je saglasnost osporena. Teško je sa pouzdanjem govoriti o takvim stvarima zato što se mi bavimo silom teže u kvantnom kontekstu, gde naše sadašnje teorije nisu više zadovoljavajuće.

(195) Ajnštajn je tada zažalio što je... osakatio svoju teoriju: Da bih još jednom pokazao koliko istorija nauke može biti složena, pomenuću da je neposredno posle objavljivanja Ajnštajnovog rada o kosmologiji godine 1917. Ajnštajnov prijatelj Vilhelm de Siter (Wilhelm de Sitter) ukazao na to da Ajnštajnovе gravitacione jednačine polja, kad se izmene uvođenjem kosmološke konstante, imaju jednu drugačiju klasu rešenja, koja takođe izgledaju statična, ali u kojima materije nema uopšte (ili ima zanemarljivo malo). Ovo je Ajnštajna razočaralo, jer je u njegovom rešenju kosmološka konstanta u vezi sa prosečnom gustinom materije, u skladu sa Mahovim učenjem kako ga je Ajnštajn shvatio. Štaviše, Ajnštajnovо rešenje (ono sa materijom) uistinu je nestabilno; bio bi dovoljan bilo kakav mali poremećaj, pa da se ono počne menjati i da se posle izvesnog vremena pretvori u De Siterovo rešenje. Da bi stvari bile još složenije, ja ću istaći činjenicu da je De Siterov model samo prividno statičan; iako se u De Siterovom koordinatnom sistemu geometrija prostorvremena ne menja sa proticanjem vremena, bilo koje dve male čestice koje, za probu, ubacite u De Siterovu Vaseljenu pohitaće da se jedna od druge što više udalje. Zapravo, kad su merenja koja je izvršio Vesto Šlifer postala, početkom dvadesetih godina, poznata u Engleskoj, Artur Edington ih je u prvo vreme protumačio u terminima De Siterovog rešenja Ajnštajnovih jednačina sa kosmološkom konstantom (pa je i on došao do statičnog rešenja), umesto da ih protumači u terminima prvobitne Ajnštajnovе teorije za koju statičnog rešenja nema!

(197) Već godinama se teorijski fizičari upinju da shvate kako se to poništava ukupna kosmološka konstanta: Jedan nematematički pregled toga daje Ebot (L. Abbott, Scientific American 258, No. 5 /1985/): 106.

(197) u većini slučajeva, daje daleko preveliku vrednost: Ne možemo se čak ni nadati da će biti pronađen ikakav mehanizam kojim bi vakuumsko stanje moglo izgubiti svoju energiju, raspasti se u neko stanje niže energije, time doći i do niže ukupne kosmološke konstante, i na kraju završiti u nekom stanju koje bi značilo da bi ukupna kosmološka konstanta bila jednaka nuli. Ne možemo zato što neka od tih mogućih vakuumskih stanja u teorijama struna već imaju veliku negativnu ukupnu kosmološku konstantu.

(197) Najprirodnija vrednost za gustinu mase u Vaseljenu: Ako bismo otkrili mase koju nižu ili višu gustinu, odmah bi iskrslilo pitanje zašto se to širenje nastavljalo milijardama godina, a ipak i sad postaje sve sporije i sporije.

10. SUOČENJE SA KONAČNOŠĆU

(201) odbacuje 'zamisao o konačnom objašnjenju': K. R. Popper, Objective Knowledge: An Evolutionary Approach (Oxford: Clarendon Press, 1972), p. 195.

kembridžski filozof Majkl Redhead: M. Redhead, "Explanation", August 1989, ovaj rad će tek biti objavljen.

(203) zamisao da ćemo na samom dnu naći da nema nikakvog zakona: Zanimljivu raspravu o ovoj mogućnosti dao je Pol DeJvis u članku 'Šta su zakoni Prirode'. Vidi: Paul Davies, "What Are the Laws of Nature", in The Reality Club No. 2, ed. John Brockman (New York: Lynx Communications, 1988).

(203) Džon Viler ponekad je govorio da možda nema nikakvog temeljnog zakona: Vidi, na primer: J. A. Wheeler, "On Recognizing 'Law Without Law'", Oersted Lecture presented at the Joint Ceremonial Session of the American Association of Physics Teachers and the American Physical Society, January 25, 1983, American Journal of Physics 51 (1983): 398. J. A. Wheeler, "Beyond the Black Hole", in Some Strangeness in the Proportion: A Centennial Symposium to Celebrate the Achievements of Albert Einstein, ed. H. Woolf (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1980), p. 341.

