

5. Razlika prošlosti i budućnosti

Svakome je jasno da se događaji u našem svijetu ne daju obrnuti. Drugim riječima, ima stvari koje se ne mogu dogoditi naopako. Ispustite li šalicu, ona će se razbiti, i koliko god čekali, krhotine se neće sakupiti natrag i šalica vam neće skočiti u ruku. Kad gledate valove koji se razbijaju o morsku obalu, dugo ćete stajali i uzalud čekati na veliki trenutak da se pjena skupi u val, podigne nad morem i uputi sve dalje i dalje od obale - to bi bio prizor!

Na predavanjima uz pomoć kinoprojektora obično pokazuju ovo: odreže se komad vrpce na koju je snimljen neki niz događaja i pokazuje ga se natraške, što obvezatno izaziva buru smijeha. Taj smijeh svjedoči da se u stvarnom životu tako nešto ne događa. Uostalom to samo blijedo prikazuje toliko očitu i duboku činjenicu kao što je razlika budućnosti i prošlosti. Jer i bez ikakvih pokusa u nama je duboko usađeno razlikovanje prošlosti od budućnosti. Mi pamtimo prošlost, ali ne pamtimo budućnost. Naše znanje o tome što se može dogoditi sasvim je drukčije od znanja o onome što se već dogodilo.

Prošlost i budućnost doživljavamo i psihološki sasvim na različite načine: za prošlost imamo pojam sjećanja, a za budućnost - pojam prividno slobodne volje. Uvjereni smo da nekako možemo utjecati na budućnost, ali nitko od nas, osim možda pojedinaca, ne misli da bi mogao iz-

mijeniti prošlost. Kajanje, žaljenje i nada - to su riječi koje vrlo zorno ocrtavaju granicu između prošlosti i budućnosti.

Ali ako je sve na ovom svijetu napravljeno od atoma, ako smo mi sami načinjeni od atoma i podvrgnuti zakonima fizike, onda bi bilo najprirodnije da se ta očita razlika prošlosti i budućnosti, ta neobrativost svih pojava objasni time što neki zakoni gibanja atoma imaju samo jedan smjer - što atomski zakoni nisu jednaki u odnosu na prošlost i budućnost.

Negdje u mehanici mora postojati načelo poput ovoga: »Od stabla možeš napraviti dasku, ali od daske ne možeš stablo«, tako da naš svijet stalno mijenja svoje osobine, sve je manje »stabilen« i sve više »daščan«, i ta neobrativost međudjelovanja mora biti uzrok neobrativosti svih pojava u našem životu.

Međutim do sada takvo načelo nije pronađeno. To jest, ni u kojem od dosada poznatih zakona fizike ne opaža se nikakva razlika između prošlosti i budućnosti. Filmska vrpca mora pokazivati jedno te isto u oba smjera, i fizičar koji to gleda nema nikakva razloga za smijeh.

Uzmimo naš uobičajeni primjer - zakon opće gravitacije. Uzmimo Sunce i planet, lansirajmo planet oko Sunca u nekom smjeru, snimimo to gibanje na film, a zatim pokažimo taj film natraške. Što će se dogoditi?

Vidjet ćemo da se planet giba oko Sunca, istina u suprotnu smjeru, i da njegova staza opisuje elipsu. Brzina gibanja je takva da za jednaka vremena spojnica planeta i Sunca opisuje uvijek jednake površine. U stvari, sve će biti upravo tako kako mora biti. Neće nam uspjeti otkriti u kojem nam smjeru pokazuju film, u pravom ili krivom. Tako je za zakon opće gravitacije svejedno kakav je smjer vremena; ako vam pokazuju natraške bilo koji film o događajima povezanim samo sa zakonima gravitacije, sve što vidite na ekranu izgledat će sasvim prirodno.

Tu misao možemo još točnije izraziti. Kada bi se u nekom složenom sustavu brzine svih čestica u nekom trenutku promijenile u suprotne, sustav bi se vratio u početno stanje prošavši pri tome sva stanja kroz koja je prošao do iznenadne promjene brzina. Tako, ako imamo skup čestica koje izvode neku radnju, pa im odjednom

zamijenimo brzine suprotnima, te će čestice ispraviti sve što su do tog trenutka napravile,

To je svojstvo dio sama zakona opće gravitacije, koji tvrdi da se pod djelovanjem sile mijenja brzina. Promijenimo li smjer vremena, sile se, očito, neće promijeniti, pa se onda neće promijeniti ni prirasti brzina u odgovarajućim vremenskim intervalima. Zato će svaka brzina doživjeti upravo one promjene kao i prije, samo obrnutim redoslijedom. Tako će biti vrlo jednostavno dokazati obrati vost zakona opće gravitacije s obzirom na vrijeme.

A zakoni elektriciteta i magnetizma? I oni su obrativi u vremenu.

Zakoni nuklearne fizike? Koliko znamo, obrativi su.

Zakoni beta-raspada, o kojima smo ranije govorili? Također obrativi?

