

Karlo Roveli

POREDAK VREMENA

Preveo
Goran Skrobonja

 Laguna 

Naslov originala

Karlo Roveli

L'ORDINE DEL TEMPO

Copyright © 2017 Adelphi Edizioni S.P.A. Milano

Copyright © 2019 ovog izdanja, LAGUNA



Kupovinom knjige sa FSC oznakom pomažete razvoj projekta odgovornog korišćenja šumskih resursa širom sveta.

NC-COC-016937, NC-CW-016937, FSC-C007782

© 1996 Forest Stewardship Council A.C.

Za Ernesta, Biloa i Edoarda

Sadržaj

Možda je vreme misterija najveća od svih 9

PRVI DEO: VREME SE KRUNI 15

1. Gubitak jedinstva 17

2. Gubitak smera 25

3. Kraj sadašnjosti 41

4. Gubitak nezavisnosti 57

5. Kvanti vremena 77

DRUGI DEO: SVET BEZ VREMENA 87

6. Svet ne čine stvari, već događaji 89

7. Nedovoljnost gramatike 97

8. Dinamika kao relacija 107

TREĆI DEO: IZVORI VREMENA 117

9. Vreme je neznanje 119

10. Perspektiva 129

11. Šta se pojavljuje iz partikularnosti 141

12. Miris madlene 151

13. Izvori vremena 169

Sestra sna 179

Podaci o slikama 187

Napomene 189

Stihovi pre svakog poglavlja, osim ako nije drugačije naznačeno, potiču iz Horacijevih *Oda* koje je preveo Đulio Galeto i koje su objavljene u šarmantnoj knjižici s naslovom *In questo breve cerchio* (Verona: Edizioni del Paniere, 1980); prevod na engleski delo je Erika Segrea i Sajmona Karnela. Prevod na srpski: G. Skrobonja

Možda je vreme misterija najveća od svih

Čak i reči
koje govorimo sada
odneo je kradljivac vreme,
i ništa se vratiti ne može. (I, 11)

Stanem i ne radim ništa. Ništa se ne dešava. Ni o čemu ne razmišljam. Osluškujem kako prolazi vreme.

To je vreme, poznato i intimno. Ono nas nosi. Bujica sekundi, sati, godina koja nas baca prema životu da bi nas onda odvukla prema ništavilu... Mi nastanjujemo vreme onako kako riba živi u vodi. Naše bivstvo je bivstvo u vremenu. Njegova svečana muzika nas hrani, otvara svet za nas, muči nas, plaši i uljuljuje. Vaseljena se širi u budućnost vučena vremenom, i postoji u skladu s poretком vremena.

U hinduističkoj mitologiji reka kosmosa prikazana je svetom slikom Šive u plesu: njegov ples podržava tok

vaseljene; on je sam po sebi protok vremena. Šta bi moglo biti univerzalnije i očiglednije od tog *toka*?

A opet, stvari su donekle komplikovanije od toga. Stvarnost je često sasvim drugačija od onoga što se čini. Zemlja izgleda ravna, ali je zapravo sferna. Čini se da se Sunce kreće na nebu, iako se, u stvari, mi okrećemo oko njega. Ni struktura vremena nije kao što izgleda: ona se razlikuje od tog jednoobraznog, univerzalnog toka. Otkrio sam to, na sopstveno krajnje zaprepašćenje, u knjigama o fizici koje sam čitao kao student univerziteta: vreme funkcioniše drugačije nego što se čini.

U istim tim knjigama otkrio sam i da mi i dalje ne znamo kako vreme zapravo funkcioniše. Priroda vremena je možda najveća preostala misterija. Neobične niti povezuju ga s onim drugim velikim otvorenim misterijama: s prirodom uma, poreklom vasseljene, sudbinom crnih rupa, samim funkcionisanjem života na Zemlji. Nešto suštastveno nastavlja da nas vuče natrag prirodi vremena.

Čuđenje je izvor naše žudnje za znanjem,¹ a otkriće da vreme nije ono što smo mislili da jeste otvara hiljadu pitanja. Priroda vremena je bila u središtu mog životnog dela u teorijskoj fizici. Na sledećim stranicama izlažem ono što smo razumeli o vremenu i putevima kojim idemo u potrazi za načinom da ga bolje razumemo, kao i to šta tek treba da shvatimo i šta smo, koliko mi se čini, tek počeli da naziremo.

Zašto pamtimo prošlost, a ne budućnost? Da li postojimo u vremenu, ili vreme postoji u nama? Šta zaista znači

kada kažemo da vreme „prolazi“? Šta povezuje vreme s našom prirodom kao osoba, sa našom subjektivnošću?

Šta to osluškujem dok osluškujem kako prolazi vreme?

