



NIL DE GRAS TAJSON
MAJKL A. STRAUS
DŽON RIČARD GOT

DOBRO DOŠLI U SVEMIR



Prevela
Tatjana Bižić

— Laguna —

Naslov originala

Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss
and J. Richard Gott

WELCOME TO THE UNIVERSE

Copyright © 2016 Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss, and J. Richard Gott.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the Publisher.

Translation copyright © 2019 za srpsko izdanje, 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.

Posvećeno uspomeni na Lajmana Spicera Mlađeg, Martina Švarcšilda, Bogdana Pačinskog i Džona Bahkola, koji su ostavili na nas nezbrisiv uticaj u naučnom i obrazovnom radu na polju astrofizike.

Sadržaj

PREDGOVOR	11
I DEO: ZVEZDE, PLANETE I ŽIVOT	17
1 VELIČINA I RAZMERE SVEMIRA	19
Nil de Gras Tajson	
2 OD DNEVNOG I NOĆNOG NEBA DO ORBITA PLANETA	30
Nil de Gras Tajson	
3 NJUTNOVI ZAKONI	50
Majkl A. Straus	
4 KAKO ZVEZDE ISIJAVAJU ENERGIJU (I)	66
Nil de Gras Tajson	
5 KAKO ZVEZDE ISIJAVAJU ENERGIJU (II)	88
Nil de Gras Tajson	
6 ZVEZDANI SPEKTRI	102
Nil de Gras Tajson	
7 ŽIVOT I SMRT ZVEZDA (I)	118
Nil de Gras Tajson	

8 ŽIVOT I SMRT ZVEZDA (II)	140
Majkl A. Straus	
9 ZAŠTO PLUTON NIJE PLANETA	159
Nil de Gras Tajson	
10 POTRAGA ZA ŽIVOTOM U NAŠOJ GALAKSIJI	185
Nil de Gras Tajson	
II DEO: GALAKSIJE	219
11 MEĐUZVEZDANI MEDIJUM	221
Majkl A. Straus	
12 NAŠ MLEČNI PUT	233
Majkl A. Straus	
13 SVEMIR GALAKSIJA	251
Majkl A. Straus	
14 ŠIRENJE SVEMIRA	263
Majkl A. Straus	
15 SVEMIR U SAMOM POČETKU	285
Majkl A. Straus	
16 KVAZARI I SUPERMASIVNE CRNE RUPE	309
Majkl A. Straus	
III DEO: AJNŠTAJN I SVEMIR	327
17 AJNŠTAJNOV PUT KA RELATIVNOSTI	329
Džon Ričard Got	
18 ŠTA SVE PODRAZUMEVA POSEBNA TEORIJA RELATIVNOSTI	346
Džon Ričard Got	
19 AJNŠTAJNOVA OPŠTA TEORIJA RELATIVNOSTI	371
Džon Ričard Got	
20 CRNE RUPE	385
Džon Ričard Got	

21 KOSMIČKE STRUNE, CRVOTOČINE I PUTOVANJE KROZ VREME	412
Džon Ričard Got	
22 OBLIK SVEMIRA I VELIKI PRASAK	445
Džon Ričard Got	
23 INFLACIONI MODEL I NAJNOVIJA OTKRIĆA U KOSMOLOGIJI	479
Džon Ričard Got	
24 NAŠA BUDUĆNOST U SVEMIRU	513
Džon Ričard Got	
ZAHVALNOST	547
DODATAK I	549
<i>Izvođenje jednačine $E = mc^2$</i>	
DODATAK II	553
<i>Bekenštajn, entropija crnih rupa i informacije</i>	
BELEŠKE	555

PREDGOVOR

Kad se rodila moja unuka Alison, gotovo prvo što sam joj rekao bilo je: „Dobro došla u svemir!“ Tu rečenicu je Nil Tajson, s kojim sam pisao ovu knjigu, često izgovarao na radiju i televiziji. Nilu je to jedna od omiljenih uzrečica. Kad se rodite, postajete građanin svemira. Sasvim vam priliči da se okrenete oko sebe i budete radoznali prema onome što vas okružuje.

Nil je zov svemira osetio kad je s devet godina prvi put otišao u Planetarijum Hajden u Njujorku. Kao gradsko dete veličanstvenu lepotu noćnog neba prvi put je video predstavljenu na kupoli planetarijuma i u tom trenutku je odlučio da postane astronom. Danas je upravnik Planetarijuma Hajden.

Svemir je zapravo dodirnuo sve nas. Vodonik u vašem organizmu nastao je kad se rađao sam svemir, a ostali elementi koji čine vaše telo nastali su na dalekim, odavno već mrtvim zvezdama. Kad mobilnim telefonom pozovete nekog prijatelja, trebalo bi za to da zahvalite astronomima. Tehnologija mobilnih telefona oslanja se na Maksvelove jednačine, a potvrda Maksvelovih jednačina na činjenicu da su astronomi već izmerekili brzinu svetlosti. GPS koji govori vašem telefonu gde se nalazite i pomaže vam da se bolje snalazite dok se krećete počiva

na Ajnštajnovoj opštoj teoriji relativnosti, koju su potvrdili astronomi mereći zakrivljenje putanje zvezdane svetlosti pri prolasku pored Sunca. Jeste li znali da postoji krajnja granica količine informacija koje mogu da budu pohranjene na hard-drajvu prečnika petnaest centimetara i da ta granica zavisi od fizičkih osobina crnih rupa? Na jednom svakodnevnijem nivou godišnja doba koja doživljavamo zavise neposredno od nagiba Zemljine ose u odnosu na ravan njenog kretanja oko Sunca.