(203) Holger Nilsen koji je predložio nasumičnu dinamiku: H. B. Nielsen, "Field Theories Without Temelj Gauge Symmetries" in The Constants of Physics, ed. W. McCrea and M. J. Rees (London: Royal Society, 1983), p. 51; reprinted in Philosophical Transactions of the Royal Society of London A310 (1983): 261.

(204) Eugen Vigner je upozorio: E. P. Wigner, "The Limits of Science", Proceedings of the American Philosophical Society 94 (1950): 422.

(206) Redhead verovatno izražava uverenje većine: M. Redhead, "Explanation".

(206) Harvardski filozof Robert Nozick: R. Nozick, Philosophical Explanation (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1981), chap. 2.

11. A BOG?

(210) nebesa oglašavaju: Psalm 19:1 (Biblija u verziji engleskog kralja Džejmsa.)

(210) Stiven Hoking kaže da zakoni prirode jesu 'um Božji': S. Hawking, A Brief History of Time (London: Bantam Books, 1988); video sam dve nedavno objavljene knjige u čijim naslovima se koristi ista ta sintagma. To su: Dž. Trefil, Čitanje uma

Božijeg (J. Trefil, *Reading the Mind of God* /New York: Scribner, 1989/) i P. Dejvis, *Um Božji: naučna osnova za jedan razumni svet* (P. Davies, *The Mind of God: The Scientific Basis for a Rational World* /New York: Simon and Schuster, 1992/).

(210-211) fizičar, Čarls Misner, upotrebio je sličan jezik: C. W. Misner, in *Cosmology, History and Theology*, ed. W. Yourgrau and A. D. Breck (New York: Plenum Press, 1977), p. 97.

(211) Ajnštajn je jednom napomenuo svom asistentu: Tako Ajnštajnovre reči navodi Džerald Holton. Vidi: Gerald Holton, *The Advancement of Science, and its Burdens* (Cambridge: Cambridge University Press, 1986), p. 91.

(211) Drugom prilikom, Ajnštajn je rekao da je cilj pregalaštva u fizici: A. Einstein, prilog u *Festschrift f_r Aunel Stadola* (Z_rich: Orell F_ssli Verlag, 1929), p. 126.

(211) Teolog Paul Tilih jednom je napomenuo: u jednom svom predavanju na Univerzitetu Severna Karolina. Vidi: P. Tillich, c. 1960, prema navodu B. de Witt, "Decoherence Without Complexity and Without an Arrow of Time", University of Texas Center of Relativity, preprint, 1992.

(211) Onda je započeo dijalog između dvojice kongresmena: Ovo sam prepisao iz neredigovanog snimka tog svedočenja. Poslanici američkog Kongresa imaju jednu povlasticu koja se ne daje onima što pred njima svedoče - naime, povlasticu da sve što su kazali posle mogu svojeručno da isprave, da bi tek tako autorizovano ušlo u zapisnike Kongresa.

(213) Ajnštajn je jednom prilikom rekao da veruje u "Spinozinog Boga": To je kazao u intervjuu listu *New York Times*, 25. aprila 1929. Zahvaljujem A. Pejzu (A. Pais) od koga sam taj navod dobio.

(213) Galilej koji je Kopernikovoj tvrdnji dao uverljivost: Galilejevi radovi o kretanju pokazali su da mi na Zemlji ne bi trebalo da osećamo kretanje Zemlje oko Sunca. Osim toga, otkriće da oko Jupitera postoje, i oko njega kruže, prirodni sateliti dalo je primer za svojevrsni Sunčev sistem u minijaturi. Krunski dokaz bio je otkriće Venerinih mena, koje se nisu podudarale sa onim što bi se moralo očekivati ukoliko bi i Venera i Sunce kružili oko Zemlje.

(213) opazio da jedan isti zakon sile teže upravlja i kruženjem Meseca oko Zemlje i padanjem nekog predmeta na površinu Zemlje: Mesec, time što kruži oko Zemlje umesto da odleti u svemir u pravoj liniji, efektivno stiče jednu komponentu brzine koja iznosi oko dva i po milimetra u sekundi prema središtu Zemlje u svakoj sekundi. Njutnova teorija je objasnila da je to tri hiljade šest stotina puta manje ubrzanje od onoga kojim jabuka pada u Kembridžu, zato što je Mesec od središta Zemlje udaljen šezdeset puta više nego Kembridž, a gravitaciono ubrzanje opada srazmerno kvadratu udaljenosti.