Ova knjiga je podeljena u tri nejednaka dela. U prvom sumiram ono što je moderna fizika razumela o vremenu. To je kao da držite pahulju snega u rukama: postepeno, dok je proučavate, ona vam se topi među prstima i nestaje. Zgodno nam je da mislimo o vremenu kao o nečemu jednostavnom i fundamentalnom, što teče jednoobrazno, nezavisno od svega ostalog, iz prošlosti u budućnost, mereno časovnicima i satovima. Tokom vremena događaji vasedlene slede jedni za drugim na uređen način: kao prošlosti, sadašnjosti, budućnosti. Prošlost je fiksirana, budućnost otvorena... A opet, ispostavilo se da je sve to pogrešno.

Ispostavilo se da su karakteristična svojstva vremena, jedno za drugim, tek aproksimacije, greške određene našom perspektivom, baš poput toga da je Zemlja ravna, ili da se Sunce okreće oko nje. Rast našeg znanja doveo je do sporog dezintegriranja našeg pojma o vremenu. Ono što nazivamo „vremenom“ kompleksni je skup struktura,² slojeva. Pod sve pomnijom proverom, u sve većim dubinama, vreme je gubilo slojeve jedan za drugim, parče po parče. Prvi deo ove knjige pripoveda nam o tome kako se vreme kruni.

Drugi deo opisuje ono što nam je ostalo: prazan, vetrovit pejzaž gotovo lišen svakog traga temporalnosti. Čudan, strani svet koji je svejedno i dalje onaj kojem pripadamo.

To je kao da smo stigli u visoke planine, gde nema ničeg osim snega, stenja i neba. Ili kako su se sigurno Armstrong i Oldrin osećali kada su se zaputili preko nepomičnog peska Meseca. Svet lišen sopstvene biti, da svetluca jalovom i zabrinjavajućom lepotom. Fizika na kojoj ja radim – kvantna gravitacija – pokušaj je da se taj ekstremni i divan pejzaž shvati i podari mu se koherentan smisao. Da se spozna svet bez vremena.

Treći deo knjige je najteži, ali ujedno i ključan, onaj koji nas se najviše tiče. U svetu bez vremena mora i dalje postojati nešto što dovodi do vremena na koje smo navikli, s njegovim poretком, s prošlošću koja se razlikuje od budućnosti, s glatkim tokom. Nekako, naše vreme mora da se pojavi oko nas, makar *za* nas i na našoj skali.³

Ovo je povratno putovanje natrag prema vremenu izgubljenom u prvom delu knjige kada smo pratili elementarnu gramatiku sveta. Kao u kriminalističkom romanu, sada tragamo za krivcem: za vinovnikom koji je stvorio vreme. Jedan po jedan otkrivamo sastavne delove vremena koje nam je poznato – ne, sada, u vidu elementarnih struktura stvarnosti, već pre kao korisne aproksimacije za nespretna i brljiva smrtna stvorenja kakva jesmo: u vidovima naše perspektive i onim vidovima, možda, koji su odlučujući u određivanju onoga što smo. Jer misterija vremena je konačno, možda, misterija nas samih pre nego kosmosa. Možda će se ispostaviti, kao u prvom i najvećem od svih detektivskih romana, Sofokleovom *Kralju Edipu*, da je vinovnik upravo detektiv.

Ovde se knjiga pretvara u plamenu magmu ideja, povremeno prosvetljavajućih, povremeno zbunjujućih. Ako odlučite da me pratite, odvešću vas do mesta koje je, uveren sam, doseglo naše znanje o vremenu: do samog ruba ogromnog noćnog i zvezdama načičkanog okeana svega što i dalje ne znamo.

PRVI DEO

Vreme se kruni

1.

Gubitak jedinstva

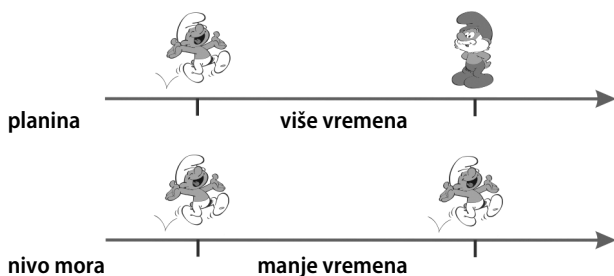
Devojke tako mile
u prepletu igara ljubavi
obasjane mesecom
u ove vedre noći. (I, 4)

Usporavanje vremena

Započnimo jednostavnom činjenicom: vreme prolazi brže u planinama nego na nivou mora.

Razlika je mala, ali može se izmeriti preciznim časovnicima koji se danas mogu kupiti na internetu za nekoliko hiljada funti. Uz malo prakse, svako može primetiti usporavanje vremena. Časovnicima iz specijalizovanih laboratorija to usporavanje vremena može se uočiti između nivoa međusobno udaljenih samo nekoliko centimetara: časovnik postavljen na pod radi malo sporije nego onaj na stolu.