Cilj ove knjige je da vas bolje upozna sa svemirom u kom živite. Ideja o ovoj knjizi nastala je dok smo nas trojica držali predavanja naročito pripremljena za studente završne godine Princstonskog univerziteta čiji glavni predmet studiranja nisu prirodne nauke – i koji možda nikad ranije nisu bili na predavanjima iz fizike. Neta Bahkol, naša koleginica i rektorka osnovnih studija na Princstonu, odabrala je Nila de Grasa Tajsona, Majkla Strausa i mene da držimo ova predavanja. Nil je sasvim očigledno imao dara da objasni fiziku onima koji se njome ne bave, Majkl je bio upravo otkrio dosad najudaljeniji kvazar koji smo uopšte otkrili u svemiru, a ja sam upravo bio dobio nagradu Univerziteta za najboljeg predavača. Predavanja su najavljena zvučnim fanfarama, i privukla su toliko studenata da nismo mogli da ih držimo u našoj zgradi, nego smo morali da ih premestimo u najveću slušaonicu na Odseku za fiziku. Nil je predavao o zvezdama i planetama, Majkl o galaksijama i kvazarima, a ja o Ajnštajnu, relativnosti i kosmologiji. O predavanjima je ukratko pisao i *Tajm* kada je proglasio Nila za jednog od stotinu najuticajnijih ljudi na svetu 2007. godine. Pored ostalog što odlikuje ovu knjigu, upoznaćete preko nje i Nila kao profesora čitajući isto ono što na predavanjima slušaju njegovi studenti.

Pošto smo držali ova predavanja nekoliko godina, odlučili smo da ideje koje smo izlagali na njima izložimo i u knjizi namenjenoj čitaocima željnim da malo dublje razumeju svemir.



Trojica autora, sleva nadesno: Straus, Got i Tajson. *Autorska prava* za fotografiju: Princeton, Denise Applewhite

Vodimo vas u obilazak svemira onakvog kako ga vide astrofizičari trudeći se da razumeju šta se u njemu dešava. Ispričaćemo vam kako su Njutn i Ajnštajn smislili svoje najznačajnije ideje. Već ste znali da je Stiven Hoking slavan, ali mi ćemo vam ispričati po čemu je postao slavan. Odličan biografski film o Hokingu *Teorija svega* doneo je Ediju Redmejnju Oskara za neodoljivo odigranu ulogu slavnog fizičara. Film prikazuje kako su Hokingu najbolje ideje sinule dok je prosto-naprosto sedeo ispred kamina i gledao vatru. Mi ćemo vam ispričati ono što je u filmu izostavljeno: kako Hoking nije verovao u ono što je postigao Jakob Bekenštajn, ali je na kraju došao do potvrde njegovog rada i izveo je sasvim novi zaključak. Reč je o istom Bekenštajnu koji je ustanovio konačnu granicu podataka koji mogu da budu pohranjeni na vašem hard-drajvu prečnika petnaest centimetara. Od svih

tema koje svemir nudi, u ovoj knjizi usredsredili smo se na one kojima smo najstrastvenije privrženi i nadamo se da će naše oduševljenje njima biti zarazno.

Znanja iz astronomije još su znatno proširena otkad smo mi počeli da držimo predavanja i ta nova saznanja takođe su prikazana u ovoj knjizi. Nilovo gledište o statusu Plutona ratifikovala je Međunarodna zajednica astronoma na istorijskom glasanju 2006. godine. Hiljade novih planeta otkrivene su na svojim putanjama oko zvezda. Pozabavili smo se i njima. Standardni kosmološki model, koji obuhvata normalna atomska jezgra, tamnu materiju i tamnu energiju, poznat je sada izvanredno tačno zahvaljujući rezultatima koje su prikupili Svemirski teleskop *Habl*, Slounovo digitalno pretraživanje neba, Mikrotalasna anizotropijska sonda *Vilkinson* (WMAP) i Anizotropijski satelit *Plank*. Fizičari su otkrili Higsov bozon u Velikom hadronskom sudaraču u Evropi i tako su nas za još jedan korak približili teoriji svega, kojoj se nadamo. Lasersko-interferometrijska gravitacijskotalasna opservatorija (LIGO) neposredno je detektovala gravitacijske talase dveju crnih rupa koje orbitiraju jedna oko druge.

Objašnjavamo kako su astronomi odredili koliko tamne materije postoji i kako znamo da tamna materija nije napravljena od obične materije (čija atomska jezgra sadrže protone i neutrone). Objasnjavamo kako znamo gustinu tamne materije i kako znamo da je njen pritisak negativan. Pokrivamo i najnovije hipoteze o postanku svemira i njegovom budućem razvoju. Ova pitanja dovode nas do samih granica današnjih naših znanja na polju fizike. Knjigu smo ilustrovali veličanstvenim fotografijama koje su snimili Svemirski teleskop *Habl*, Mikrotalasna anizotropijska sonda *Vilkinson* i svemirska sonda *Novi horizonti*, koja je snimila Pluton i njegov mesec Haron.

