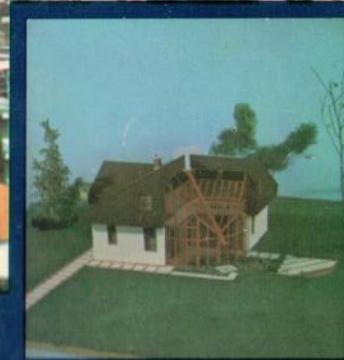


Branko Lalović

NASUŠNO SUNCE

kako da iskoristimo sunčanu energiju



NOLIT



BRANKO LALOVIĆ

NASUŠNO SUNCE

KAKO DA ISKORISTIMO SUNČANU
ENERGIJU

NOLIT • BEOGRAD

PREDGOVOR

Druga polovina stoljeća u kome živimo nesumljivo će biti zapamćena po velikim naporima koji se čine u osvajanju novih energetskih izvora. Po svemu sudeći, rasipnom čovekovom ponašanju došao je kraj. Za svaki kilovat-čas energije, nezavisno od toga da li je dobijen pomoću fosilnih goriva, vodenih tokova, fisionog materijala ili nečeg drugog, čovek mora dobro da razmisli za šta će ga upotrebiti. Ovakva situacija – koja je karakteristična za sve zemlje sveta, a za našu zemlju, siromašnu u energetskim izvorima, posebno – navodi nas na ozbiljno preispitivanje svih mogućnosti koje nam Priroda i naše postojeće znanje i tehnologija pružaju.

Dok naučnici i praktičari već neko vreme vode svakodnevnu bitku za osvajanje novih energetskih potencijala, bilo sticanjem novih saznanja u prirodnim naukama ili koncipiranjem efikasnijih mašina i procesa, nestručnaci uglavnom čekaju na svoj energetski „obrok“, praktično nezainteresovani za probleme udaljenije od njihovih doksata. Oni reaguju tek kada su i sami ugroženi usled narušavanja normalnih životnih uslova. Odnedavno, međutim, i laici počinju da se interesuju za rešavanje energetske i ekološke krize, u koju svet sve dublje zapada. Javlja se interes za alternativne, obnovljive energetske izvore, za ekologiju, novu arhitekturu i nov način života. Čovek se ponovo okreće Suncu i blagodetima koje mu ono pruža.

Usmerena ka rešavanju ovih životno važnih čovekovih problema, knjiga Nasušnō sunce Branka Lalovića predstavlja

jedno od prvih ozbiljnih dela u našoj naučno-stručnoj i popularnoj literaturi, vodeći čitaoca, na pristupačan i nadahnut način, ka novim naučnim saznanjima i tehničkim dostignućima. Za razliku od drugih knjiga iz nauke i tehnike, Nasušno sunce je podjednako korisno i za stručnjaka i za laika. Ona je pisana lakisom, jednostavnim stilom, tako da su tehnički problemi približeni i čitaocima skromnijih tehničkih znanja. Brojni dijagrami, šeme i tabele korisno će doći svima onima koji razmišljaju o tome kako da od Sunca zahvate određeni deo energije da bi svoj dom učinili toplijim i nezavisnijim od sve skupljih i oskudnijih klasičnih izvora energije, kako da svoju kuću učine prijatnijom za život, da pomoći sunca dobiju toplu vodu, pa i da još uvek skupim solarnim ćelijama osvetle svoj dom i tako ostvare potpunu nezavisnost od centralizovanih energetskih izvora.

Kao pasionirani solarista, profesor Lalović je proverio mnoga solarna rešenja koja daje u svojoj knjizi, a koja je u znatnom broju i sam iznašao. Tako Nasušno sunce, pored opštih principa korišćenja sunčane energije, sadrži i vrlo konkretna uputstva koja će čitaocima pomoći da izbegnu lutanja pri izboru rešenja za određeni problem i u datom slučaju dovesti do optimalne realizacije solarnog uredaja ili postrojenja, pa i čitave solarne kuće.

Centralno mesto ove knjige predstavljaju stranice posvećene „solarnoj kući“, kući koja od Sunca zahvata više od 3/4 ukupne energije utrošene u njoj. Ona nije samo autorov skromni doprinos ublažavanju teškoća u vezi s nestašicom energije već i ukazuje na nov, humaniji način života okretanjem Suncu i Prirodi. Solarna kuća ne mora biti samo stambena zgrada; to može biti i poslovna zgrada, veliki poslovni centar, ambulanta, bolnica, hotel, rekreativni centar i dr., čime se značaj Nasušnog sunca još više ističe. Kao prvenac u ovoj oblasti nauke i tehnike, ova knjiga će otvoriti nove puteve u našoj arhitekturi, te se nećemo čuditi ako jednoga dana niknu i čitava solarna naselja, a možda i manje naseobine.

Drugi problem od većeg značaja za našu blisku budućnost, za narednih 10–20 godina, vezan je za dobijanje električne energije konverzijom energije Sunčevih zraka pomoći fotona-

ponskih solarnih ćelija. I, zaista, kako to profesor Lalović u svojoj knjizi naglašava, teško je zamisliti čovekov pronalazak ingenjorske ćelije – od tog jedinstvenog izuma bez pokretnih delova koji obećava da u budućnosti postane izvor neiscrpnih količina energije. Poslednje stranice knjige Nasušno sunce sadrže britku polemiku između profesora V. Paara, pristalice nuklearne tehnologije, i autora o ulozi sunčane energije u budućnosti. Ta nas polemika neminovno podseća na početak pedesetih godina ovoga veka, na vreme neposredno po otkriću tranzistora i drugih poluprovodničkih elemenata. I tada se isto tako živo i argumentovano raspravljalo o budućnosti poluprovodničke elektronike spram klasične, cevne elektronike, pri čemu su mnogi sumnjičavo vrtili glavom, odričući budućnost poluprovodnicima. Među retkim pobornicima nove elektronike bio je i profesor Lalović, koji je dalekovido sagledao ulogu pridošlica – tranzistora i njegovih pratioca. Verujemo stoga da će njegova dalekovidost i ovoga puta doći do izražaja i da će knjiga Nasušno sunce delom i pomoći ostvarivanju te „sunčanje“ budućnosti. Naveli bismo zato nekoliko skorašnjih primera koji nam, nadamo se, daju za pravo da verujemo u solarnu budućnost i viziju autora ove knjige.