Ne usporavaju samo časovnici: niže su svi procesi sporiji. Dva prijatelja se rastanu, s tim da jedan od njih živi u ravnici, dok drugi odlazi da se nastani u planinama. Sastaju se posle više godina: onaj koji je ostao dole, živeo je manje, ostario je manje, mehanizam njegovog sata s kuglicom oscilovao je manje puta. Imao je manje vremena na raspolaganju, biljke su mu manje izrasle, njegove misli imale su manje vremena da se razviju... Niže naprosto ima manje vremena nego na visini.



Da li ovo iznenađuje? Možda. Ali tako svet funkcioniše. Vreme sporije prolazi na nekim mestima, brže na drugim.

Iznenađuje, možda, što je neko razumeo usporavanje vremena čitav vek pre nego što smo imali dovoljno precizne časovnike da to izmerimo. Njegovo ime je, naravno, Albert Ajnštajn.

Sposobnost da razumemo nešto pre nego što to opazimo nalazi se u srcu naučnog mišljenja. U antičko doba Anaksimandar je shvatao da se nebo proteže ispod naših nogu mnogo pre nego što su brodovi obišli oko Zemlje.

Na početku modernog doba Kopernik je shvatio da se Zemlja okreće mnogo pre nego što su astronauti s Meseca videli kako ona to radi. Na sličan način, Ajnštajn je shvatio da vreme ne prolazi svugde jednoobrazno *pre* razvoja časovnika dovoljno preciznih da izmere različitu brzinu kojom ono prolazi.

Dok preduzimamo takve korake, učimo da su stvari koje su nam izgledale očigledne zapravo najobičnije predrasude. Činilo nam se očiglednim da je nebo iznad nas, a ne ispod; da nije tako, Zemlja bi pala. Činilo nam se očiglednim da se Zemlja ne pomera; inače bi se sve na njoj srušilo. To da vreme svuda prolazi podjednako brzinom izgledalo nam je podjednako *očigledno*... Deca odrastaju i otkrivaju da svet nije onakav kakav izgleda iz prostora unutar četiri zida njihovih domova. Čovečanstvo kao celina čini to isto.

Ajnštajn je sebi postavio pitanje koje je možda zbunjivalo mnoge među nama kada je proučavao silu gravitacije: kako Sunce i Zemlja mogu da „privlače“ jedno drugo bez dodirivanja i bez primene ičega između njih?

On je tragao za uverljivim objašnjenjem i pronašao ga je zamislivši da se Sunce i Zemlja ne privlače neposredno, već i jedno i drugo postepeno deluju na ono što se nalazi između njih. A pošto se između njih nalaze samo prostor i vreme, on je zamislio da i Sunce i Zemlja modifikuju prostor i vreme oko sebe, baš kao što telo uronjeno u vodu izmešta vodu oko sebe. Ta modifikacija strukture vremena

opet utiče na kretanje tela dovodeći do toga da ona „padaju“ jedno prema drugom.¹

Šta znači ta „modifikacija strukture vremena“? Znači upravo goreopisano usporavanje vremena: masa usporava vreme oko sebe. Zemlja je velika masa i usporava vreme u svojoj blizini. Više to čini u ravnicama, a manje u planinama zato što su joj ravnice bliže. Zbog toga prijatelj koji ostane na nivou mora sporije stari.

Ako stvari padnu, to je usled tog usporavanja vremena. Tamo gde vreme prolazi jednoobrazno, u međuplanetarnom prostoru, stvari ne padaju. One lebde bez padanja. S druge strane, ovde, na površini naše planete, kretanje stvari prirodno se usmerava tamo gde vreme prolazi sporije, kao kada potrčimo niz plažu u more i otpor vode na našim nogama natera nas da padnemo naglavačke u talase. Stvari padaju nadole zato što tamo dole Zemlja usporava vreme.²

Stoga, čak i ako ne možemo to zaista da primetimo, usporavanje vremena svejedno ima ključne efekte: stvari padaju zbog njega, i to omogućava da nam stopala budu čvrsto na tlu. Ako nam stopala prijanjaju uz pločnik, to je zato što nam je čitavo telo prirodno okrenuto tamo gde vreme sporije prolazi – a vreme prolazi sporije za vašu stopala nego za vašu glavu.

Da li to izgleda čudno? Kao kada se, dok posmatramo kako sunce veličanstveno zalazi u suton, nestaje polako iza dalekih oblaka, iznenada setimo da se to ne kreće Sunce, već se okreće Zemlja, a mi otkaćenim okom uma

sagledavamo čitavu našu planetu – i sebe s njom – u rotaciji unazad, dalje od Sunca. Vidimo to „ludim“ očima, kao Luda na brdu Pola Makartnija*: to je ekscentrično sagledavanje koje ponekad dobacuje dalje od našeg krmeljivog, uobičajenog očinjeg vida.