Svemir je zadivljujuć. Nil će vam to pokazati odmah u prvom poglavlju. Mnoge ljude svemir oduševljava, ali im istovremeno i uliva osećanje da su sićušni i beznačajni. Naš je cilj

da vam pružimo moć da ga razumete – to stvara osećanje snage. Ljudi su saznali kako deluje gravitacija, kako se rađaju zvezde i koliko je svemir star. To su trijumfi ljudske misli i zapažanja i imate puno pravo da zbog njih budete ponosni što pripadate ljudskom rodu.

Svemir nas zove. Da pođemo onda.

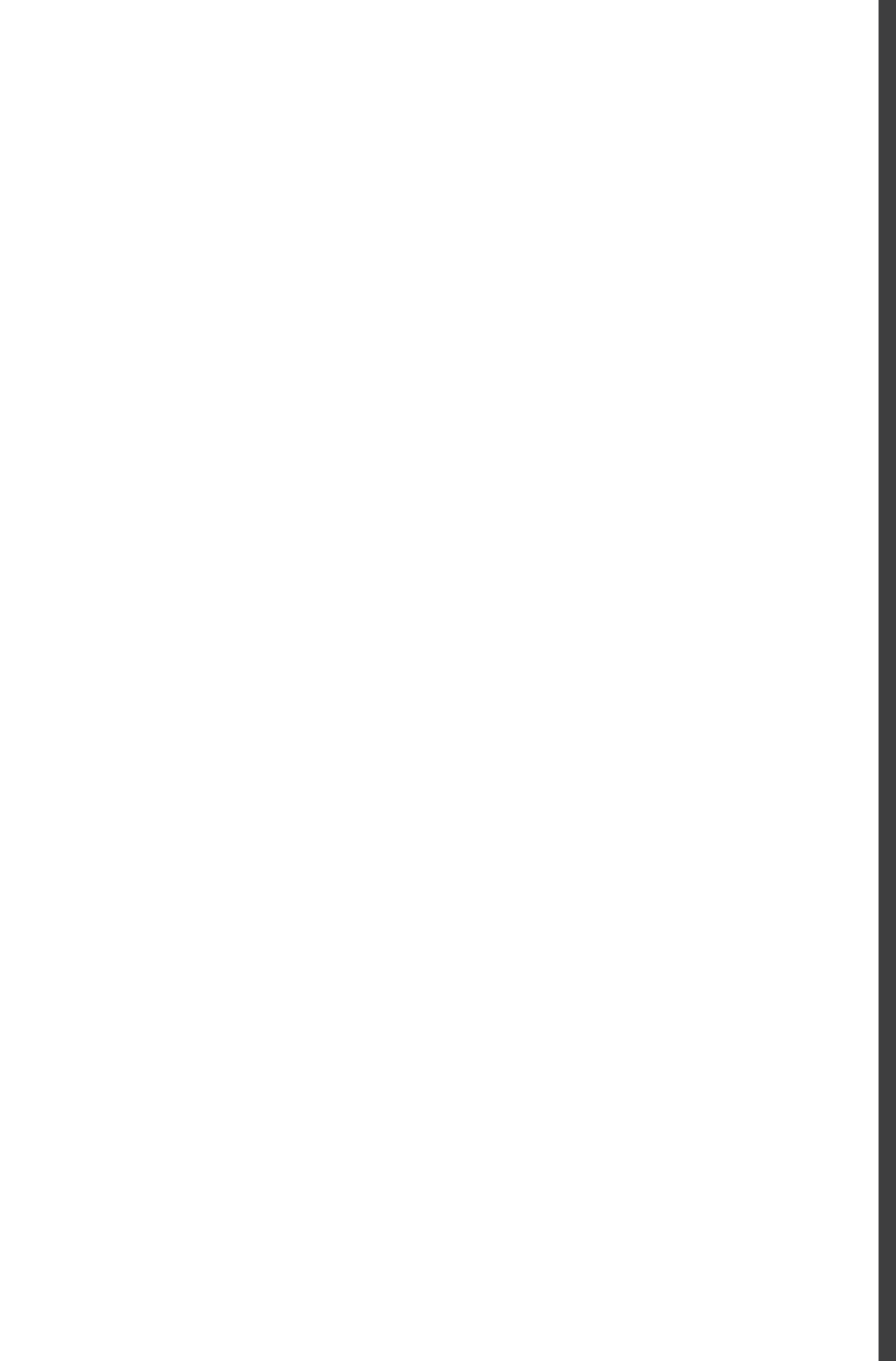
Džon Ričard Got
Prinston, Nju Džerzi



A stylized sun with numerous white rays radiating from a central dark circle. The background is dark with scattered white dots of varying sizes, representing stars. In the bottom left corner, there is a white curved shape that resembles a horizon or a planet's edge.

**PRVI
DEO**

**ZVEZDE,
PLANETE
I
ŽIVOT**



1

VELIČINA I RAZMERE SVEMIRA

Nil de Gras Tajson

Počinjemo od zvezda, pa se zatim penjemo kroz galaksiju, svemir i još dalje. Kako ono kaže Baz Lajtjir u *Priči o igračkama?* Do beskraj a i još dalje!