Svakim danom svedoci smo novih probaja na polju korišćenja obnovljivih energetskih izvora, posebno sunčanih. Tako, na primer, za poslednjih nekoliko godina, približno u vreme kada je autor započeo svoju knjigu, stvorena je industrija za masovnu proizvodnju solarnih uredaja i postrojenja; otpočela je borba za svetsko solarno tržište; realizovani su novi prijemnici solarne energije; proradila je prva veća solarna termoelektrana, u pustinji Mohava, SAD; pristupilo se projektovanju solarne termoelektrane od 100 MW, čija će gradnja otpočeti 1984. godine; realizovane su, pored monokristalnih, i polikristalne i amorfne silicijumske i druge fotonaponske ćelije; postignuta je cena od 6 američkih dolara po vatru vršne snage za amorfne solarne ćelije na bazi silicijuma, s izgledom za desetostruko smanjenje cene i realnu konkurenčiju klasičnim energetskim izvorima; razvijen je plan za izgradnju samooplodne solarne fabrike („Solarex“, SAD), koja će, sa 200 KW solarne energije, zadovoljavati sve

energetske potrebe fabrike za proizvodnju solarnih čelija; sklopljen je ugovor između američke firme „Arco“ i „Južnokalifornijske Edisonove električne kompanije“ za podizanje solarne fotonaponske elektrane od 1 MW, koja će biti uključena u distributivnu električnu mrežu; kompanija „Gulf“ je u oblasti Stenovitih planina (SAD) podigla poslovnu zgradu, s korisnim prostorom od 22.000 m², koja u najvećoj mogućoj meri koristi sunčanu energiju, itd.

Sve ovo nas podstiče da s optimizmom i sami zasučemo rukave i poradimo na sopstvenoj solarnoj budućnosti. Osnovna poruka knjige koja je pred nama jeste da je ta budućnost lepša, izazovnija i svima dostupna. Okretanje Suncu ima i svoju veliku inspirativnu, poetsku stranu, koju ne smemo da prenebregnemo u ovom trenutku, kada nas tehnika počinje da guši i da nam preti narušavanjem životne okoline. Taj značajni element pisac ove knjige je osetio i približio nam ga izborom najlepših stihova naših pesnika napisanih u pohvalu Suncu. Tako je knjiga Nasušno sunce ne samo uputstvo za rad na novom domu i oko njega već i izvor inspiracije za sve one koji intuitivno osećaju da se u zracima Sunca kriju zraci nade.

Vladimir Ajdačić

NASUŠNO SUNCE

U spomen majci Radi

POHVALA SUNCU

*I zrno najmanje
Poslušno ponavlja
Tvoju prolećnu misao
O sunce nauči nas pismenosti
Rečenici punoj bilja i cveća
U planini lekovitoj
Nauči nas vodi jasnoj*

*(Nadoh ti nadimak
Veliku zvezdu morsku)*

*Ne deli svet ovaj
Na Jug i na Sever
I vreme ovde dole isto tako
U sredini ne ostavljam pustinju
Koja se svakoga dana ponovo rada
I peva seleći se prema zapadu*

(Bela zvezdo)

*O sunce
Ptico koja greješ
Ti
Prkosna ružo
Jasno vreme
Darovita vatro
Na zaledenom nebu
Darivaj granu prolećem*

Branko Miljković

I

ZRACI NADE

*O nevini sinovi prirode,
vi presretni poklonici sunca!
Vi ste vjerni nebeski sinovi,
vas svjetlila luče životvorne
nose k tvorcu, lučah istočniku.*

Petar Petrović Njegoš

Kada na ulasku u treći milenijum budemo sabirali naučna i tehnička dostignuća poslednjeg, XX stoljeća, biće to, bez sumnje, velika i impresivna lista. Iako nam do kraja stoljeća ostaju još gotovo dve decenije, ta lista je već krcata neočekivanim i neobičnim otkrićima i izumima, za koja ni epitet fantastičan nije nimalo preteran. U našem stoljeću čovek je, na primer, duboko proniknuo u svet atoma i dospeo do kvarkova — čestica elementarnijih od „elementarnog“; otkrio, razumeo i zauzdao prirodne sile čije se postojanje ranije nije ni naslućivalo; prevazišao ograničenja svojih čula i svoje mašte i, pomoću neshvatljive apstrakcije, uspeo da opiše i rastumači i najsuptilnije materijalne strukture; ukratko, nijedna tajna materije nije za njega do sada predstavljala nepremostivu prepreku u spoznavanju sveta.

Zadivljujućom brzinom ova i druga saznanja upotrebio je za ostvarenje tehničkog progresa prepunog dostignuća koja prevazilaze žilvernovsku maštu. Prenošenje slika na interplanetarna rastojanja; oslobađanje nuklearne energije; proizvodnja minijaturnih i jeftinih ali moćnih elektronskih računara; putovanje na Mesec i dosezanje najudaljenijih planeta — da nabrojimo samo neke.

Ništa manje impresivna nisu postignuća u razumevanju života i samog čovekovog ustrojstva. Danas se naveliko presaduju srce i drugi organi, u stanju smo da zagledamo i u sam mozak, a u antibioticima smo našli moćno odbram-

beno oružje. Od još dalekosežnijeg značaja su, zacelo, otkriće genetskog koda i razvoj molekularne genetike. Sada znamo na koji način materija prenosi instrukcije za stvaranje raznih živih struktura, kao i to kako upravlja životnim procesima. U stanju smo već da se i sami uplićemo u izgradnju bioloških tvorevina i da ih menjamo po svojoj želji. Nedavno je, čak, u SAD izdat prvi patent na izum novog živog bića, te je industrijska proizvodnja novih vrsta živih struktura tako postala stvarnost.