Naše poteškoće s pokusima, koji se posljednjih mjeseci provode i koji su pokazali da tu nije sve glatko, da nam neki zakoni nisu još poznati, tjeraju na pomisao da je beta-raspad možda i neobrativ u vremenu, i da se u to do kraja uvjerimo, bit će potrebni novi pokusi. Uostalom nitko i ne sumnja da beta-raspad (bio on obrativ ili ne) igra trećerazrednu ulogu za većinu svakodnevnih zbivanja. To što ja s vama razgovaram ne ovisi o beta-raspadu, ali ovisi o kemijskim međudjelovanjima, a prisutnosti električnih sila, sasvim malo o nuklearnim reakcijama, a također ovisi i o gravitacijskim pojavama.

Unatoč tome, sve što radim sasvim je neobrativo u vremenu: dok ja govorim, zrak raznosi moj glas, ali se ne usisava natrag u usta kad ih otvaram, i to se ne može opravdati samom neobrativošću beta-raspada. Drugim riječima, možemo smatrati da se većina pojava ovoga svijeta, nastalih pomicanjem atoma, podvrgava zakonima koji su obrativi u vremenu. Zato će trebati potražiti neko drugo objašnjenje neobrativosti.

Počnemo li promatrati gibanje naših planeta malo pažljivije, otkrit ćemo uskoro da tu nije sve onako kako nam se činilo u početku. Na primjer, vrtnja Zemlje oko svoje osi pomalo se usporava. Tome je uzrok trenje zbog plime i oseke, a svako je trenje, očito neobrativo. Ako gurnemo neki teški predmet koji leži na podu, pomaknut će se s mjesta i ponovno zaustaviti. I koliko god stajali i

čekali, nećete dočekati da vam se sam vrati. Tako se svi učinci vezani uz trenje čine neobrativi. A trenje je, kako smo već objasnili, posljedica neobično složenog međudjelovanja predmeta i poda, posljedica pomicanja atoma na mjestu dodira. Uređeno gibanje tijela pretvara se u nesređeno i nepravilno komešanje atoma poda. Eto zašto bi trebalo bolje proniknuti u te pojave. Upravo tu nalazimo ključ očite neobrativosti pojava. Osvrnimo se na jedan jednostavan primjer.

Uzmimo vodu obojenu crnilom i čistu vodu, bez crnila, nalijmo ih u posudu pregrađenu tankom pregradom u dva dijela. Oprezno uklonimo pregradu. U samu početku voda će biti odvojena, plava desno, bistra lijevo. Ali počekajte. Malo pomalo plava će se voda početi miješati s čistom, i za neko će vrijeme sva voda postati plava, ali intenzitet plave boje spast će na polovicu. To znači da se crnilo jednolično podijelilo po čitavom obujmu. Sada, kolikogod čekali, nećete dočekati da se voda sama od sebe ponovno razdijeli na plavu i bistru. (Naravno, vi je možete nasilno podijeliti. Možete je, na primjer, ispariti, na drugom je mjestu kondenzirati, skupiti plavu boju, otopiti u polovici skupljene vode, vratiti pregradu i naliti vodu natrag u dvodjelnu posudu. Ali dok to budete radili, izazvat ćete druge neobrativne pojave.) Sama od sebe voda se neće vratiti u početno stanje. To nam daje određeni ključ za rješenje problema. Pogledajmo ponašanje molekula.

Pretpostavimo da smo snimili film o miješanju čiste i plave vode. Ako ga sada projiciramo natraške, činit će nam se neobično. U početku će voda biti jednoliko obojena, a onda će se postupno odjeljivati; sasvim očito da takav film ne djeluje uvjerljivo. Povećajmo sada naše snimke toliko da bi fizičari mogli promatrati svaki pojedini atom pokušavajući naći što se tamo događa neobrativo, gdje su povrijeđeni zakoni ravnoteže između gibanja u budućnost i gibanja u prošlost. Uključujemo projektor i gledamo na ekran. Vidimo dvije različite vrste atoma (bit će to malo nezgrapno, ali nazovimo ih bijeli i plavi), koji jure na sve strane zbog toplinskog gibanja. Na samu početku većina jednih atoma bit će na jednoj strani, a većina drugih na drugoj. Ali ti atomi neprestano jure s jedne strane na drugu, ima ih milijarde i milijarde, i makar su na početku svi plavi atomi bili na jednoj strani, a bijeli

na drugoj, vidjet ćemo da će se oni zbog svoje besciljne jurnjave početi miješati. Time i objašnjavamo zašto na kraju sva voda postane, više-manje, jednoliko plava.

Promatrajmo bilo koji sraz koji se događa na filmu. Vidjet ćemo da se atomi prvo sraze a onda razlete u suprotnu smjeru. Projicirajmo taj dio filma natraške. Vidjet ćemo kako se dvije molekule približavaju po stazama po kojima su se, zapravo, razletjele a zatim, srazivši se, razlete se po putanjama po kojima su se, u stvari, približavale. Fizičar, koji sve to pažljivo promatra, mjeri udaljenosti i uvjerava vas: »Tu je sve u redu, sve je u skladu sa zakonima fizike. Ako su se molekule približavale po tim stazama, morale su se razletjeti upravo tako kako su se razletjele.« I ta je, dakle, pojava obratna. Zakoni molekularnih srazova obratni su u vremenu.