Svemir je velik. Hteo bih da vas upoznam s veličinom i razmerama svemira – koji je još veći nego što mislite. I vreliji nego što mislite. I gušći nego što mislite. I još razređeniji nego što mislite. Svemir je u svemu egzotičniji nego što vi mislite. Dajte pre nego što počnemo da zajednički sklopimo nekoliko mehanizama. Hteo bih da vas povedem na jedno putovanje kroz brojeve male i velike da bismo se malo opuštenije služili jezikom i da bismo malo opuštenije prihvatili veličinu tela u svemiru. Dozvolite mi da počnem od broja 1. Viđali ste ga i pre. U njemu nema nula. Ako bismo hteli da ga izrazimo u eksponencijalnom obliku, broj jedan bi bio deset na nultu potenciju – 10^0 . Broj 1 nema nula s desne strane, i to je ono što nam govori nulta potencija. Deset naravno može da se napiše kao deset na prvu potenciju, 10^1 . Da pređemo sada na hiljadu, 10^3 . Koji je metrički prefiks za hiljadu? *Kilo-*: kilogram znači hiljadu grama, kilometar hiljadu metara. Dodajmo još tri nule da stignemo do milion, 10^6 , čiji je prefiks *mega-*. Možda ljudi nisu znali da brojeve dalje od ovoga kad su smislili megafon; da su bili stigli do milijardu, dodali još tri nule, do 10^9 , možda bi ga nazvali gigafon. Ako ste obraćali pažnju na veličinu fajlova na svom računaru, poznate su vam reči megabajt i gigabajt. Gigabajt je milijardu bajta.¹ Nisam ubeđen da znate koliko je tačno velika milijarda. Da pogledamo malo po svetu i vidimo šta se to broji milijardama.

Kao prvo, na svetu ima sedam milijardi ljudi.

Bil Gejts? Čime se on bavio u poslednje vreme? Koliko sam upućen, bavio se s osamdesetak milijardi dolara. Bil Gejts je svetac zaštitnik svih štrebera zaluđenih kompjuterima; prvi put u istoriji ekscentrični štreberi zapravo vladaju svetom. Tokom najvećeg dela ljudske istorije to nije bilo tako. Gde ste videli da se spominje sto milijardi? Pa, možda ne baš sto milijardi. Na *Mekdonaldsovim* tablama. „Poslužili smo više od 99 milijardi obroka.“ To je najveći broj koji ste ikada videli na ulici. Sećam se kad su počeli da broje. Na *Mekdonaldsu* u koji sam išao dok sam bio mali s ponosom je istaknuto: „Poslužili smo više od 8 milijardi obroka.“ Na *Mekdonaldsovim* tablama nikada se nije pojavilo sto milijardi, jer su ostavljena samo dva numerička mesta za prebrojane hamburgere, tako da su stali na 99 milijardi. Posle toga nam u stilu Karla Sagana govore „milijarde i milijarde“.

Uzmite stotinu milijardi hamburgera i naslažite ih jedan uz drugi. Počnite iz Njujorka i krećite se ka zapadu. Hoćete li stići do Čikaga? Naravno. Hoćete li stići do Kalifornije? Da, naravno. Nađite neki način da plutaju. Ova računica važi za prečnik zemičke (deset centimetara), pošto je sam hamburger nešto manji nego zemička. Za ovu našu računicu važna je dakle zemička. Redajte ih da plutaju po okeanu, po najkraćoj putanji oko planete, i preći ćete čitav Tihi okean, proći pored Australije, Afrike, pa se vratiti preko Atlantskog okeana i na kraju stići u Njujork, odakle ste i pošli sa svojih stotinu milijardi hamburgera. To je mnogo hamburgera. Samo što vam je zapravo ostalo još pošto ste njima opasali Zemlju. Znae šta ćete s onima koji su vam ostali? Preći ćete ponovo istu putanju, i to dvesta petnaest puta! I opet vam je preostalo još. Dosadilo vam je da putujete oko Zemlje, dakle šta ćete s preostalima? Poslažite ih jedan na drugi. Pošto ste dvesta šesnaest puta opasali Zemlju, preostale hamburgere naslažete jedan na drugi. Do koje ćete visine stići? Do Meseca i nazad slažući hamburgere debele pet centimetara. Tek tada ćete utrošiti svih sto milijardi. Kao što

vidite, krave imaju ozbiljnog razloga da se plaše *Mekdonaldsa*. Poređenja radi, Mlečni put sadrži oko trista milijardi zvezda. *Mekdonalds* je znači na putu da se vine u kosmičke visine.

Milijarditi sekund svog života proživeli ste kad napunite trideset jednu godinu, sedam meseci, devet dana, četiri minuta i dvadeset sekundi. Ja sam taj trenutak proslavio bocom šampanjca. Majušnom bocom. Ne nailazite ipak na milijardu tako često u životu.