Deset hiljada razigranih Šiva

Gajim trajnu strast prema delu Anaksimandra, grčkog filozofa koji je živeo pre dvadeset šest vekova i shvatao da Zemlja lebdi u svemiru ne oslanjajući se ni na šta.³ Za Anaksimandrove misli znamo zahvaljujući drugim piscima. Sačuvan je samo jedan mali originalni fragment njegovih spisa – samo jedan:

Stvari se preobražavaju jedne u druge po nužnosti,
a pravdu iskazuju jedna drugoj po poretku vremena.

„Po poretku vremena“ (κατὰ τὴν τοῦ κρόνου τάξιν). Od jednog od ključnih, inicijalnih momenata u prirodnim naukama preostale su samo te nejasne, tajanstveno rezonantne reči, to pozivanje na „poredak vremena“.

Astronomija i fizika razvile su se sledeći taj putokaz koji nam je dao Anaksimandar: poimanjem toga kako se pojave događaju *po poretku vremena*. U antičko doba

* „The Fool on the Hill“ – pesma Bitlsa sa albuma *Magical Mystery Tour* iz 1967. (Prim. prev.)

astronomija je opisivala kretanje zvezda *vremenom*. Fizičke jednačine opisuju način na koji se stvari menjaju *vremenom*. Od Njutnovih jednačina, koje uspostavljaju temelje mehanike, do Maksvelovih za elektromagnetne fenomene; od Šredingerove jednačine koja opisuje kako evoluiraju kvantne pojave, do onih iz teorije kvantnog polja za dinamiku subatomske čestice: čitava naša fizika, i nauka generalno, bave se time kako se stvari razvijaju „po poretku vremena“.

Odavno je uspostavljena konvencija da se to vreme u jednačinama obeležava slovom t (reč za vreme počinje na t u italijanskom, francuskom i španskom, ali ne i u nemačkom, arapskom, ruskom ili mandarinskom jeziku). Šta to t označava? Ono označava broj koji izmeri sat. Jednačine nam govore kako se stvari menjaju dok prolazi vreme mereno časovnikom.

Ali ako različiti časovnici obeležavaju različito vreme, kao što smo gore videli, na šta t ukazuje? Kad se dva prijatelja ponovo sretnu pošto je jedan živio u planinama a drugi na nultoj nadmorskoj visini, časovnici na njihovim rukama pokazivaće različita vremena. Koje je od ta dva t ? U laboratoriji za fiziku časovnik na stolu i još jedan na podu rade različitom brzinom. Koji od ta dva pokazuje vreme? Kako da opišemo razliku između njih? Treba li da kažemo da je časovnik na podu usporio u odnosu na stvarno vreme zabeleženo na stolu? Ili da časovnik na stolu radi brže od stvarnog vremena koje je izmereno na podu?

To pitanje je besmisleno. Mogli bismo isto tako da pitamo šta je *najstvarnije* – vrednost funte u dolarima ili dolara u funtama. Ne postoji „istinitija“ vrednost; to su dve valute koje imaju vrednost *jedna u odnosu na drugu*. Ne postoji tačnije vreme. Postoje dva vremena koja se menjaju *relativno jedno prema drugom*. Niti jedno nije tačnije od drugog.

Ali ne postoje samo *dva* vremena. Vremena ima na kamare: za svaku tačku u svemiru postoji drugo. Nema jednog jedinog vremena; njih je ogromno mnoštvo.

Vreme koje pokazuje pojedini časovnik koji meri neki konkretan fenomen naziva se u fizici „sopstveno vreme“. Svaki časovnik ima sopstveno vreme. Svaki fenomen koji se dogodi ima sopstveno vreme, sopstveni ritam.

Ajnštajn nam je dao jednačine koje opisuju kako se sopstvena vremena razvijaju *u relativnom odnosu jedno prema drugom*. Pokazao nam je kako da izračunamo razliku između dva vremena.⁴

Jedan kvantitet „vremena“ topi se u paukovu mrežu vremena. Ne opisujemo kako svet evoluiru u vremenu: opisujemo kako stvari evoluiraju u lokalnom vremenu, i kako lokalna vremena evoluiraju *u relativnom odnosu jedno prema drugom*. Svet nije kao četa koja stupa korakom jednog komandira. On je mreža događaja koji utiču jedni na druge.

Tako je vreme opisano u Ajnštajnovoj opštoj teoriji relativnosti. Njegove jednačine nemaju jedno „vreme“; one imaju bezbroj vremena. Između dva događaja, baš

kao između dva časovnika koji su razdvojeni i potom ponovo spojeni, trajanje nije jedno.⁵ Fizika ne opisuje kako stvari evoluiraju „u vremenu“, već kako stvari evoluiraju u sopstvenom vremenu, i kako „vremena“ evoluiraju u relativnom odnosu jedna prema drugim.*

Vreme je izgubilo svoj prvi aspekt sloja: svoje jedinstvo. Ono ima različiti ritam na svakom drugom mestu i ovde prolazi drugačije nego tamo. Stvari u ovom svetu prepliću se u plesovima s različitim ritmovima. Ako svet pridržava razigrani Šiva, mora da postoji deset hiljada tako razigranih Šiva, poput figura u plesu koje je naslikao Matis...