Tako i pored pažljiva promatranja, ponovno ništa ne razumijemo. Jer svaki je sraz sasvim obratni, a naš film svejedno pokazuje nešto posve besmisleno: u početku su molekule pomiješane — plave, bijele, plave, bijele - a tijekom vremena, nakon mnogih srazova, odijele se na bijele okupljene u jednom području i plave rasprostranjene u drugom. Ali ne može biti, neprirодно je da se plave slučajno odijele od bijelih. Pa ipak, vrtimo li naš film natraške, vidjet ćemo da je svaki pojedini sraz sasvim pravilan. Jedini je zaključak do kojega možemo doći, da je sva ta neobrativost upravo izazvana slučajnostima.

Ako pođete od stanja u kojem je sve odijeljeno, izvodite kojekakve slučajne promjene, raspodjela će bivati sve jednolikija. Ali ako pođemo od jednolike raspodjele i opet se zabavimo slučajnim promjenama, to neće dovesti do odjeljivanja. U načelu odjeljivanje je moguće. Gibanja i odrazi molekula, koji bi doveli do odjeljivanja, ne protive se nikakvim zakonima fizike. Jednostavno su malo vjerojatni. Tako nešto moglo bi nastati jednom u milijun godina. Tu je i odgovor na naše pitanje. Događaji u našem svijetu neobrativi su u tom smislu da je njihov razvoj u jednu stranu sasvim vjerojatan, a u drugu, iako moguć, iako ne proturječi zakonima fizike, događa se jednom u milijun godina. Zato je besmislica sjediti i čekati da jednom to kaotično gibanje atoma dovede do odjeljivanja smjese crnila i vode na crnilo s jedne strane i vodu s druge.

A sada odvojimo u našem pokusu jedan mali obujam, tako da u naš novi spremnik upadne samo četiri — pet molekula svake vrste, i promatrajmo kako se one mijesaju. Mislim da nije teško povjerovati da će se jednom, ne baš za milijun godina, možda tijekom godine, nakon mnoštva slučajnih srazova, dogoditi da se one vrte u stanje više-manje slično polaznome, barem u smislu da ako u tom trenu spustimo pregradu, sve će se bijele molekule naći u desnom dijelu spremnika, a sve plave u lijevom. U tome nema ničega nemogućeg. Ali stvarni predmeti koje susrećemo nisu napravljeni od četiri-pet plavih i bijelih molekula, već od četiri-pet milijuna milijuna milijuna milijuna molekula, i sve bi se one trebale tako odijeliti. Zato prividna neobrativost prirode ne izlazi iz neobrativosti osnovnih zakona fizike. Ona je povezana s time što, polazeći od nekog uređena sustava podvrnutog slučajnostima koje se događaju u prirodi, npr. srazovima molekula, sve će se odvijati na neobrativ način, samo u jednom smjeru.

S tim u vezi postavlja se ovo pitanje: a kako objasniti postojanje početnoga reda? Drugim riječima, zašto nam uspijeva početi od uređena sustava?

Poteškoća je u tome što mi uvijek počinjemo od uređena stanja, a nikad ne dolazimo u takvo stanje. Jedan prirodni zakon govori o tome da se sve mijenja od reda prema neredu. U tom slučaju riječ »red« i »nered« još su jedan primjer kako svakodnevni izrazi mijenjaju svoj obični smisao kada se njima počnu služiti fizičari. Red u fizikalnom smislu uopće ne mora biti koristan za nas ljude; ta riječ samo ukazuje na postojanje neke određenosti. Svi atomi jedne vrste s jedne strane, a svi atomi druge vrste s druge, ili sve to pomiješano - to je sva razlika između reda i nereda u fizici.

I tako, nameće se pitanje kako je došlo do početna reda, i zašto - gledajući na bilo koje obično, samo djelomice uređeno stanje - možemo zaključiti da je ono najvjerojatnije nastalo iz drugog još uređenijeg stanja. Ako gledam na posudu s vodom koja je s jedne strane tamno plava, s druge blijedo plava, a u sredini osrednje plava, i znam da za posljednjih 20-30 minuta nitko tu posudu nije dirao, lako ću se dosjetiti da takva obojenost potječe odatle što je ranije odijeljenost bila potpunija. Ako još počekam, prozirna i plava voda još više će se pomiješati, i ako

znam da je dugo nitko nije dirao, moći ću izvesti neke zaključke o njezinu početnom stanju. Iz činjenice da je boja na krajevima jednoličnija zaključujemo da su u prošlosti te boje bile oštrije odijeljene. Inače bi se za proteklo vrijeme mnogo jače pomiješale. Tako, gledajući sadašnjost, možemo ponešto doznati o prošlosti.

U stvari, to fizičare mnogo ne zanima. Fizičari su skloni cijeniti kao važne i ozbiljne samo probleme ove vrste: sada su uvjeti takvi, što će biti poslije? Sve nam se bliske znanosti bave sasvim drugim pitanjima. I uopće sva ostala područja znanja — povijest, geologija, astronomija... — rješavaju sasvim drukčije probleme. Njihova su proricanja sasvim druge vrste od onih na koja su navikli fizičari.