(214) Na Šredingerovu pogrešku ukazao je molekularni biolog Maks Perac: M. F. Perutz, "Erwin Schr,dinger's What is Life? and Molecular Biology", in *Schr,dinger: Centenary Celebration of a Polymath*, ed. C. W. Kilmeister (Cambridge: Cambridge University Press, 1987), p. 234.

(215) profesor Filip Džonson: Ja sam za profesora Filipa Džonsona prvi put čuo kad mi je jedan prijatelj dao Džonsonov članak 'Evolucija kao dogma', objavljen u magazinu: *First Things: A Monthly Journal of Religion and Public Life*, October 1990, pp. 15-22. Taj profesor je nedavno objavio i knjigu, *Darvin pred sudom* (*Darwin on Trial*, Washington D.C.: Regnery Gateway, 1991), a koliko čitam u jednom članku (*Science*

253 (1991): 379) dotični profesor putuje po Americi i drži predavanja narodu u cilju popularizacije svojih nazora i spisa.

(217) u jednom prikazu Džonsonove knjige: Stiven Gould, "Jednog samozvanog sudiju treba da svrgnemo". Vidi: S. Gould, "Impeaching a Self-Appointed Judge", *Scientific American*, July 1992, p. 118.

(221) Džon Polkinghorn se rečito zalagao za jednu teologiju: J. Polkinghorne, *Reason and Reality: The Relation Between Science and Theology* (Philadelphia: Trinity Press International, 1991).

(222) tih nekoliko napisanih reči proganjaju me bez prestanka od tada pa sve do dana današnjeg: Dva nedavna komentara: S. Levinson, "Religious Language and the Public Square", *Harvard Law Review* 105 (1992): 2061; M. Midgley, *Science as Salvation: A Modern Myth and its Meaning* (London, Routledge, 1992).

(222) intervjuje sa dvadeset sedam kosmologa i fizičara: A. Lightman and R. Brawer, *Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990).

(223) Kao što reče Suzan Zontag: S. Sontag, "Piety Without Content", in *Against Interpretation and Other Essays* (New York: Dell, 1961).

(224) Istoričar Hju Trevor-Rouper rekao je: H. R. Trevor-Roper, *The European Witch-Craze of the Sixteenth and Seventeenth Centuries, and Other Essays* (New York: Harper & Row, 1969).

(225) Kao što kaže Karl Poper: K. R. Popper, *The Open Society and its Enemies* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1966), p. 244.

(225) Još je Dejvid Hjum uvideo: Vidi njegovo delo *Rasprava o ljudskoj prirodi* (*Treatise on Human Nature*) objavljeno godine 1739.

(226) Crkvena istorija Engleza: Bede, *A History of the English Church and People*, trans. Leo Sherley-Price and rev. R. E. Latham (New York: Dorset Press, 1985), p. 127.

12. SILAZAK U OKRUG ELIS

(230) Posle je Samios rekao da je takvo glasanje: Tako je naveden u časopisu *Science* 221 (1983): 1040.

(231) objavio je odluku svog ministarstva da obustavi projekat 'Izabela': Tunel 'Izabele' sada će biti iskorišćen za postavljanje relativističkog kolajdera teških jona. To je akcelerator koji će biti upotrebljen za proučavanje sudara teških atomskih jezgara. Cilj toga je da se razume materija jezgra, a ne da se otkrivaju temeljna načela fizike elementarnih čestica. Očekuje se da će ovaj sudarač teških jona biti spreman za rad 1997. godine.

(233) egzotična tamna materija... bi i svoja gravitaciona zgušnjavanja počela u nekom znatno ranijem trenutku: Ova primedba odnosi se na neujednačenosti koje bi bile galaktičkih razmera, ali se ne odnosi na mnogo krupnije neujednačenosti o kojima su zaključci dobijeni na osnovu COBE-ovih merenja. Jer ove druge su tako ogromne da čak ni svetlosni talas nije mogao preći preko njih u toku prvih trista hiljada godina posle početka sadašnjeg širenja Vaseljene, iz čega proističe (bez obzira na to da li one jesu ili nisu sačinjene od tamne materije) da nisu mogle znatno porasti za to vreme.