* Gramatička napomena. Reč „vreme“ ima nekoliko međupovezanih, ali odvojenih značenja: 1. „Vreme“ je opšta pojava sleda događaja („...i vreme će se / Nečujnom svojom stopom bešumnom / Prikrasti...“); 2. „Vreme“ ukazuje na interval u tom sledu („Sutra, pa sutra, pa i opet sutra, / S dana na dan se puzi ovim sitnim, / Korakom prema slovu poslednjem / pisanja našeg“); ili 3. njegov trajanje („O vitezi, vreme života je kratko“); 4. „Vreme“ može ukazivati i na konkretan momenat („Da će i moju ljubav vreme strti“), često upravo sadašnji („Iz svojega se iščasila zgloba / vremena ova“); 5. „Vreme“ ukazuje na promenljivu koja meri trajanje („Ubrzanje je derivat brzine u odnosu na vreme“). U ovoj knjizi svako od ovih značenja koristim slobodno, baš kao i u svakodnevnoj upotrebi. U slučaju eventualne zbrke, molim da se vratite na ovu fusnotu. Napomena prevodioca: Za ovde navedene citate iz Šekspirovih komada *Sve je dobro što se dobro svrši*, *Magbet*, *Henri IV* i *Hamlet* korišćeni su prevodi iz izdanja *Vilijem Šekspir: Sabrana dela*, Zavod za udžbenike i Dosije Studio, Beograd 2011.

2.

Gubitak smera

I da nežnije od Orfeja
koji je i drveće pomerao
zasviraš na liri,
životna se krv vratila ne bi
u taštu sen...
Sudba teška,
ali teret joj je lakši,
jer ništa se vratiti ne može. (I, 24)

Odakle dolazi bujica večna?

Časovnici mogu raditi različitim brzinama u planinama i ravnicama, ali tiče li nas se to zaista, na kraju krajeva, kad je vreme posredi? U reci voda teče sporije blizu obala, brže po sredini – ali i dalje teče... Nije li vreme takođe nešto što stalno teče – iz prošlosti u budućnost? Ostavimo po strani precizno merenje toga *koliko* vremena prolazi, s kojim smo se uhvatili ukoštac u prethodnom poglavlju: *brojeve* kojima se vreme meri. Postoji drugi, suštastveniji aspekt

vremena: njegov prolazak, njegov tok, *bujica večna* iz prve od Rilkeovih *Devinskih elegija*:

Bujica večna u oba područja
sve uzrasta zahvata sobom neprestano,
i sve zaglušuje u oba.¹ *

Prošlost i budućnost se međusobno razlikuju. Uzrok pret-hodi posledici. Bol dolazi posle rane, ne pre nje. Staklo se lomi u hiljadu komadića, a komadići se ne spajaju u staklo. Ne možemo promeniti prošlost; možemo se kajati, žaliti, pamtit. Budućnost je umesto toga nesigurnost, čežnja, nespokoj, otvoreni prostor, sudbina, možda. Možemo ži-veti prema njoj, oblikovati je, pošto još ne postoji. Sve je i dalje moguće... Vreme nije linija s dva podjednaka smeru: ono je strela s različitim ekstremima.



prošlost



budućnost

I upravo to, a ne brzina kojom ono prolazi, nama je naj-važnije kad je vreme posredi. To je ono fundamentalno u vezi s vremenom. Tajna vremena leži u tom klizanju koje osećamo u svom bilu, visceralno, u enigmati pamće-nja, u nespokoj zbog budućnosti. To znači razmišljati o vremenu. Kakav je tačno taj *tok*? Gde je on usađen u

* Prevod: Branimir Živojinović. (Prim. prev.)

gramatici sveta? Šta odlikuje prošlost, to što je nekad bila, od budućnosti, koja još nije bila, u skrivenim mehanizmima sveta? Zašto je za nas prošlost toliko drugačija od budućnosti? Fizika devetnaestog i dvadesetog veka bavila se tim pitanjima i nailazila je na nešto neočekivano i zabrinjavajuće – mnogo više od relativno marginalne činjenice da vreme prolazi različitom brzinom na različitim mestima. Razlika između prošlosti i budućnosti, između uzroka i posledice, između pamćenja i nadanja, između kajanja i namere... u elementarnim zakonima koji opisuju mehaniku sveta, takva razlika ne postoji.