Fizičar obično kaže: »U takvim i takvim uvjetima mogu vam reći što će se sada dogoditi.«

A geolog će vam reći ovako nešto: »Iskopao sam iz zemlje kosti određene vrste. Zato ja proričem da ćemo, ako budemo još kopali, naći još takvih kostiju.«

Povjesničar, iako govori o prošlosti, može istodobno govoriti i o budućnosti. Kada on tvrdi da se francuska revolucija zbila god. 1789, tada želi reći da ćete, ako zavirite u drugu knjigu o francuskoj revoluciji, naći istu godinu. On zapravo daje svojevrsno predviđanje o nečemu što još nikad nije vidio, o dokumentima koje treba još naći. On tvrdi da će se u tim dokumentima, ako je riječ o Napole-onu, naći napisano isto što i u drugim dokumentima. Nameće se pitanje zašto je to moguće, i jedini je mogući izlaz u pretpostavci da je u prošlosti naš svijet bio u tom smislu bolje organiziran od sadašnjosti.

Neki su mišljenja da je naš svijet postao uređen na ovaj način. U početku je naš svemir bio u stanju potpuna meteža, kao dobro promiješana voda. Ali mi znamo, čekamo li dovoljno dugo i ako broj atoma nije pretjerano velik, da će se sasvim slučajno u nekom trenutku voda odijeliti. U prošlom stoljeću pojedini su fizičari pretpostavljali da je naš svemir, u svijetu nesredena gibanja, fluktuirao. Tim se izrazom često služimo kad želimo istaći neko odstupanje od obične jednolikosti. I tako je nastala fluktuacija, a sada mi promatramo kako se svijet pomalo opet vraća u kaos.

Možete mi se usprotiviti: »Ali zamislite, koliko vremena treba čekati da bi se dočekalo takvu fluktuaciju?«

Znam, znam, ali da fluktuacija nije bila dovoljno jaka da otpočne proces evolucije, da se pojave i razumna bića, nitko je ne bi ni primijetio.

Tako nam nije preostalo drugo nego čekati i čekati sve dok se mi ne pojavimo na svijetu i ne opazimo je; za to nam je trebala barem takva fluktuacija. Istina, meni se osobno čini da je takva teorija neispravna. Čini mi se nezgrapna, a evo zašto.

Pretpostavimo da je naš svijet vrlo velik, da su u početku atomi bili razbacani nasumce po čitavu svijetu i da ja mogu promatrati pojedini njegov dio, odabirući taj dio sasvim slučajno. Ako tada primijetim da su atomi promatrana dijela na neki način uređeni, neću imati nikakve osnove za tvrdnju da je i drugdje takav red. Zapravo, ako tu imamo fluktuaciju i vidimo nešto neobično, onda se najvjerojatnije tu pojavila zbog toga što se drugdje nije dogodilo ništa neobično. Drugim riječima, da bi se na jednom mjestu postigla odstupanja od norme, na drugome mjestu moramo malo posuditi, ali samo malo.

U našem pokusu s obojenom i čistom vodom, i u trenutku kada se naših nekoliko molekula iznenada odijeli, sva će ostala voda najvjerojatnije ostati pomiješana. I zato bismo, iako uvijek kad gledamo na zvijezde i čitav svijet vidimo da je sve uređeno, to morali prihvatiti kao fluktuaciju, a tamo dalje, kuda još nismo zavirili, sve bi moralo biti u stanju potpuna kaosa. Iako podjela tvari na vruće zvijezde i hladni svemir, koje promatramo, može biti posljedica neke fluktuacije, na drugim mjestima, koja danas ne možemo promatrati, ne bismo smjeli očekivati podjelu na zvijezde i svemir. Unatoč tome mi uvijek predviđamo da i izvan našeg dosega ima zvijezda ove vrste, ili da se i tamo mogu naći iste tvrdnje o Napoleonu, ili naći kosti koje smo već ranije vidjeli. Valjanost takvih znanstvenih proricanja svjedoči o tome da se naš svijet nije pojavio kao posljedica fluktuacije, već da se razvio iz drugoga, uređenijega. Zato mi se čini da poznatim fizikalnim zakonima moramo dodati pretpostavku da je u prošlosti svemir bio bolje uređen (u tehničkom smislu te riječi) nego što je danas. Ja mislim

da nam je upravo to nedostajalo da sve stavimo na svoje mjesto, da se do kraja snađemo u pojavama neobrativosti.

Naravno, ta je tvrdnja sama po sebi nesimetrična s obzirom na vrijeme, iz nje izlazi da se prošlost nečim razlikuje od budućnosti. Ali ona je izvan okvira onoga što se obično podrazumijeva pod fizikalnim zakonima, jer danas se trudimo povući oštru granicu između fizikalnih zakona i izjava o tome kako je naš svijet izgledao u prošlosti. To je područje astronomske povijesti, iako je sasvim moguće da jednog lijepog dana i to postane poglavlje fizike.

O neobrativosti može se pričati još mnogo toga zanimljivoga, i ja ću posegnuti za konkretnim primjerom. Zanimljivo je, npr. pogledati kako radi neki neobrativi stroj.

Zamislite da smo napravili neki stroj koji može raditi samo u jednom smjeru. Odabrali smo kotač s polužicom nazubljen poput pile po čitavu rubu, a zupci su mu urezani tako da imaju naizmjenice blage i strme nagibe. Kotač se može vrtjeti oko svoje osi, a tu je i mala polužica pričvršćena šarkicom i uz pomoć jedne zavojnice pritegnuta u najniži položaj (si. 26).

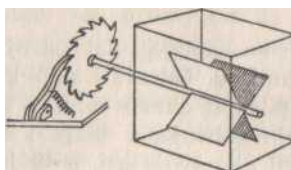


Sl. 26.