(232) Svake godine... sa uvek istim argumentima: Kad je oblast Elis odabrana da bude lokacija za superprovodni superkolajder, u raspravu je ušao jedan novi element:

razočarani političari iz država kao što su Arizona, Kolorado i Ilinois počeli su izricati optužbe da je Teksas pobedio pomoću nepoštenih političkih pritisaka. Mnogi su počeli pominjati činjenicu da je odluka Ministarstva za energiju saopštena samo dva dana posle izbora Džordža Buša za predsednika SAD. Posle saopštenja odluke o lokaciji SSC-a, ministar za energiju Herington (Herrington) je rekao da je radna grupa koja je ocenjivala sedam 'visokokvalifikovanih' terena bila izdvojena od ma kakvih političkih pritisaka; da on lično nije ni doznao kako odluka glasi sve do samog dana predsedničkih izbora; da po oceni radne grupe teren u Teksasu jeste očigledno najbolji; i da je on, ministar, tek posle predsedničkih izbora išao kod predsednika Regana i kod novoizabranog predsednika Buša da dobije saglasnost za početak radova. Sklon sam da verujem da je ceo proces mogao biti i malo ubrzan, i da je odluka mogla biti objavljena pre dana predsedničkih izbora, ali onda bi nesumnjivo neko optuživao Ministarstvo da je stvar bila tempirana da bi se pridobili glasači u Teksasu, koji su na tim izborima značajna snaga. S druge strane, čak i ako na izbor mesta nisu nimalo uticali predsednički izbori i pobjeda Džordža Buša, Ministarstvo za energiju je svakako znalo, unapred, koliko je jaka poslanička grupa iz Teksasa u Kongresu, i koliko oduševljena za SSC, pa se Ministarstvo možda nadalo da će smeštanjem superkolajdera baš u Teksas poboljšati izgleda da projekat SSC dobije pare od Kongresa. Ako je tako bilo, to ipak ne bi bio neki skandal, jer to ne bi bio ni prvi ni poslednji put da neko ministarstvo nastupa tako sračunato. A ja, u svakom slučaju, mogu posvedočiti da nikakva razmatranja te vrste nisu uticala na odabir sedam najpogodnijih lokacija od strane te radne grupe, čiji sam član bio. Naša radna grupa je od samog početka smatrala da je Teksas među najizglednijim konkurentima, delom zbog izuzetno pogodne geologije. Jedan važan činilac bilo je žestoko lokalno protivljenje izgradnji superkolajdera, koje smo primetili na nekoliko drugih izuzetno pogodnih lokacija, pa i u susedstvu Fermilaba u Ilinoisu. U okrugu Elis, praktično svi su sa dobrodošlicom čekali i pozdravljali izgradnju superprovodnog superkolajdera.

(236) 'kvarkogojstvo': D. Ritter, Perspectives, summer 1988, p. 33.

(237) tako oslobođeni novac preusmeren je u projekte za navodnjavanje: Vidi, na primer: R. Darman, prema navodu P. Aldhous in "Space Station Back on Track", Nature 351 (1991): 507.

O PISCU

Stiven Vajnberg sticao je obrazovanje na univerzitetima Kornel, Kopenhagen i Princeton, a zatim je držao nastavu na univerzitetima Kolumbija, Berkli, MIT i Harvard, pre nego što je, godine 1982, prešao na Univerzitet Teksas u gradu Ostinu, gde je sada profesor na 'Džouzijskoj regentskoj' katedri. Za svoj rad u fizici elementarnih čestica dobio je jedanaest počasnih doktorata i mnogo nagrada i medalja, uključujući Nobelovu nagradu za fiziku godine 1979. i Nacionalnu medalju za nauku godine 1991. Autor je i knjiga Prva tri minuta (The First Three Minutes), Otkrivanje subatomske čestice (The Discovery of Subatomic Particles), Gravitacija i kosmologija (Gravitation and Cosmology) i Elementarne čestice i zakoni fizike (Elementary Particles and the Laws of Physics) (sa Ričardom Fajnmenom). Osim toga, objavljeno je preko dve stotine njegovih članaka o fizici elementarnih čestica i o kosmologiji. Član je Londonskog kraljevskog društva i američke Nacionalne akademije nauka, kao i Američkog filozofskog društva, Američke akademije umetnosti i nauka, Međunarodne astronomske unije, Američke

akademije za medijevalistiku, Filozofskog društva Teksasa, kao i drugih uglednih organizacija.

□