Posmatrano i u najvećim, kosmičkim razmerama čovek je dospeo daleko. Ne samo da se vinuo u kosmos nego je uspeo i da ga pomoću instrumenata „sagleda“ gotovo s kraja na kraj i da, štaviše, otkrije kako je on nastao. A naslućuje i kako će se ta grandiozna kosmička farsa završiti.

Zahvaljujući naučnom i tehničkom napretku, materijalna bogatstva sveta mnogostruko su se uvećala. U najrazvijenijim zemljama životni standard, čak i običnog građanina, dostigao je zavidan nivo. Po absolutnim merilima, milioni ljudi danas bogatije žive nego odabranu manjinu privilegovanih u prošlosti.

No, i pored svega toga, poslednje godine fantastičnog XX stoljeća čovečanstvo ne dočekuje u dobrom raspoloženju. Svetska bogatstva su neravnomerno raspodeljena, pa, i pored velikog tehničkog napretka, u svetu još ima mnogo gladnih; nerešeni politički i socijalni problemi, nacionalne razmirice i ratovi izbijaju na sve strane, a sve zemlje sveta počinju da se suočavaju s nestaćicom energije, vode i drugih osnovnih dobara. Svima, takođe, preti sveopšte zagađenje čovekove životne sredine.

Nedaće i zla ove vrste bili su, dakako, oduvek prisutni na ovoj planeti. Ali, upravo zbog naučno-tehničkog progresa, oni su u savremenoj civilizaciji znatno potencirani. Zagadenje okoline, na primer, preti da dostigne globalne razmere, s nepopravljivim posledicama; s druge strane, usled postojanja nuklearnih oružja, opasnost svetske kataklizme je realna i stalna.

Čak i u zemljama koje se, sticajem okolnosti, nalaze izvan glavnih političkih i drugih sukoba u svetu, tehnički

industrijski razvoj nije doveo do harmoničnog i zadovoljavajućeg napretka društva. Sve je jasnije, zaista, da naučno-tehnički progres savremene civilizacije nije praćen, u odgovarajućoj meri, povećanjem ljudske sreće. Neki čak smatraju da je savremeni čovek suočen s pravim faustovskim izborom.

No samo površni posmatrač će sva ova zla pripisati razvoju nauke i tehnike. Iako je neosporno da savremena tehnička civilizacija na razne načine ugrožava čoveka, glavnog krivca ipak treba tražiti u zaostalosti društvenih odnosa, istorijskom nasleđu, ljudskoj prirodi. Sam čovek kao da nije sasvim dorastao delu koje je stvorio.

Na ovoj zabrinjavajuće tamnoj slici pojavljuje se, ipak, jedna nesumnjivo svetla tačka: čovek je najzad počeo da se otrže zahuktaloj civilizaciji i da poseže za čistom i neiscrpnom energijom – energijom Sunca, koja pruža zračak nade da postoje prihvatljiva rešenja za neke vitalne probleme savremenog društva.

Ne može se reći da nije bilo i ranijih pokušaja korišćenja sunčane energije. Zabeležena su Sokratova uputstva, još iz V veka pre naše ere, o tome kako treba graditi solarnu kuću, kao i nešto kasnija Arhimedova primena solarne energije u ratne svrhe. Od XVII veka naovamo mnogi izumitelji gradili su razne solarne uređaje. Tako je francuski naučnik Antoan Lavoazje konstruisao, uoči francuske revolucije, solarnu peć sa sočivom, koju je koristio za topljenje metala, čak i platine, čija temperatura topljenja iznosi 1760°C . I kasnije, sve do naših dana, bilo je više solarnih „talasa“, koji su doneli neka uspela ostvarenja. Na Pariskoj izložbi, održanoj 1878. godine, na primer, Abel Pifr demonstrirao je rad solarne parne mašine za pogon štamparske prese. U Americi je u to vreme takođe bilo više pokušaja da se solarna energija iskoristi za mehanički pogon, naročito za pumpanje vode. Bezvodne prerije na američkom zapadu nametale su, kao vitalnu potrebu, zahtev za snabdevanjem velikim količinama vode, i činilo se da solarna energija nudi privlačno rešenje tog problema. Početkom ovog stoljeća H. Vilsi je osnovao Kompaniju za sunčanu energiju, koja je počela da proizvodi

solarne pumpe za navodnjavanje i za snabdevanje naselja vodom.

Ovi, kao i mnogi kasniji pokušaji pali su, međutim u senku „crnog zlata“, koje je na nekim mestima gotovo sâmo izlazilo iz dubine zemlje i bilo basnoslovno jeftino. Razvoj motora s unutrašnjim sagorevanjem značio je, praktično, kraj komercijalnim solarnim mašinama, koje s njim nisu mogle da izdrže ekonomsku utakmicu. Tek u najnovije vreme, s prvim znacima iscrpljivanja fosilnih goriva, sunčana energija je dobila realnu šansu da se razvije u konkurenčki energetski izvor.

Najnoviji razmah solarnog pokreta daje osnova da verujemo da smo ovoga puta stvarno zakoračili u solarnu eru. Mnogobrojne primene sunčane energije već su uspešno demonstrirane i potvrđene u praksi: suncem zagrejana voda za svakodnevne potrebe naveliko se koristi u mnogim zemljama; kuće koje se greju sunčanom energijom niču kao pećurke posle kiše; pumpe za vodu na sunčani pogon, solarni uređaji za desalinizaciju morske vode i druge naprave takođe počinju da se proizvode na komercijalnoj osnovi; na pomolu je i jeftina solarna električna energija, a mnoge druge primene Sunčeve energije su u punom razvoju. Naročito je ohrabrujuća činjenica što se rada solarna industrija, koja u mnogim zemljama, pa i u nas, postaje sve snažnija.