Takav se kotač može okretati samo u jednu stranu. Ako ga pokušate okretati u suprotnu smjeru, polužica će uprijeti u strmu padinu uzubine i neće je propustiti. Ako okrećete u pravom smjeru polužica će uz škljocanje preskakivati sa zupca na zubac... (Znate o čemu pričam. Takvi se zupčanicu rabe u urama, u ručnim urama također. Dok navijate uru, taj zupčanik dopušta namatanje opruge, a zatim joj ne dopušta odmatanje). Takav je stroj potpuno neobrativ, tj. može se okretati samo u jednu stranu.

Pomislilo bi se da se uz pomoć takva stroja - kotača, koji se može okretati samo u jednu stranu, može

napraviti jedan vrlo zanimljiv i koristan uređaj. Kao što znate, u prirodi imamo stalno kaotično gibanje molekula, i kada bismo napravili vrlo osjetljiv uređaj, on bi stalno drhtao pod udarcima susjednih molekula zraka. Okoristimo se time i na osovinu našeg zupčanika nasadimo četiri lopatice, kao na sl. 27. Lopatice su u posudi s plinom, čije molekule ih stalno i nasumce gađaju, gurajući ih tako malo na jednu, malo na drugu stranu. Kad se pokušaju okrenuti na jednu stranu, položnica im to neće dopustiti; pri pokušaju vrtnje na drugu stranu, neće im ništa smetati, tako da će se naš kotač stalno okretati. Dobit ćemo nešto kao perpetuum mobile. A sve samo zato, jer je gibanje zupčanika s polužicom neobrativo.



Sl. 27.

No, pogledajmo to izbliza. Zapravo, naš uređaj radi ovako. Kada se kotač okrene u jednu stranu, podiže polužicu, koja zatim pada sa zupca i škljocne udarajući u idući zubac. Nakon toga odskače, i ako je savršeno elastičan odskakivat će i odskakivati, bez kraja, a kotač će se moći okretati i naprijed i natrag u onim trenucima kada je polužnica odskočila na gore. Tako naš uređaj neće raditi ako se polužica ne zaustavi, nalegne ili ne odskoči malo niže. Ako ne odskakuje od sama vrha, to znači da negdje imamo prigušenje ili trenje, i zato će polužica (jedino tako se i može osigurati neobrativost rada našeg uređaja) - odskačući sa zupca i zaustavljajući se - izlučivati toplinu, pa će kotač postajati sve topliji i topliji. A kada se dovoljno ugrije, počet će i druge pojave. Jednako kao i u plinu molekule polužice i lopatica izvode stalno kaotično Brownovo gibanje, i to će gibanje biti to nesređenije što je viša temperatura, bez obzira od čega su napravljeni i polužica, i lopatice i drugi djelovi. Doći će na kraju do toga da se kotač toliko ugrije, da poluga

počne skakati gore-dolje zbog gibanja vlastitih molekula, u biti zbog istog razloga koji pokreće i lopatice. Ali, poskakujući gore-dolje, polužica će se zadržati gore jednako koliko i dolje, pa će se kotač moći okretati u obje strane. Tako više nemamo stroja s jednostranim gibanjem. Zupčanik bi se mogao okretati čak i na drugu stranu. Ako se samo kotač ugrijao a hladan je onaj dio gdje su nasadene lopatice, kotač — za koji ste očekivali da se okreće samo na jednu stranu — počet će se okretati u suprotnu, jer će ga svaki put kada padne na položenu padinu zupca polužica gurati natrag. Kad ponovno odskoči, past će na blaži nagib zupca, i opet će ga gurnuti u suprotnu smjeru.

Kakve veze ima s time temperatura plina oko lopatica? Zamislimo da lopatica uopće nema. Tada će se dogoditi ovo: kada polužica gurne kotač padajući na položenu padinu zupca, na nju će naletjeti prednji strmi kraj idućeg zupca, odbit će se i okrenuti u suprotnu smjeru. Eto, zato da kotač ne bi odskakivao natrag, nasadili smo mu prigušivač, lopatice smjestili u zrak, koji ne dopušta da se kotač odbija natrag — koči, dakle, njegovo gibanje. Ispada da će se naš kotač gibati u jednu stranu, ali ne u onu koju smo očekivali. Dolazimo do toga da će se naš uređaj okretati na jednu stranu ako mu je jedan dio topliji od drugoga, a na drugu ako mu je taj dio hladniji. Kada se završi razmjena topline među različitim dijelovima stroja, sve će se smiriti: temperatura kotača i lopatica bit će jednake, stroj se — u prosjeku — neće okretati ni u jednu ni u drugu stranu. Evo, to nam je praktičan primjer, gdje se prirodna pojava odvija samo u jednu smjeru sve dok je narušena ravnoteža, sve dok je s jedne strane mirnije nego s druge, dok je jedna strana plavija od druge.

Polazeći od zakona očuvanja energije, mogli bismo pomisliti da nam stoje na raspolaganju neograničene zalihe energije, zato što priroda niti troši, niti dobavlja energiju. Ali energija, na primjer, mora, energija gibanja njegovih atoma, za nas je nedostižna. Da bi se tu energiju ukrotilo, usmjerilo, pripremljeno za naknadnu upotrebu, nužno je dobiti razliku temperatura. Inače, vidjet ćemo da, iako ima energije, njome se ne možemo koristiti. Tako je između postojanja energije i njene dostupnosti

ogromna razlika. U moru je pohranjena ogromna energija, ali nama je nedostupna.