Toplota

Sve je počelo kraljeubistvom. Dana 16. januara 1793. narodna skupština je u Parizu osudila Luja XVI na smrt. Pobuna je možda među najdubljim korenovima nauke: odbijanje da se prihvati postojeći poredak stvari.² Među onima koji su doneli tu smrtonosnu odluku bio je i Robespjerov prijatelj po imenu Lazar Karno. Karno je strasno voleo poeziju velikog persijskog pesnika Sadija Širazija. Širazi, koga su krstaši zarobili i zasužnjili kod Akre, autor je onih sjajnih stihova koji se sada nalaze na ulazu u sedište Ujedinjenih nacija:

Sinovi Adamovi organizam su jedan
stvoreni od jedne suštine.
Kada nevolja zadesi jedan organ

i drugi organi osete.
Ne saosećaš li sa nevoljom drugih,
ne vredi te zvati čovekom.

Možda je poezija još jedan od najdubljih korenova nauke: sposobnost da se vidi i ono nevidljivo. Karno je svom prvom sinu nadenuo ime po Sadiju. Tako je Sadi Karno rođen iz poezije i pobune.

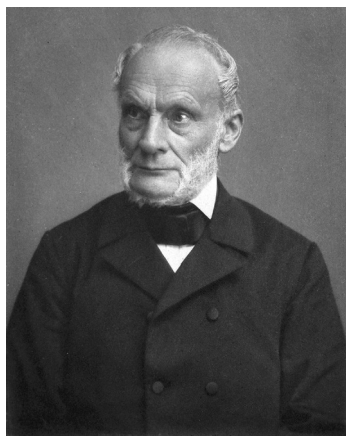
U mladosti strasno se zanimao za parne mašine, koje su početkom devetnaestog veka počele da preobražavaju svet koristeći vatru da bi pokretale stvari. Godine 1824. on piše pamflet s primamljivim naslovom „Promišljanja o pokretačkoj snazi vatre“, u kojem teži da razume teorijsku osnovu funkcionisanja tih mašina. Taj mali traktat pun je pogrešnih pretpostavki: on zamišlja toplotu kao konkretan entitet – neku vrstu fluida koji proizvodi energiju tako što „pada“ s vrelih stvari na hladne, baš kao što voda u vodonosniku proizvodi energiju padajući odozgo naniže. Ali on sadrži jednu ključnu ideju: da parne mašine funkcionišu, u krajnjoj analizi, zato što toplota prelazi iz vrelog u hladno.

Sadijev pamflet dospeva u ruke strogog pruskog profesora žestokih očiju po imenu Rudolf Klauzijus. On je taj koji će spoznati to fundamentalno pitanje formulišući zakon kojem je bilo suđeno da postane čuven: ako se ništa oko nje ne promeni, toplota *ne može* da pređe iz hladnog tela u vrelo.

Ovde je ključna stvar razlika između onoga što se dešava s telima u padu: lopta može da padne, ali isto tako

može i da se vrati uvis, ako odskoči, na primer. Toplota ne može.

To je *jedini* osnovni zakon fizike koji razdvaja prošlost od budućnosti. Nijedan drugi to ne čini. Ni Njutnovi zakoni koji vladaju mehanikom sveta; ni jednačine elektriciteta i magnetizma koje je formu-



lisao Maksvel. Ni Ajnštajnovе jednačine o relativističkoj gravitaciji, ni one kvantnomehaničke koje su smislili Hajzenberg, Šredinger i Dirak. Ni one o elementarnim česticama koje su formulisali fizičari dvadesetog veka... *Nijedna* od tih jednačina ne razdvaja prošlost od budućnosti.³ Ako te jednačine dopuštaju sled događaja, isto važi i za isti sled koji se odvija unazad kroz vreme.⁴ U elementarnim jednačinama sveta⁵ strela vremena pojavljuje se *samo* tamo gde ima toplote.* Veza između vremena i toplote stoga je fundamentalna: kad god se manifestuje razlika između prošlosti i budućnosti, u to je uključena toplota. U svakom sledu događaja koji postaje apsurdan ako se projektuje unazad, postoji nešto što se zagreva.

* Strogo govoreći, strela vremena može se manifestovati i u fenomenima koji nisu direktno povezani s toplotom, ali s njom dele ključne aspekte, na primer, u korišćenju zaostalih potencijala u termodinamici. Ono što sledi primenjivo je i na te fenomene – posebno zaključci. Ovde radije ne bih opterećivao raspravu njenim razlaganjem na sve različite sastavne slučajeve.

Ako gledam film s loptom koja se kotrlja, ne mogu da razlučim je li on pušten kako treba, ili unazad. Ali ako se lopta zaustavi, znam da je film pušten kako treba; da je pušten unazad, prikazao bi neverovatan događaj: loptu koja počinje da se kreće sama od sebe. Usporavanje i zaustavljanje lopte događa se usled trenja, a trenje proizvodi toplotu. Samo tamo gde ima toplote može se razlikovati prošlost od budućnosti. Misli se, na primer, odvijaju iz prošlosti u budućnost, ne obrnuto – i, u stvari, razmišljanje proizvodi toplotu u našim glavama...