Sunce je, to je odavno spoznano, izvor života na Zemlji. Ono je isključivi davalac energije za održavanje tog fascinirajućeg ciklusa život – smrt – život, u kome je život do sada uvek odnosio pobedu, prkoseći zakonu prirode o stalnom i neumitnom putu u haos, zakonu povećanja entropije, koji preti da i ceo svemir odvede u topotnu smrt. Instinkтивno su ljudi ocenili značaj Sunca još u pradavna vremena, o čemu svedoči njegovo isticanje kao vrhovnog božanstva u većine naroda. I naši preci, stari Sloveni, ostavili su nam u nasleđe boga Sunca, već zaboravljenog Dažboga. Jedino naši pesnici svedoče o tome da smo u dubini naše psihe još općinjeni tom „bakljom života“.

Živa bića, pa i čovek, odvajkada, dakle, koriste sunčanu energiju. Živa supstanca je uvek nalazila načina da

svoje bivstvo uskladi sa suncem, da ga zahvata kada joj je potrebno i da se brani od njega kada joj ugrožava opstanak. U najčudesnijem izumu prirode za korišćenje sunčane energije, procesu fotosinteze, kome dugujemo za svoj opstanak, mrtve, neorganske materije pretvaraju se, uz pomoć Sunčevog zračenja, u visokokvalitetna energetska goriva. Ugalj i nafta su, kao što je dobro poznato, takođe sunčanog porekla: oni predstavljaju „flaširane proizvode Sunca“, kako se izrazio Tesla.

Proces fotosinteze još ne razumemo sasvim i predstoji nam zadatak da ga u potpunosti rasvetlimo i da mu poboljšamo učinak. Sada biljke prosečno koriste svega jedan hiljaditi deo sunčane energije koja pada na njih, a ako bi se taj efekat povećao za jedan red veličine, čovečanstvo bi zasvagda rešilo problem energije. Neki naučnici nadaju se da ćemo biti u stanju da stvorimo, pomoću genetskog inženjerstva, mikrobe i bakterije koji bi s velikom efikasnošću pretvarali Sunčeve zračenje u korisna energetska goriva. Možda se tu, odista, krije prava budućnost solarne energije.

A da se moraju tražiti novi, obnovljivi izvori energije, danas je svakome jasno. Iscrpljivanje klasičnih goriva postalo je do te mere očigledno da ukazivanje na njega postaje bespredmetno. Danas gotovo da nema čoveka u tehnički razvijenom svetu koji nije doživeo da mu je električna energija uskraćena, makar i za kratko vreme, ili koji nije na benzinskoj pumpi zatekao tablu s natpisom „Nema benzina“.

Slično važi i za zagađivanje životne sredine. Svi smo svedoci kako taj proces brzo teče. Dok pišem ove redove, sedim na obali Dunava i posmatram tu divnu reku. Napolju je izuzetno toplo, prava letnja žega. Ipak nemam želju da se osvežim u reci, jer je voda odbojno prljava. Čega sve u njoj nema! Mogao bih s nostalgijom da se setim slihova Branka Radičevića o uživanju u dunavskoj vodi, ali nije potrebno ići jedan i po vek unazad. Samo pre jedne decenije još se moglo govoriti o „lepom plavom Dunavu“. Kako je danas prikidan vapaj našeg drugog Branka: „Ne

povredite zemlju, ne dirajte vazduh, ne učinite nikakvo zlo vodi!“

Sunčana energija predstavlja energetski izvor koji može znatno da olakša ove nedaće savremenog sveta. Moderni čovek zanesen moćnom tehnikom i izobiljem fosilnih goriva, kao da je bio zaboravio sve blagodeti ovog najprihvatljivijeg izvora energije, koji, zapravo, ne nudi samo alternativno rešenje energetske krize.

Uloga i doseg sunca se, odista, ne iscrpljuju upotrebo solarnih prijemnika i drugih naprava i prikupljanjem pogodnije i jeftinije energije. Okretanje suncu iznelo je u prvi plan i celokupni čovekov odnos prema prirodi, navelo nas na to da saberemo šta sve od nje uzimamo i šta joj vraćamo. Sada sve više razmišljamo o našoj ulozi na ovoj planeti, o sudbonosnom uticaju savremene civilizacije na celokupni ekosistem. Ne začuđuje, onda, što su borci za očuvanje okoline po pravilu i glavni pobornici primene sunčane energije.

Mnogi smatraju da će korišćenje te energije dovesti do dalekosežnih promena u načinu življenja. Poznati borac za upotrebu sunčane energije, Amerikanac Denis Hejs, koga možemo smatrati solarnim propovednikom i filozofom, veruje u viziju sveta u kome sunce nije dopunski nego glavni izvor energije, izvor koji će umnogome uobičiti naš životni stil. Budući da se do solarne energije dolazi znatnim trudom, rasipanje energije biće mnogo manje nego danas; decentralizovaće se snabdevanje energijom, kao i proizvodnja nekih dobara, a mnogi proizvodni procesi prilagođice se solarnoj energiji; ceo život biće racionalnije organizovan, tako da će se smanjiti suvišna putovanja i transport robe; i ljudi će se vaspitavati u drugom duhu — umesto pritska potrošačkog društva za što većim trošenjem dobara, vlađajuća parola biće: „Ne rasipaj, ne poželi“. Upotreba bicikla, na primer, postaće ne samo stvar racionalnijeg života nego i pokazatelj dobrog vaspitanja.

Taj buntovni mladi čovek, koji se pročuo kada je na besprekoran način organizovao i vodio čuveni marš protivnika vijetnamskog rata na Vašington 1970. godine, nije nezadržao samo na propovedanju upotrebe sunčane energije,

Ceneći njegove organizatorske sposobnosti američka vlada postavila ga je za direktora Instituta za istraživanje solarne energije (SERI) u Koloradu, koji ima zadatku da rukovodi celokupnim razvojem solarne energije u SAD. Tako sada Hejs ima priliku da pokaže da SAD do kraja ovog veka mogu od sunca zahvatiti dvadeset posto svojih potreba u energiji.