Zakon očuvanja energije govori da je ukupna energija svemira stalna. U kaotičnu gibanju ona može biti tako jednoliko raspodijeljena, da se u pojedinim slučajevima ništa ne da pokrenuti ni u jednom ni u drugom smjeru, energijom se više ne da upravljati.

Pokušat ću vam jednom usporedbom objasniti u čemu je poteškoća. Ne znam je li vam se dogodilo, meni jeste, da sjedite na plaži s nekoliko ručnika, kada vas iznenadi pljusak. Što je moguće hitrije skupljate ručnike i skačete u svlačionicu. Tamo se počinjete otirati; vaši ručnici, iako su i oni malo pokisli, ipak su suši od vas. Otirete se jednim ručnikom sve dok se taj ne namoči (tada vas on upravo toliko otire koliko i namače), zatim se poslužite drugim, i na kraju otkrivате strašnu istinu: svi su ručnici mokri a vi se još niste sasvim otrli. Sada se ne možete obrisati, iako imate dovoljno ručnika, a to sve zbog toga što između vaše vlažnosti i vlažnosti ručnika nema razlike. Možemo smisliti nekakvu veličinu, nazovimo je »sposobnost odvodnjavanja«. Tako će vaša »sposobnost odvodnjavanja« biti jednaka »sposobnosti odvodnjavanja« ručnika, pa ćete, brišući se mokrim ručnikom, skidati sa sebe isto toliko vode koliko će i vaša koža oduzeti ručniku. To ne znači da će na vama i na ručniku biti jednake količine vode. Ako je ručnik veći, bit će više vode na njemu, ako je manji, bit će manje, ali vlažnosti će im biti jednake. Nakon što se vlažnost svih predmeta izjednačila, ne možete poduzeti više ništa.

U tom je primjeru voda kao energija, ukupna se količina vode ne mijenja. (Naravno, ako su vrata svlačionice otvorena, pa možete istrčati na sunce i prosušiti se ili nabaviti još jedan suhi ručnik, bit ćete spašeni. Ali zamislite da su vrata zatvorena, drugih ručnika nema, a s ovima ne možete ništa). Eto tako, ako zamislite jedan izdvojeni dio svemira, ako počekate dovoljno dugo, zbog slučajnosti koje se na tom svijetu događaju, energija će se kao i voda, jednoliko rasporediti po tom dijelu, a od neobrativih procesa neće više biti ni traga. Kako vidimo, u tome se svijetu neće više ništa, u tom smislu, zanimljiva dogoditi.

Zato se u ograničenu sustavu, koji obuhvaća zupčanik, polužicu i lopatice i ništa više, temperatura postupno izjednačava, i kotač se prestaje okretati i u jednu i drugu stranu. Upravo tako će u bilo kojem sustavu koji je prepušten sam sebi proteći sveobuhvatna razmjena energije, i na kraju neće ostati energije ni za što drugo.

Recimo još da parametar koji odgovara vlažnosti, ili u našem primjeru »sposobnosti odvodnjavanja«, zovu temperatura, i premda mogu reći — ako je temperatura dva-ju tijela jednaka — da su parametri u ravnoteži, to ne znači da su im energije jednake. To samo znači da je i iz jednoga i iz drugoga tijela izvući energiju jednako lako. Temperatura je vrlo slična »sposobnosti odvodnjavanja«. Zato, ako naša dva tijela smjestimo jedno pored drugoga, ništa se izvanjskoga neće dogoditi. Oni će međusobno razmjenjivati energiju u jednakim količinama, tako da će sveukupni učinak razmjene biti jednak nuli. Zato svaki put kada je temperatura svih predmeta jednaka, ne ostaje energije ni za kakve unutarnje preinake. Načelo neobrativosti sastoji se u tome da će se u sustavu gdje postoji razlika temperatura, ako ga ostavimo na miru, postupno temperature malo po malo izjednačivati, a količina slobodne energije nezaustavljivo će se smanjivati.

Drukčije se to načelo zove načelom porasta entropije prema kojemu entropija može samo rasti. Ali bit nije u nazivima, smisao je u tome što se slobodna, uporabiva energija može samo smanjivati. I to je svojstvo osobina našega svijeta jer izlazi iz kaotičnosti gibanja molekula. Ako u sustavu prepuštenom samom sebi temperatura nije posvuda jednaka, postupno će doći do izjednačavanja temperature. Ako je tu i tamo temperatura jednaka kao, npr. temperatura vode na nezagrijanoj peći, ne smijete ni pomisliti da bi se voda mogla smrznuti sama od sebe, a peć ugrijati sama od sebe. Ali ako je peć vruća, a umjesto vode led, sve će ići samo od sebe, ali u obrnutu smjeru. Na taj način neobrativost dovodi uvijek do smanjenja zaliha slobodne energije.