Idemo sad dalje. Šta nam je sledeće? Bilion, 10^{12} . Imamo metrički prefiks i za njega: *tera-*. Do bilion ne možete da izbrojite. Možete da pokušate, naravno, ali kad biste svake sekunde izgovarali po jedan broj, trebalo bi vam hiljadu puta po trideset jedna godina – 31.000 – te vam ne preporučujem da pokušavate, čak ni kod kuće. Pre bilion sekundi trogloditi, stanovnici pećina, crtali su po zidovima svojih dnevnih soba.

U njujorškom Centru za Zemlju i svemir *Frederik Fineas i Sandra Rouz* postavili smo spiralni prikaz vremenskog razvoja svemira, koji počinje Velikim praskom i teče trinaest zarez osam milijardi godina. Kada bi se odmotala, spirala bi bila duga kao fudbalsko igralište. Svaki vaš korak dok idete njome prekoračuje po pedeset miliona godina. Stignete do kraja rampe i pitate: Gde smo mi? Gde je istorija ljudskog roda? Čitav taj vremenski raspon, od pre bilion sekundi pa do danas, od žitelja pećina sklonih crtanju grafita pa dosad, debeo je koliko jedna vlas ljudske kose, koju smo i stavili na kraj čitave te hronološke tablice. Mislite da je naš život dug, mislite da je civilizacija dugovečna, ali s tačke gledišta samog kosmosa, to nije istina.

Šta imamo dalje? Bilijardu, 10^{15} , s metričkim prefiksom *peta-*. To je jedan od mojih omiljenih brojeva. Prema Edvardu Ozbornu Vilsonu, stručnjaku za mrave, na Zemlji, i u zemlji živi između bilijardu i deset bilijardi mrava.

A dalje? Trilion, 10^{18} , s metričkim prefiksom *eksa-*. Procenjuje se da toliko ima zrna peska na deset velikih plaža. Najčuvenija plaža na svetu je Kopakabana u Rio de Žaneiru. Duga

je četiri kilometra i dvesta metara, a široka je bila pedeset pet metara pre nego što su je proširili na sto četrdeset tako što su istovarili na nju tri i po miliona kubnih metara peska. Prosečna veličina zrna peska na Kopakabani u nivou mora iznosi oko trećinu milimetra, što znači da u jednom kubnom milimetru ima dvadeset sedam zrna peska, a u tri i po miliona kubnih metara oko 10^{17} zrna. Toliko peska otprilike ima danas na Kopakabani, te bi dakle na deset Kopakabana trebalo da bude oko 10^{18} zrna peska.

Ako pomnožimo trilion još jednom hiljadom, stižemo do 10^{21} , a to je trilijarda. Pošli smo od kilometra, pa smo preko megafona, *Mekdonaldsovih* hamburgera, kromanjonskih umetnika, mrava i zrna peska na plaži konačno stigli dovde: do deset trilijardi – *broja zvezda u vidljivom svemiru*.

Ima ljudi, i oni se kreću među nama svakog dana, koji tvrde da smo sami u kosmosu. Ti ljudi prosto-naprosto nemaju jasan pojam o velikim brojevima, nemaju jasan pojam o tome koliko je kosmos veliki. Kasnije ćemo saznati nešto više i o tome šta tačno podrazumevamo pod vidljivim svemirom.

Kad smo već kod toga, dozvolite mi da napravim jedan skok dalje. Uzmimo jedan broj mnogo veći od trilijarde – recimo 10^{81} . Koliko je meni poznato, ovaj broj nema ime. Toliki je broj atoma u vidljivom svemiru. Zašto bi vam onda ikada bio potreban broj veći od ovoga? Šta biste, za ime sveta, mogli brojati tolikim brojevima? Uzmimo, recimo, 10^{100} , lep, okrugao broj. Njegovo ime je gugol. Nemojte samo da ga pomešate s *Gugl*, internet kompanijom koja je namerno pogrešno napisala gugol.

U vidljivom svemiru ne postoje objekti čiji bi broj odgovarao gugolu. Gugol je broj koji nam služi samo za rasonodu. Možete da ga napišete kao 10^{100} , a ako nemate pri ruci superskript, može da posluži i ovo: 10^{100} . Ipak, ovako velike brojeve možete da upotrebite u određenim situacijama – nemojte da brojite *nešto*, nego moguće varijacije načina na koje nešto može da se dogodi. Na primer, koliko je različitih partija šaha

moguće odigrati? Partiju je moguće proglasiti nerešenom pošto jedna pozicija bude triput ponovljena, ili ako su oba igrača povukla po pedeset uzastopnih poteza, a da nijedan pion nije pomeren ili pojeden, ili ako na tabli nije preostalo dovoljno figura da bi bilo moguće postići mat. Ako kažemo da jedan od igrača mora da iskoristi ovo pravilo u svakoj partiji u kojoj je ono primenjivo, možemo da izračunamo broj mogućih partija. Ričard Got ih je izračunao i utvrdio da je broj manji od $10^{(10^4,4)}$, što je mnogo više od gugola, koji možemo da napišemo i kao $10^{(10^2)}$. Ako ne brojite konkretne predmete, nego moguće načine da se nešto uradi, možete da stignete do zaista vrlo velikih brojeva.