Razvoj tehničke civilizacije postavio je značajno etičko pitanje daljeg održavanja životne sredine, koju je čovečanstvo dobilo u nasleđe. A to nasleđe možda je jedinstveno u galaktičkim razmerama, jer se na našoj planeti jednovremeno steklo toliko uslova neophodnih za nastanak života da je mala verovatnoća postojanja znatnijeg broja takvih planeta u galaksiji.

Zemlja je stvorena pre oko 4,5 milijarde godina, a fosilni ostaci nam pokazuju da se život na njoj razvio relativno brzo, nekoliko stotina miliona godina po njenom nastanku. Otada, dakle blizu 4 milijarde godina, naša planeta je uspevala da održi povoljne uslove za život, uprkos štetnim spoljnim uticajima i previranju sopstvene utebre. Sunce je, na primer, u tom periodu pojačalo sjaj za dva puta, brojna nebeska tela su bespoštedno bombardovala Zemlju, vulkanske i razne tektonske aktivnosti dovele su do znatnih poremećaja na njenoj površini, a atmosfera je bila izložena svakojakim dejstvima. Na Zemlji se, ipak, sve vreme održavala srednja temperatura od 25°C , kiselost sredine (pH vrednost) od oko 7 jedinica, atmosfera je uspevala da očuva sastav gasova kakav ima danas. A to sve sačinjava idealne i, možda, neophodne uslove za biološku evoluciju. Očigledno je, dakle, da živi svet, zajedno s atmosferom i okeanima, sačinjava jedinstven i celovit sistem, koji je u stanju da se sam reguliše i održava. Sve je više naučnika u svetu koji uviđaju da se naša planeta, Gea, mora tretirati onako kako taj gigantski sistem samoregulacije zaslužuje. Gea je, zaista, više puta pokazala svoju moć: i kada su džinovski meteoriti razarali i uništavali velike oblasti; i kada su dinosauri svojim ogromnim apetitom počeli da ugrožavaju zeleno blago; i kada su, zbog precesije žemljine ose i drugih astronomskih efekata, nastupala

ledena doba; i kada su goreli celi kontinenti. Sve je to Gea uspela da nadvlada. Da li je danas „majčica Gea nešto drukčija nego li je bila“ – kako kaže Silvije Strahimir Kranjčević?

Nalazimo se tek na početku spoznaje kako taj kompleksni organizam dejstvuje, ali je sasvim jasno da je sve do sada, dok čovekova intervencija nije postala primetna i odlučujuća, Gea obezbeđivala idealne uslove za razvoj ljudske vrste. Održati to nasleđe je možda najveća obaveza koju čovek ima prema prirodi, pa i prema samom sebi.

No Sunce nas ne navodi samo na humanitarna i filozofska razmišljanja ove vrste. Ono nam pruža i realnu šansu da u velikoj meri uskladimo svoje potrebe i svoje želje s onim što godi našoj rodnoj planeti Zemlji, i da se pokažemo dostoјnjim jedinstvenog nasleđa. Sa šireg gledišta, odista, sunčani zraci postaju zraci nade, i to ne samo u figurativnom smislu.

Pa pogledajmo šta nam sve Sunce nudi.

II

SUNCE KAO IZVOR ENERGIJE

*Jer evo sunce izlazi na tvrdi svoje,
hoteći osvetliti svu Vaseljenu.*

Arhiepiskop Danilo

U grčkoj mitologiji postoji divna priča o tome kako su ljudi došli do vatre. Prometej, lik božanskog porekla i ljudskih osobina, žečeći da ljudima olakša život, a suprotno odluci bogova da im se uskrati vatra, pripaljuje buktinju na Suncu i donosi vatrnu na zemlju. Za tu svoju drskost biva surovo kažnen – prikovan na kavkasku stenu i ostavljen na milost lešinarima.

Ovom slikovitom pričom Grci su ovekovečili taj neobično značajni događaj kada je primitivni čovek počeo da se služi vatrom, da sam stvara ono što je bilo privilegija bogova ili, kako bi moderni čovek rekao, privilegija prirode. Život je postao mnogo lakši kad se vatra mogla po volji proizvoditi, kad se moglo praviti malo sunce, istina slabo i sićušno u poređenju s pravim, ali često od životnog značaja.

I vekovima se verovalo, zaista, da čovek, paleći drvo ili igalj, uspešno imitira sunčanu vatu. No bila je to zabluda. Tek u naše doba na Zemlji je, prvi put otkako ona postoji, zapaljena prava sunčana vatra.

Jer Sunce nije obično užareno telo koje postepeno sagoreva. Ono je pre laboratorija u kojoj se odvijaju najloženiji procesi, kakve su u stanju da izvedu, uz gigantske napore, jedino atomski naučnici. U pitanju je...

Ali treba da prevalimo dobar put da bismo saznali šta se dešava u toj dalekoj i čudesnoj tvorevini prirode, koju u naše doba nauka pokušava da razume i prevaziđe.

Sunce predstavlja tipičnu zvezdu, kakvih u našoj galaksiji ima na desetine milijardi. U tim usijanim nebeskim telima proizvodi se i izračuje energija neshvatljiva za naše pojmove. Svake sekunde naše sunce šalje u vasionu oko sto milijardi milijardi kilovatčasova. Očigledno, zemaljska mera nisu prikladna za obračunavanje potrošnje vasionskih svetiljki. Ako bismo hteli da se na Zemlji približimo Sunčevoj moći, onda bi trebalo da celokupne naslage uglja u svetu sagorimo u toku svega jedne sekunde. Pa i u toj sekundi jedva ako bi naša planeta obasjala svoje susede jednim hiljaditim delom Sunčeve svetlosti. Ili, da bi se ona izjednačila sa Suncem, potrebno bi bilo da u sekundi eksplodira sto milijardi nuklearnih bombi, tj. na svakom hektaru po jedna!