Klauzijus uvodi kvantitet koji meri taj nepovratni napredak toplote samo u jednom smeru i, pošto je odgajan kao Nemač, daje mu naziv preuzet iz starogrčkog jezika, *entropija*:

Radije uzimam nazive za važne naučne kvantitete iz antičkih jezika, tako da oni mogu da budu isti u svim živim jezicima. Stoga predlažem da entropijom nazovemo kvantitet (*S*) tela, po grčkoj reči za preobražaj: ἔντροπῆ.⁶

Klauzijeva entropija, označena slovom *S*, merljiv je i izračunljiv⁷ kvantitet koji raste ili ostaje isti, ali se *nikad ne smanjuje*, u izolovanom procesu. Da bismo pokazali da se on nikad ne smanjuje, pišemo:

$$\Delta S \geq 0.$$

Ovo se čita kao: „Delta *S* je uvek veće ili jednako nuli“, i to nazivamo „drugim principom termodinamike“ (prvi je

princip očuvanja energije). Njegova bit je činjenica da toplota prelazi samo iz toplih tela na hladna, nikada obrnuto.

Oprostite mi zbog jednačine – ona je jedina u ovoj knjizi. To je jednačina za strelu vremena, i teško da sam mogao da se uzdržim od toga da je u nekom trenutku uvrstim u knjigu.

390

so erhält man die Gleichung:

$$(64) \int \frac{dQ}{T} = S - S_0,$$

welche, nur etwas anders geordnet, dieselbe ist, wie die unter (60) angeführte zur Bestimmung von S dienende Gleichung.

Sucht man für S einen bezeichnenden Namen, so könnte man, ähnlich wie von der GröÙe U gesagt ist, sie sey der *Wärme- und Werkinhalt* des Körpers, von der GröÙe S sagen, sie sey der *Verwandlungsinhalt* des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger GröÙen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die GröÙe S nach dem griechischen Worte $\eta \rho \omega \pi \eta$, die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden GröÙen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäÙig zu seyn scheint.

Fassen wir, bevor wir weiter gehen, der Ubersichtlichkeit wegen noch einmal die verschiedenen im Verlaufe der Abhandlung besprochenen GröÙen zusammen, welche durch die mechanische Wärmetheorie entweder neu eingeführt sind, oder doch eine veränderte Bedeutung erhalten haben, und welche sich alle darin gleich verhalten, daß sie durch den augenblicklich stattfindenden Zustand des Körpers bestimmt sind, ohne daß man die Art, wie der Körper in denselben gelangt ist, zu kennen braucht, so sind es folgende sechs: 1) der *Wärmeinhalte*, 2) der *Werkinhalte*, 3) die Summe der beiden vorigen, also der *Wärme- und Werkinhalte* oder die *Energie*; 4) der *Verwandlungswert* des *Wärmeinhalt*es, 5) die *Disgregation*, welche als der Verwandlungswert der stattfindenden Anordnung der Bestandtheile zu

Ovo je stranica iz Klauzijusovog rada u kojem je prvi put uveo koncept i reč „entropija“. Jednačina pruža matematičku definiciju varijacije entropije ($S-S_0$) nekog tela: suma (integral) kvantiteta toplote dQ napušta telo pri temperaturi T .

Ovo je jedina jednačina fundamentalne fizike koja poznaje bilo kakvu razliku između prošlosti i budućnosti. Jedina koja govori o protoku vremena. Iza ove neobične jednačine krije se čitav jedan svet.

Njegovo otkrivanje biće prepušteno zlosrećnom i prijaznom Austrijancu, unuku jednog časovničara, tragičnoj i romantičnoj figuri, Ludvigu Bolcmanu.

Zamućenje

Bolcman je taj koji je počeo da uviđa šta se krije iza jednačine $\Delta S \geq 0$, i nagoni nas na jedan od najvrtoglavijih skokova naglavce prema poimanju intimne gramatike našeg sveta.

Bolcman je radio u Gracu, Hajdelbergu, Berlinu, Beču, i potom ponovo u Gracu. Voleo je da pripisuje svoj ne-



mir činjenici da je rođen na pokladni utorak. Samo se delimično šalio, pošto je nestabilnost njegovog karaktera bila sasvim stvarna, u oscilacijama između ushićenja i depresije. Bio je nizak i stamen, tamne, ukovrdžane kose i talibanske brade; devojka mu je tepala „dragi moj

bucó“. I upravo je on, taj Ludvig, bio nesrećni junak usmerenosti vremena.

Sadi Karno je mislio da je toplota supstanca, fluid. Grešio je u tome. Toplota je mikroskopska uznemirenost molekula. Vreo čaj je čaj u kojem su molekuli veoma uznemireni. Hladan čaj je čaj u kojem su molekuli tek malčice uznemireni. U kocki leda molekuli, koji se zagrevaju i tope, sve su uznemireniji i gube svoje stroge veze.