Imam jedan broj veći i od ovoga. Ako je gugol jedan i stotinu nula, šta kažete na gugol na deseti? Ovaj broj takođe ima ime: gugolpleks – jedan i gugol nula, a gugol je veći od broja atoma u svemiru. Nema vam druge nego da ga napišete 10^{gugol} ili $10^{10^{100}}$ ili $10^{(10^{100})}$. Pretpostavljam doduše da, ako ste za to motivisani, možete pokušati da napišete 10^{19} nula na svaki atom u svemiru, ali mora biti da imate i pametnija posla u životu.

Ne radim ovo da bih vam traćio vreme. Imam jedan broj veći i od gugolpleksa. Jakob Bekenštajn je smislio formulu pomoću koje možemo da procenimo maksimalan broj raznih kvantnih stanja čija bi masa i veličina bile uporedive s našim vidljivim svemirom. Uzimajući u obzir nama vidljivu kvantnu zamućenost, to bi bio maksimalan broj zasebnih vidljivih svemira kao što je naš. Taj broj je $10^{(10^{124})}$ – broj koji ima 10^{14} više nula od gugolpleksa. To će reći $10^{(10^{124})}$ svemira u rasponu od strašnih, uglavnom ispunjenih crnim rupama, do onih koji su isti kao naš, samo što u vašoj nozdrvi ima jedan molekul kiseonika manje, a u nozdrvi nekog vanzemaljca jedan molekul kiseonika više.

Eto dakle, vrlo veliki brojevi zapravo i mogu da nam posluže za ponešto. Za još veće brojeve od ovoga ne znam kakvu bi

svrhu mogli da imaju, ali matematičari svakako znaju. Jednom je jedna teorema sadržala stvarno žestok broj $10^{(10^{(10^{34})})}$ – on se zove Skjuesov broj. Matematičari nalaze zadovoljstvo u tome da razmišljaju daleko preko granica fizičke realnosti.

Dopustite mi da vam pružim određeni utisak i o nekim drugim krajnostima u svemiru.

Recimo o gustini. Na nekom instinktivnom nivou znate šta je gustina, ali hajde da porazmislimo o gustini u kosmosu. Da istražimo najpre vazduh oko nas. Mi udišemo $2,5 \times 10^{19}$ molekula po kubnom centimetru, od čega 78% azota i 21% kiseonika.

Gustina od $2,5 \times 10^{19}$ molekula po kubnom centimetru verovatno je veća nego što mislite. Da pogledamo najbolji vakuum koji možemo da postignemo u laboratoriji. Postižemo prilično dobar u današnje vreme, uspevamo da spustimo gustinu na stotinak molekula po kubnom centimetru. Kolika je gustina međuplanetarnog prostora? Sunčev vetar na udaljenosti od Sunca na kojoj se otprilike nalazi Zemlja sadrži oko deset protona po kubnom centimetru. Kad ovde govorim o gustini, govorim o broju molekula, atoma ili slobodnih čestica koje sačinjavaju neki gas. Kakvo je stanje s međuzvezdanim prostorom? Njegova gustina fluktuiru u zavisnosti od toga gde se nalazite, ali područja u kojima gustina pada na jedan atom po kubnom centimetru nisu retka. U međugalaktičkom prostoru taj broj je još mnogo manji: jedan atom po kubnom metru.

Tako prazan vakuum ne možemo da dobijemo ni u našim najboljim laboratorijama. Jedna stara izreka kaže: „Priroda se užasava praznine.“ Ljudi koji su to rekli nikada se nisu odvojili od površine Zemlje. Priroda zapravo voli prazninu, jer to je najveći deo svemira – praznina. Kad su rekli priroda, mislili su na ovde, gde smo mi sada, ispod ovog pokrivača vazduha koji nazivamo našom atmosferom, koja doduše zaista brže-bolje jurne da popuni prazan prostor kad god može.

Recimo da smrvim komadić krede o tablu i onda uzmem jednu mrvicu. Smrvio sam kedu u prah. Recimo da zrnca

tog praha imaju oko jedan milimetar u prečniku. Zamislite da je to proton. Znae, naravno, koji je atom najjednostavniji. Atom vodonika, kao što ste i pretpostavili. Jezgro vodonika sadži jedan proton, a u orbitali oko njega kruži jedan elektron. Koliko je veliki taj atom vodonika? Ako je mrvica krede proton, da li bi atom bio veliki kao lopta za plažu? Ne, bio bi mnogo veći. Prečnik bi mu iznosio stotinu metara – kao visina tridesetospratnice. Šta se to tu dešava? Atomi su uglavnom prazni. Između jezgra vodonika i njegovog jedinog elektrona, koji kruži u prvoj orbitali, sfernog oblika, kako nas uči kvantna mehanika, nema nikakvih drugih čestica. Hajde da idemo do sve manjeg i manjeg da bismo stigli do jedne druge granice kosmosa, koju predstavlja mera objekata tako majušnih da čak i ne možemo da ih izmerimo. Zasad još ne znamo koliki je prečnik elektrona. Manji je nego što smo u stanju da izmerimo. Prema teoriji superstruna, međutim, elektron je možda sićušna trepereća struna dužine $1,6 \times 10^{-35}$ metara.