Kakvi se to čudesni procesi odigravaju na toj usijanoj kugli, koji omogućuju ovo neštedno i gotovo večito rasipanje energije?

POREKLO SUNČEVE ENERGIJE

*Црно сонце, чијио преуправена бо звезда,
кој мисли гека чије сфањил не знае чијо е бездна,*

Ačo Шоуб

Najlakše je reći da je Sunce sačinjeno od neke materije slične uglju, koja postepeno sagoreva. No jednostavan račun pokazuje da bi Sunčeva masa, i kad bi se sva sastojala od uglja, izgorela za manje od 100 vekova ako bi njegov sjaj bio kakav je danas, i da bi se još davno u prošlosti, mnogo ranije nego što se pojavio život na Zemlji, ono pretvorilo u džinovski ugarak. Izvor sunčane energije treba, dakle, tražiti na drugoj strani.

Danas je lako setiti se da bi ta energija mogla da bude nuklearnog porekla, jer živimo u doba kada je nuklearna energija postala stvarnost. Ali do početka ovog veka nije se za nju ni znalo, i zato je potraženo drugo objašnjenje. Bila je pozvana u pomoć sila teže ili gravitacija, koja je na Sunčeju

milion puta jača nego na Zemlji. Pod njenim dejstvom, rečeno je, Sunčeva masa se sve više skuplja i sabija, pri čemu se i strahovito zagreva. No računi su i u ovom slučaju pokazali da bi se ona sabila do krajnje moguće granice za nekoliko desetina miliona godina, posle čega bi se brzo ohladila. A nauka pouzdano zna, međutim, da Sunce sija kao danas već najmanje pet milijardi godina.

Sve do kraja prošlog veka ljudi su bili nemoćni pred zagonetkom gotovo večitog sjaja Sunca i ostalih zvezda. No tada se granice nauke iznenada pomiču. Otkriće radioaktivnosti pokazalo je da u prirodi postoje i drugi izvori energije sem uglja, drveta, gravitacije i ostalih dotada poznatih. Tada se došlo na misao da na Suncu možda ima dosta radioaktivnih elemenata, koji svojim zracima zagrevaju njegovu masu. Ali se brzo uvidelo da ni ova pretpostavka nema dovoljno osnove. Nauka je ustanovila da na Suncu nema relativno više radioaktivnih elemenata nego na Zemlji i da je njihova količina nedovoljna za njegovo zagrevanje do milionske temperature.

Ipak, naučnici nisu odustajali od ideje da je sunčana energija nuklearnog porekla, i što su više zalazili u tajne atomskog sveta, to su bili bliže rešenju Sunčeve tajne. Ali to nije bio nimalo lak zadatak. Trebalo je odgonetnuti koji materijali su glavni učesnici u procesu proizvodnje energije na Suncu, kako teče taj proces, tačno proračunati količine energije koje se mogu očekivati, i odgovoriti na niz drugih pitanja. Sve to, naravno, bez mogućnosti eksperimentisanja pod sunčevim uslovima.

Godine 1920. engleski naučnik, astronom i fizičar Arthur Eddington daje ispravno tumačenje porekla Sunčeve vatre. U jednom naučnom časopisu on objavljuje teoriju po kojoj vodonik, najlakši od svih hemijskih elemenata, predstavlja glavno nuklearno gorivo kome Sunce duguje svoje usijanje.

Kakav je to proces u kome vodonik postaje tako snaga izvor energije?

Odgovor na ovo pitanje nije bio važan samo radi zadovoljavanja naučne radozonalosti. Na Zemlji takođe ima

vodonika, najčešće u obliku njegovog svakome pristupačnog jedinjenja s kiseonikom — vode, pa zašto se to neobično gorivo ne bi i koristilo? U vezi s tim je izučavanje procesa na Suncu imalo i neobičan praktični značaj.

Edington je 1920. bio u stanju da dâ samo opšte, principijelno tumačenje kako vodonik „izgara“ na Suncu. Bio bi on, međutim, bespomoćan da drugi veliki naučnik, Albert Ajnštajn, još 1905. nije otkrio jedan veoma značajan prirodni zakon, ili princip, takozvani princip jednake vrednosti mase i energije. Po Ajnštajnu, masa i energija, iako našim čulima izgledaju sasvim različite kategorije, u suštini su vrlo bliske, čak potpuno ekvivalentne (jednakovredne), ravnopravne. Štaviše, u prirodi se jedna neprekidno pretvara u drugu, masa u energiju i energija u masu. Zaista, celokupno iskustvo nauke potvrđuje da su masa i energija samo dva oblika, dva načina ispoljavanja jedinstvene materije.

Ajnštajn je dao jednostavnu formulu, s kojom može da izade na kraj svaki osnovac, a koja omogućuje da se izračuna uzajamni odnos mase i energije, odnosno koliko energije odgovara određenoj masi, i obrnuto. Ta formula glasi:

$$\text{ENERGIJA} = \text{MASA} \times (\text{BRZINA SVETLOSTI NA KVADRAT});$$

ili:

$$\text{ENERGIJA (kilovat-časova)} = \text{MASA (kilograma)} \times 25\,000\,000\,000$$

Dakle, jedan gram mase odgovara energiji od 25 miliona kilovatčasova. Drugim rečima, tu količinu energije dobili bismo ako bismo jedan gram mase na neki način pretvorili u energiju. Eto ključa koji, u principu, može da objasni kako i relativno male mase proizvode ogromne količine energije.

Kako je Ajnštajnov zakon poslužio Edingtonu u objašnjenju sunčane energije?

Na žalost, nije dovoljan samo Ajnštajnov zakon da se razume proces proizvodnje sunčane energije, kao i ostali

nuklearni procesi pri kojima se oslobađaju velike količine energije. Pretvaranje mase u energiju većih razmara odigra va se na području atomskog sveta i stoga je ovaj neophodno poznavati bar u opštim crtama.