To je sve što sam htio reći o toj temi. Želio bih dodati još nekoliko primjedaba. Upravo smo se upoznali s jednim očitim učinkom - neobrativošću, koji se ne izvlači iz fizikalnih zakona, nije s njima čak niti povezan neposredno. Da bismo ga objasnili, potrebna su duga i osjet-

ljiva razglabanja. A upravo taj učinak igra prvorazrednu ulogu u energetskom knjigovodstvu svemira, u svim poznatim pojavama ovoga svijeta, u svim očitim stvarima. Naše sjećanje, crte naše osobitosti, razlika između prošlosti i budućnosti, sve je to neposredno povezano s tim učinkom, a istodobno taj učinak nije izravna posljedica osnovnih zakona. Da bismo mu se približili, potrebno je dugo razmatranje.

Nije rijetko da zakoni fizike nemaju neposredne veze s našim iskustvom, već predstavljaju njegov višemanje apstraktni izraz. Kao primjer može poslužiti to da su zakoni obrativi, a pojave nisu.

Između temeljnih zakona i bitnih osobina stvarnih pojava razlika je golema. Kada, na primjer, iz daljine gledate ledenjak i vidite kako u more padaju ogromne stijene, kako se led miče, nije baš važno da vodite računa o tome da je led sastavljen od sitnih šesterokutnih kristalića leda. Ipak, ako dovoljno duboko proučimo gibanje leda, izići će da je ono u dobroj mjeri uvjetovano svojstvima kristalića leda. Ali zato, da bismo shvatili zakone gibanja ledenjaka, potrebno je mnogo vremena (a danas i nema ljudi koji bi se dobro razumjeli u svojstva leda, iako je za njihova istraživanja otpalo mnogo vremena). Ipak možemo se nadati da će temeljitije poznavanje svojstava kristalića leda pomoći pri utvrđivanju zakona gibanja ledenjaka.

Predma smo u ovim predavanjima govorili o osnovnim zakonima, moram vas odmah upozoriti da razumijevanje osnovnih zakona u obliku u kojem su nam danas poznati nije dovoljno da bismo se mogli snaći u malo složenijim pojavama. Za to je potrebno vrijeme, a i onda se u iole složenijim slučajevima snalazimo samo djelomično. Priroda je tako građena da su najvažnije činjenice u njoj daleke posljedice više ili manje slučajnih slaganja mnoštva zakona.

Jezgre, na primjer, sadržavaju nekoliko elementarnih čestica — protona i neutrona — a ipak su silno složene. Imaju ono što se naziva — energetskim nivoima, a to znači da mogu biti u raznim stanjima s različitim vrijednostima energije; ta su stanja različita u različitim jezgara. Određivanje energetskih nivoa vrlo je težak matematički

problem, i umijemo ga riješiti samo djelomično. Točan položaj stanja je posljedica nevjerojatno složenih procesa, pa nije nimalo zagonetno što u dušika, s njegovih petnaest elementarnih čestica u jezgri, jednom stanju odgovara 2,4 milijuna elektronvolta, drugom 7,1 milijun elektron-volta itd. Ali najčudnije od svega je to da svojstva čitava svemira u dobroj mjeri ovise o točnoj vrijednosti jednoga energetskeg stanja jedne atomske jezgre. Jedno energetske stanje jezgre ugljika (izotopa C^{12}) iznosi 7,82 milijuna elektronvolta. I upravo to čini naš svemir onakvim kakav jest.

Evo o čemu je riječ. Ako se počne od vodika, a čini se da je u početku sav svemir bio sastavljen od vodika, onda će zbog privlačnosti sila, s porastom temperature vodika, nastajati uvjeti za nuklearne reakcije iza kojih bi se mogao pojaviti helij. Zatim bi helij mogao djelomice ulaziti u reakciju s vodikom i davati nove teže elemente. Ti novi elementi raspast će se ponovno na helij i vodik. S time u vezi dugo se nije moglo znanstveno objasniti kako su nastali drugi elementi našega svemira. Počnemo li igru s vodikom, pretvorbeni procesi u zvijezdama ne mogu dati drugo osim vodika, helija i još pet - šest drugih elemenata. Namjerivši se na tu zagonetku, prof. Hoyle i profesor Salpeter¹⁹ vidjeli su samo jedno rješenje — da se spajanjem triju atoma helija dobije atom ugljika. Nije teško ocijeniti kako se često u zvijezdama pojavljuje prilika za to. I zamislite, izlazi da bi vjerojatnost za to bila jednaka nuli kad jezgra ugljika ne bi imala slučajno energijsku razinu od 7,82 milijuna elektronvolta. Ako takvo stanje u ugljika postoji, tri atoma helija spojena u ugljik počeo će se raspadati, ali u prosjeku malo sporije nego da toga stanja nema. A tada ima vremena za druge promjene, za stvaranje novih elemenata. Tako bismo mogli shvatiti odakle nam svi elementi periodičke tablice kada bi u ugljika bilo i energetske stanje od 7,82 milijuna elektronvolta. Eto, tako je obrnutim rasuđivanjem u ugljika predviđeno postojanje stanja od 7,82 milijuna elektronvolta. Pokušaj u laboratoriju potvrdio je da je upravo tako. Zato je postojanje svih drugih elemenata u našem svijetu usko povezano s činjenicom da ugljik ima stanje upravo te određene

¹⁹ Fred Hoyle, britanski astrofizičar iz Cambridgea Edwin Salpeter, američki fizičar s Cornell

energije. A točna vrijednost te energije ugljika čini se nama, koji znamo zakone fizike, kao slučajna posljedica vrlo složena međudjelovanja dvanaest okupljenih čestica. Zato primjer ugljika divno ilustrira činjenicu da vam poznavanje osnovnih zakona još ne jamči razumijevanje najvažnijih pojava u našem svijetu. Potankosti prave stvarnosti često su vrlo daleko od osnovnih zakona. O pojavama u našem svijetu možemo raspravljati na nekoliko raznih razina postavljajući određenu hijerarhiju pojmova i predodžaba. Taj je način - analiza. Ne kanim točno određivati pojedine od tih razina, no pokušat ću na primjeru objasniti na što sam mislio govoreći o hijerarhiji pojmova i predodžaba.