Atomi su veliki oko 10^{-10} metara – jedan milijarditi deo metra. Imamo li nešto veliko 10^{-12} ili 10^{-13} metara? Poznati objekti te veličine obuhvataju atom uranijuma sa samo jednim elektronom i egzotičan oblik vodonika, oko čijeg protona kruži teški rođak elektrona zvani mion. Veličina mu je oko jedne dvestotine običnog atoma vodonika, a vreme poluraspada svega oko 2,2 sekunde zbog spontanog raspadanja miona. Tek kad se spustite do 10^{-14} ili 10^{-15} metara, stižete do veličine atomskog jezgra.

Idemo sada u suprotnom smeru, ka sve većim gustinama. Kolika je gustina Sunca? Da li je Sunce vrlo gusto, ili i nije baš tako gusto? Sunce je vrlo gusto (i ludački vrelo) u sredini, ali je bliže površini gustina mnogo manja. U proseku je oko jedan zarez četiri puta veća od gustine vode, koja iznosi jedan gram po kubnom centimetru. Gustina Sunca u središtu je sto šezdeset grama po kubnom centimetru. Sunce je međutim u ovom pogledu vrlo obično. Zvezde umeju, što se gustine tiče,

da ispoljavaju zapanjujuća nevaljalstva. Neke se šire sve dok ne postanu vrlo velike i naduvane, s vrlo malom gustinom, dok se druge skupe i postanu male i veoma guste. Razmotrite, zapravo, moju protonsku mrvicu i samotni, prazni prostor oko nje. U svemiru postoje određeni procesi koji primoravaju materiju da se skuplja sabijajući je sve dok ne dostigne gustinu atomskog jezgra. Unutar takvih zvezda svako jezgro je tesno pripijeno, obraz uz obraz, uz druga jezgra. Tela s ovakvim neuobičajenim svojstvima sačinjena su uglavnom od neutrona – to je supergusto svemirsko carstvo.

U našoj struci skloni smo da telima dajemo imena prema tome kako ih vidimo. Velike crvene zvezde zovemo crveni džinovi. Male bele zvezde zovemo beli patuljci. Kad su zvezde sačinjene od neutrona, zovemo ih neutronske zvezde. Zvezde koje pulsiraju zovemo pulsari. U biologiji smišljaju imena od dugačkih latinskih reči. Doktori medicine pišu recepte klinastim pismom koje pacijenti ne razumeju, pa ih samo daju apotekarima, koji umeju da čitaju klinasto pismo. Njime je ispisano dugačko ime neke hemijske mešavine koju ćemo gutati. U biohemiji najpopularniji molekul ima trinaestosložno ime – dezoksiribonukleinska kiselina. Dotle mi početak svekolikog vremena, prostora, materije i energije u kosmosu nazivamo dvema jednostavnim rečima – Veliki prasak. Mi smo nauka koja voli kratke reči, jer svemir je ionako dovoljno komplikovan. Nema smisla da kujemo dugačke reči da bismo vas zbunjivali još više.

Hoćete još malo? U svemiru ima mesta gde je gravitacija tako jaka da ni svetlost ne može otuda da izađe. Ako tamo upadnete, nećete izaći ni vi. To su crne rupe. I opet smo s dve obične dvosložne reči obavili ceo posao. Izvinjavam vam se, ali eto, morao sam, što se ovog tiče, da vam otvorim srce.

Kolika je gustina neutronske zvezde? Hajde da uzmemo jedan naprstak materijala s neutronske zvezde. Nekad davno ljudi su sve šili na ruke. Naprstak vam je štitio prst da ga ne

probodete iglom. Da bismo shvatili kolika je gustina neutronске zvezde, trebalo bi da sakupimo krdo od sto miliona slonova i da ih sve sabijemo u taj naprstak. Drugim rečima, ako stavite sto miliona slonova na jedan kraj klackalice, a naprstak materijala s neutronске zvezde na drugi kraj, klackalica će stajati u savršenoj ravnoteži. Gusto, nema šta. Neutronска zvezda takođe ima vrlo jaku gravitaciju. Koliko jaku? Hajde da se spustimo na površinu neutronске zvezde i da utvrdimo.

Jedan mogući način da izmerimo gravitaciju jeste da postavimo pitanje koliko nam je energije potrebno da nešto podignemo. Ako je gravitacija jaka, biće nam potrebno više energije. Kad se penjem uz stepenice, ulažem određenu količinu energije, koja se sasvim dobro uklapa u moje energetske rezerve; ali zamislite liticu visoku dvadeset hiljada kilometara na hipotetičnoj džinovskoj planeti čija je gravitacija slična Zemljinoj. Izmerite količinu energije koju uložite penjući se od podnožja do vrha boreći se sve vreme protiv gravitacijskog ubrzanja koje trpimo i na Zemlji. To je mnogo energije. Više nego što ste imali u rezervi u podnožju te litice. Moraćete usput da jedete energetske pločice ili neku drugu vrstu visokokalorične, lako svarljive hrane. U redu, dakle. Penjući se brzim ritmom od sto metara na sat, potrošili biste dvadeset dve godine danonoćnog penjanja da stignete do vrha. Sva ta energija bila bi vam potrebna da stanete samo na list papira položen na površinu neutronске zvezde. Na neutronским zvezdama najverovatnije nema života.