U oslobođanju nuklearne energije atomi ne učestvuju kao jedinke. Ma koliko sitni, oni u stvari nisu nedeljivi. Naprotiv, kao što je moderna nauka otkrila, atomi su sačinjeni iz još sitnijih čestica. Njihova unutrašnja građa mnogo podseća na Sunčev planetarni sistem, u kome Sunce, hiljadama puta veće i teže od planeta, drži ove na okupu i primorava ih da kruže oko njega. Tako i u atomu postoji centralni deo, sitan i lagan s našeg gledišta, ali masivan ako se uporedi s drugim delićima atoma. Oko tog središnjeg dela, koji se naziva atomskom jezgrom (latinski „nukleus“), kreću se lake, negativno nanelektrisane čestice, elektroni. Pod izvesnim uslovima elektroni se mogu sasvim otkinuti od jezgra — na primer pod dejstvom trenja, temperature, svetlosti itd.

Možemo odmah svu pažnju usredsrediti na atomsko jezgro, pošto nuklearna energija potiče iz njega, dok je uloga elektrona u tome beznačajna. To je i razumljivo kad se uzme u obzir da je u atomskom jezgru koncentrisano preko 99,9 posto ukupne mase atoma.

I samo atomsко jezgro ima svoj unutrašnji poredak, čije osnovne osobine danas dobro poznajemo. Ono je sastavljeno iz još sitnijih čestica, ali je njegov sastav sasvim jednostavan i nije potrebno posebno predznanje da se on shvati. Jer tih čestica ima svega dve vrste. To su pozitivno nanelektrisane čestice, protoni, i neutralne čestice, neutroni.

Atom vodonika — najjednostavnijeg elementa u prirodi — ima jednu jedinstvenu osobinu: njegovo jezgro sadrži samo jednu česticu, u stvari jedan proton. Svi drugi elementi imaju složena atomska jezgra. Tako već drugi elemenat po redu, helijum, ima u atomskom jezgru dva protona i dva neutrona, gvožđe 26 protona i 30 neutrona, dok atomsko jezgro urana sadrži 92 protona i 146 neutrona. Treba napomenuti, međutim, da atomi jednog istog elementa mogu imati različit broj neutrona. Tako, pored običnog atoma vodonika s jednim protonom u

jezgru, postoji i druga vrsta vodonika, u čijem se atomskom jezgru sem protona nalazi i jedan neutron (deuterijum), ili čak i dva neutrona (tricijum). Vrste atoma s različitim brojem neutrona a istim brojem protona nazivaju se izotopima jednog elementa.

Izotopi vodonika deuterijum i tricijum su vrlo retki i predstavljaju neobično važne materijale za rad na nuklearnoj energiji. Jedinjenje deuterijuma s kiseonikom daje takozvanu tešku vodu (D_2O), za razliku od obične vode (H_2O). Tricijum se proizvodi veštačkim putem i jedna je od najskupljih supstanci koje čovek posedeuje.

Da bismo stekli pojam o tome odakle potiče i kako nastaje nuklearna energija, zamislimo da smo u modernoj laboratoriji nuklearne fizike uspeli da pomoću atomske mašine sastavimo dva protona i dva neutrona. Na taj način bismo, u stvari, dobili atomsko jezgro helijuma. Budimo, međutim, oprezni i nepoverljivi. Pre nego što sastavimo protone i neutrone, izmerimo težine, odnosno mase svakoga od njih zasebno. Videćemo da masa protona iznosi 1,0076 jedinica mase u atomsкој fizici, a neutra na nešto više – 1,0089. Zbir masa dva protona i dva neutrona iznosi, prema tome, 4,033 atomske jedinice. To bi ujedno trebalo da bude i masa helijumovog jezgra, pošto smo videli da se ono sastoji upravo od dva protona i dva neutrona.

Međutim, ako bismo bili pedantni do kraja i ipak izmerili masu helijumovog jezgra kao jedinke, bili bismo vrlo iznenađeni. Ustanovili bismo da stvarna masa helijumovog jezgra iznosi 4,003 jedinica, da je, dakle, manja za 0,030 jedinica od zbira masa dva protona i dva neutrona. Mogli bismo da ponavljamo merenje bezbroj puta i u vanrednom tačnošću, no uvek bismo dobijali pomenute rezultate. Kako je to moguće? Kako i kuda je iščezlo 0,75 posto mase čestica?

Na ovom mestu u priču ponovo ulazi Ajnštajnov zakon, koji jednostavno objašnjava celu stvar. U našem eksperimentu, tj. pri spajanju protona i neutrona, delje njihove mase ne iščezava sasvim, nego se, po tom zakonu, vezi između mase i energije, pretvara u energiju. Ako bismo merili ne samo mase nego i energiju, ustanovili bismo

da se oslobođa tačno onoliko energije koliko odgovara gubitku od 0,030 jedinica mase.

Edingtonu je bilo poznato da vodonik čini više od pedeset puta Sunčeve mase i mogao je zaključiti da se u njegovi atomske jezgra, protoni, neprekidno spajaju u jezgra helijuma, uz oslobođanje ogromnih količina energije. U toj laboratoriji neverovatnih razmera svake sekunde se oko 570 miliona tona vodonika transformiše u 566 miliona tona helijuma, pri čemu „manjak“ mase od oko četiri miliona tona odlazi u vasionu najvećma u obliku energije topotnih i svetlosnih zraka. Budući da se transformacijom jednog kilograma vodonika u helijum dobija 187,5 miliona kilovat-časova, vodonik je u stanju da u količini u kojoj se nalazi na Suncu zagreva ovo i održava ga u usijanom stanju milijardama godina. Sadašnja luminoznost Sunca, odnosno snaga njegovog zračenja, procenjuje se na $3,6 \cdot 10^{26}$ W.