Na jednom smo kraju naše hijerarhijske ljestvice postavili osnovne zakone. Zatim izmišljamo nove nazive za neke bliske pojmove za koje nam se čini da se mogu objasniti osnovnim zakonima. Na primjer, pojam »toplina«. Toplina je, kako se pretpostavlja, kaotično gibanje atoma, i kada nešto nazovemo vrućim, time smo zapravo htjeli reći da postoji neka količina atoma u stanju vrlo intenzivna kaotičnog gibanja. Ali govoreći o toplinskim svojstvima, možemo zaboraviti na kaotično gibanje molekula - baš kao što, dok govorimo o ledenjacima, ne moramo pomišljati na šesterokutne kristaliće leda i pahuljice koje su nekoć padale. Drugi je takav primjer kristal soli. Ako gledamo do temelja, onda je to sustav golema broja protona, neutrona i elektrona. Ali mi ćemo izići na kraj samo s pojmom »kristal soli« koji u sebi nosi cijeli skup osnovnih međudjelovanja. Istom tom krugu pojmova pripada i tlak.

Uspnimo se sada na našoj ljestvici jedan korak, pa ćemo naići na pojmove kao što je »koeficijent loma« koji određuje koliko će se otkloniti zraka svjetla na prolazu kroz tvar, ili »površinska napetost« koja objašnjava zašto voda nastoji ostati na okupu; tu se i jedno i drugo opisuje određenim brojevima. Napomenimo da bi se spuštanjem za koji stupanj i prolazeći kroz niz sve jednostavnijih zakona sve to dalo svesti na međusobno djelovanje atoma. Svejedno, mi slobodno govorimo o »površinskoj napetosti« ne zanimajući se za njezin unutarnji mehanizam.

Nastavimo se penjati po hijerarhijskoj ljestvici. Od vode možemo prijeći na valove, a odatle i na pojam »oluja«, gdje nam riječ »oluja« obuhvaća nevjerojatan broj različitih pojava. U taj razred spadaju i drugi skupni pojmovi, kao »Sunčeva pjega« ili »zvijezda«. I vrlo često nema nikakva smisla udubiti se do ishodnih mehanizama svih obuhvaćenih pojava. Uistinu, to je i nemoguće, jer što se više penjemo po ljestvici, sve više nas koraka dijeli od osnovnih zakona, a svaka je prečka nepouzdana. Nismo još sve dobro promislili od sama početka niti do sama kraja.

Penjući se dalje prema sve složenijem, doći ćemo do takvih stvari kao što su »stezanje mišića« ih' »živčani impulsi« — nevjerojatno složene pojave fizičkog svijeta povezane s izuzetno složenim uređenjem tvari. Zatim dolazimo i do takvih pojmova kao što je »žaba«.

Sve dalje i dalje, i pred nama je »čovjek«, »povijest«, »politički ciljevi« i drugi pojmovi koje koristimo da bismo se snašli u događajima na još višoj razini.

Zatim dolazi red na takve stvari kao što su »zlo«, »ljepota«, »nada« ...

Koji je kraj te ljestvice »bliže bogu«, ako mi dopuštate religioznu metaforu? Ljepota i nada, ili osnovni zakoni? Meni se, naravno, čini najvažnijim shvaćanje unutarnjeg strukturnog jedinstva svijeta; sve znanosti, i ne samo znanosti, svi umni naponi usmjereni su na razumijevanje međusobne povezanosti pojava koje stoje na raznim stupnjevima naše hijerarhijske ljestvice, na to da nađemo vezu između ljepote i povijesti, povijesti i psihologije čovjeka, psihologije i mehanizma mozga, mozga i živčanih impulsa, živčanih impulsa i kemije i dalje prema vrhu i prema dnu. Danas još ne možemo (zar ima smisla pretvarati se da nije tako?) povući neprekidnu crtu od kraja do kraja, jer tek od jučer svjesni smo da ta hijerarhija uopće postoji.

Držati se jednoga kraja i smatrati ga jedinim osloncem u nadi da će se doći do potpune spoznaje, pogrešno je. Ni shvaćanje prirode zla, dobra i nade, ni razumijevanje osnovnih zakona, svako za sebe neće omogućiti duboko poznavanje svijeta. Zato je nerazborito kada oni koji proučavaju svijet na jednom kraju hijerarhijske ljestvice zaziru od onih koji to isto rade na

drugom kraju. (U stvari toga i nema, ljudi samo vjeruju da je tako). Između ta dva kraja postoji cijela vojska istraživača koja, polazeći od krajeva i od sredine, povezuje jednu kariku s drugom obogaćujući tako malo pomalo naše spoznaje o hijerarhiji odnosa u ovome svijetu.