Stigli smo od jednog protona po kubnom metru do stotinu miliona slonova po naprsku. Šta sam izostavio? Temperaturu, recimo? Hajde da popričamo o vrlo vrelom. Da počnemo od površine Sunca. Temperatura na njoj iznosi šest hiljada kelvina. Na toj temperaturi sve što tu spustite pretvoriće se u paru. Zato je Sunce gasovito, jer njegova temperatura sve prevodi u gasovito stanje. (Poređenja radi, prosečna temperatura na površini Zemlje iznosi pukih 287 K.)

Kolika je temperatura u središtu Sunca? Kao što možete i da pretpostavite, središte Sunca je vrelije nego površina – postoje sasvim razumni razlozi za ovo, kao što ćemo videti kasnije u knjizi. Temperatura u središtu Sunca iznosi oko petnaest miliona kelvina. Na petnaest miliona kelvina dešavaju se neka zaista zapanjujuća zbivanja. Protoni se kreću brzo. Stvarno brzo, zapravo. Pod normalnim okolnostima protoni se međusobno odbijaju jer imaju isto, pozitivno naelektrisanje, ali ako se kreću dovoljno brzo, to odbijanje može da se prevlada i protoni mogu da se približe dovoljno da se aktivira jedna potpuno nova sila – ne odbojna elektrostatička sila, nego privlačna sila koja deluje samo na vrlo malim rastojanjima. Ako se dva protona dovoljno približe, ostaće jedan uz drugog. Ova sila ima i ime. Zovemo je jaka sila. Da, to je njeno zvanično ime. Jaka nuklearna sila može da poveže protone u nove elemente, kao što je element koji sledi iza vodonika u periodnom sistemu elemenata – helijum. Zvezde su vrlo uposlene pravljenjem elemenata težih od onih s kojima su rođene. Ovaj proces se odvija duboko u jezgru zvezda. O ovome ćemo nešto više saznati u sedmom poglavlju.

Idemo sada na hladnu stranu. Kolika je temperatura celog svemira? Svemir zaista ima određenu temperaturu – koja mu je ostala posle Velikog praska. U to vreme, pre trinaest milijardi i osamsto miliona godina, sav prostor, vreme, materija i energija koje možete da vidite, sve do udaljenosti od trinaest milijardi osamsto miliona svetlosnih godina, bili su zbijeni ujedno. Novorođeni svemir bio je vreo, ključali kotao materije i energije. Usled širenja se u međuvremenu ohladio na približno 2,7 K.

Danas nastavljamo da se širimo i hladimo. Ta činjenica jeste uznemirujuća, ali prikupljeni podaci pokazuju da se nalazimo na putovanju u jednom pravcu. Rođeni smo u Velikom prasku i osuđeni na večno širenje. Temperatura će nastavljati da pada, na dva kelvina, pa na jedan, zatim na pola kelvina asimptotski se približavajući apsolutnoj nuli. Na kraju će temperatura stati možda na donjoj granici od približno 7×10^{-31} K zbog efekta

koji je otkrio Stiven Hoking i o kom će govoriti Ričard u dva-deset četvrtom poglavlju. Nema u ovome, međutim, ničeg posebno utešnog. Zvezde će završiti fuziju svega termonuklearnog goriva, a zatim jedna po jedna poumirati i zgasnuti na nebu. Mada oblaci međuzvezdanog gasa stvaraju nove zvezde, time se iscrpljuju njihove zalihe gasa. Pođete od gasa, stvarate zvezde, zvezde prelaze svoj razvojni put i na kraju ostavljaju za sobom leš – mrtve završne proizvode zvezdane evolucije: crne rupe, neutronske zvezde i bele patuljke. Tako se to nastavlja dok se svetla svih galaksija ne pogase, jedno po jedno. Galaksija zgasne. Svemir zgasne. Ostanu samo crne rupe, koje zrače slabašnim sjajem – što je takođe predvideo Stiven Hoking.

Tu je kraj kosmosa. Bez slavnog bleska, mračan.

Mnogo pre nego što se ovo bude desilo, Sunce će – da govorimo zasad o veličini – porasti. Ne bi vam se dopalo da budete nigde u blizini kad se to bude desilo, verujte mi na reč. Kad Sunce bude umiralo, u njegovoj unutrašnjosti odigravaće se komplikovani termički procesi, koji će primoravati površinu da se širi. Tako će Sunce rasti, i rasti, i rasti, i lagano će zauzimati na nebu sve veći deo vidnog polja. Na kraju će progutati orbitu Merkura, a zatim i Venere. Za pet milijardi godina Zemlja će se pretvoriti u ugarak koji kruži tik oko Sunčeve površine. Okeani će već prethodno proključati i ispariti u atmosferu. Atmosfera će se zagrejati toliko da će se svi njeni molekuli razleteti u svemir. Život ovakav kakav je nama poznat neće više postojati. Posle sedam milijardi i šest stotina miliona godina druge sile gurnuće sprženu Zemlju pravo na Sunce, gde će potpuno ispariti.

Prijatan dan vam želim!

Pokušao sam da vam pružim određeni utisak o veličini i veličanstvenosti onoga o čemu govori ova knjiga. Sve što sam ovde samo spomenuo biće u poglavljima koja slede izloženo mnogo iscrpnije i podrobnije. Dobro došli u svemir.