Na Sunčevoj površini temperatura iznosi 5800 kelvina a sve je viša prema njegovom središtu, gde dostiže 15 miliona kelvina. I svakako treba očekivati da se na tako visokoj temperaturi odigravaju neobični procesi, kad se već na nekoliko hiljada stepeni gotovo svaki materijal topi i isparava. I pritisak u Sunčevom središtu prevazilazi svaku meru: on tamo iznosi preko pedeset milijardi atmosfere.

Na Zemlji nemamo iskustva s tako visokim pritiscima i temperaturama, ali se ipak može naslutiti u kakvom stanju se nalazi materija podvrgnuta takvim uslovima. Tu više nema ni govora o postojanju atoma, jer su oni potpuno iskidani na sastavne delove, tj. elektroni su odvojeni od atomske jezgare. Na taj način, samo elektroni i jezgra postoje kao zasebne čestice. To je, u stvari, četvrtoto stanje materije – plazma. Dalje, usled visokog pritiska, masa je zgušnuta do te mere da je zapremina jednog kilograma gvožđa manja od veličine napraska.

Pod ovakvim uslovima, na Sunču i drugim zvezdama odvijaju se spontano, sami od sebe, nuklearni procesi; drugim rečima, oslobođa se nuklearna energija. Ali na koji način temperatura omogućava nuklearne procese?

Ako hoćemo da u laboratoriji izvedemo neki nuklearni proces, služimo se mašinama za nuklearno bombardovanje

– ciklotronima, sinhrotronima i drugim. Kako one deluju? U njima se pomoću električnih i magnetnih polja ubrzavaju nanelektrisane atomske čestice, kojima se, kada dostignu neobično velike brzine, na desetine hiljada kilometara u sekundi, bombarduju atomska jezgra. Zahvaljujući velikim brzinama, te čestice su u stanju da prođu u jezgro, da izbace neku česticu iz njega ili pak da ga razbiju na sastavne delove. Tako nastaju nuklearni procesi ili, kako se stručnije kaže, nuklearne reakcije.

S druge strane, kad povećavamo temperaturu nekog materijala, njegovi atomi počinju sve brže da se kreću, dok najzad ne dobiju toliku brzinu da se razlete na sve strane. Dakle, temperatura povećava brzinu kretanja atoma. Kako je to u suštini isti efekat koji postižu mašine za nuklearna bombardovanja, možemo očekivati da na izvesnoj temperaturi brzina atoma – ili, tačnije, atomskih jezgara – bude tolika da se u njihovim međusobnim sudarima začnu izvesni nuklearni procesi. Treba naglasiti da istu brzinu ne postižu svi atomi, već postoji određena raspodela brzina (tzv. Maksvelova raspodela), pa najbrže čestice, razume se, započinju nuklearne reakcije.

Kolika je temperatura potrebna da se ovo dogodi?

Uzmimo za primer aluminijum. Na 10 000 stepeni celzijusa atomi aluminijuma dostižu brzinu od desetina kilometara u sekundi, a to je nedovoljno za nuklearne reakcije. Čak ni milion stepeni – kad atomska jezgra aluminijuma jure brzinom od više stotina kilometara u sekundi – nije dovoljno visoka temperatura. Tek na preko pedeset miliona stepeni postali bi sudari među jezgrima tako siloviti da bi imali za posledice izvesne promene u njihovoј strukturi.

Međutim, kod lakših hemijskih elemenata nuklearni procesi počinju na nižoj temperaturi. Tako na Suncu, odnosno u njegovom središtu, nuklearni procesi na temperaturi od oko 15 miliona stepeni obuhvataju vodonik, ugljenik, azot i druge lakše elemente. Ovi procesi nazivaju se termonuklearnim reakcijama, a energija koja se pri tom oslobađa – termonuklearnom energijom. Međutim, pošto

se ti procesi obično svode na spajanje (fuziju) lakših jezgara u teža, često se govori o energiji fuzije, za razliku od energije fisije, koja se oslobađa procesom cepanja (fisije) uranovog jezgra na lakše delove.

Sunce, dakle, predstavlja džinovski termonuklearni reaktor.

Ne treba misliti da je išlo lako s teorijom o pretvaranju vodonika na Suncu i drugim zvezdama u helijum. U nauci nije dovoljno samo opšte tumačenje neke pojave. Od teorije se zahteva, detaljan proračun procesa, i tek ako se on slaže sa stvarnim činjenicama, ona se usvaja. Trebalo je da prođe cela decenija da bi se detalji Sunčevog procesa u potpunosti otkrili. To su učinili, gotovo u isto vreme i nezavisno jedan od drugog, kao što se to često u nauci dešava, nuklearni fizičari Hans Bethe, u Americi, i Karl Vajsceker, u Nemačkoj.

Godine 1938. prisustvovao je Beti jednoj konferenciji nuklearnih fizičara u Čikagu, na kojoj je bilo govora o teškoćama u objašnjavanju procesa proizvodnje sunčane energije. Vraćajući se vozom kući, on je počeo da razmišlja o tom problemu. Dao je sebi reč da neće ručati dok ne nađe rešenje. I, na čuđenje ostalih putnika, izvadio je hartiju i olovku i zadubio se u rešavanje zamršenog toka nuklearnih procesa na zvezdama. Pisao je razne formule, precrtavao, proračunavao. Kako je bio gladan, žurio je da završi rad na vreme. I upravo kada je stjuard vagon-restorana objavljivao ručak, Beti je napisao poslednju formulu. Problem je bio rešen.

Tako glasi anegdota o jednom od velikih postignuća fizike, iz koga se začela ideja o korišćenju hidrogenske energije na Zemlji.

Bete je za ovaj rad dobio Nobelovu nagradu, istina sa zaklanjenjem od tri decenije.

Kakvo je bilo njegovo rešenje?

Bete je ustanovio da postoje dva složena lanca procesa na zvezdama. U jednom, neposrednjem, učestvuju samo najlakši elementi, do bora, ali pretežnu ulogu igraju vodonikovi izotopi (protonsko-protonski lanac). Najpre