Krajem devetnaestog veka bilo je još mnogo onih koji nisu verovali u postojanje molekula i atoma: Ludvig je bio ubeđen u to da su oni stvarni i upustio se u sukob zalažući se za svoje uverenje. Njegovi oštri napadi na one koji su sumnjali u postojanje atoma postali su legendarni. „Cela naša generacija je u svom srcu bila na njegovoj strani“, napomenuo je jedan od mladih lavova kvantne mehanike mnogo godina kasnije.⁸ U jednoj od tih vatrenih polemika, na jednoj konferenciji u Beču, poznati fizičar⁹ mu se suprotstavio tvrdnjom da je naučni materijalizam mrtav zato što zakoni materije ne podležu usmerenosti vremena. Ni fizičari nisu imuni na to da govore besmislice.

Dok je Kopernik gledao kako sunce zalazi, njegove oči su videle kako se svet okreće. Dok je Bolcman gledao u čašu mirne vode, njegove oči su videle kako se atomi i molekuli mahnito *kreću*.

Mi vodu u čaši vidimo onako kako su astronauti videli Zemlju s Meseca: mirnu, blistavu, plavu. Sa meseca oni nisu mogli da vide ništa od bujnog života na Zemlji,

njene biljke i životinje, čežnje i očajanja. Samo prošaranu plavu loptu. Unutar odsjaja u čaši vode postoji analogni uzburkani život, sazdan od aktivnosti bezbroj molekula – mnogo više nego što ima živih bića na Zemlji.

Taj metež sve *podstiče*. Ako je jedan deo s molekulima miran, njega podstiče mahovitost onih susednih, koji i njih pokreću: uzburkanost se širi, molekuli naleću jedni na druge i guraju se. Na taj način hladne stvari se zagrevaju u kontaktu s toplim: njihove molekule laktaju topli i teraju na fermentaciju. Što će reći, greju se.

Termičko pobuđivanje je nalik na neprekidno mešanje špila karata: ako su karte poredane, mešanje u njih unosi nered. Na taj način toplota prelazi s vrućeg na hladno, a ne obrnuto: mešanjem, prirodnim unošenjem sveopšteg nereda. Rast entropije nije ništa drugo do sveprisutno i prirodno uvećanje nereda.

To je Bolcman razumeo. Razlika između prošlosti i budućnosti ne krije se u elementarnim zakonima kretanja; ne počiva u dubokoj gramatici prirode. Prirodno uneređivanje postepeno uzrokuje sve manje osobenih, sve manje specijalnih situacija.

Bila je to briljantna intuicija, i to tačna. Ali razjašnjava li ona razliku između prošlosti i budućnosti? Ne. Samo premešta pitanje. Sada pitanje postaje: zašto su u jednom od dva smera vremena – onom koji nazivamo prošlošću – stvari bile uređenije? Zašto je veliki špil karata vasseljene u prošlosti bio poredan? Zašto je u prošlosti entropija bila slabija?

Ako posmatramo fenomen koji *počinje* u stanju slabije entropije, jasno je zašto entropija narasta – zato što u postupku mešanja karata sve postaje uneređeno. Ali zašto pojave koje primećujemo oko nas u kosmosu uopšte *počinju* u stanju slabije entropije? Ovde dolazimo do ključne stvari. Ako je u špilu prvih dvadeset šest karata u crvenoj boji, dok je sledećih dvadeset šest u crnoj, kažemo da je konfiguracija karata „posebna“; da je „uređena“. Taj poredak se gubi kad se špil promeša. Prvobitna uređena konfiguracija jeste konfiguracija „slabe entropije“. Ali primetićete da je ona posebna ako pogledamo *boju* karata – crvenu ili crnu. Posebna je zato što gledam u boju. Druga konfiguracija bila bi posebna kada bi prvih dvadeset šest karata činili samo herčevi i pikovi. Ili ako su sve neparni brojevi, ili dvadeset šest najizgužvanijih karata u špilu, ili upravo istih dvadeset šest od pre tri dana... Ili ako dele bilo koje druge karakteristike. Ako pažljivo razmislimo o tome, *svaka konfiguracija je posebna*, svaka konfiguracija je jedinstvena ako gledamo *sve* njene detalje, pošto svaka konfiguracija uvek u sebi ima nešto što je karakteriše na jedinstven način. Baš kao što je za svoju majku svako dete posebno i jedinstveno.

Sledi da zamisao o tome da su određene konfiguracije posebnije od drugih (dvadeset šest crvenih karata posle kojih sledi dvadeset šest crnih, na primer) ima smisla samo ako se ograničim na zapažanje tek određenih aspekata karata (u ovom slučaju, boja). Ako pravim razliku