

# FIZIKA NEMOGUĆEG

*Takođe od Mičija Kaku:*

Hiperprostor

Vizije

Ajnštajnov kosmos

Paralelni svetovi

Posle Ajnštajna

Fizika budućnosti

Budućnost uma

# FIZIKA NEMOGUĆEG

NAUČNO ISTRAŽIVANJE VREMEPLOVA,  
TELEPATIJE, PSIHOKINEZE, ROBOTA  
I PUTOVANJA BRŽEG OD SVETLOSTI

Mičio Kaku

Prevod  
Ana Ješić



*Mojoj dragoj supruzi Šizu  
i kćerkama Mišel i Alison*



*Naslov originala*

Michio Kaku: PHYSICS OF THE IMPOSSIBLE

Copyright © 2008 by Michio Kaku

Copyright © 2011, 2023. za srpsko izdanje, Heliks

*Izdavač*

Heliks

*Za izdavača*

Brankica Stojanović

*Lektor*

Vesna Đukić

*Štampa*

Topalović, Valjevo

Četvrto izdanje

Knjiga je složena  
tipografskim pismima  
*Walbaum i Industria*

ISBN: 978-86-6024-096-7

Smederevo, 2023.

[www.heliks.rs](http://www.heliks.rs)

# SADRŽAJ

<i>Predgovor</i>	vii
<i>Zahvalnice</i>	xv
<b>Deo I: Prva klasa nemogućeg</b>	
1. Polja sile	3
2. Nevidljivost	14
3. Fazeri i zvezde smrti	30
4. Teleportacija	47
5. Telepatija	61
6. Psihokineza	77
7. Roboti	89
8. Vanzemaljci i NLO	108
9. Međuzvezdani brodovi	132
10. Antimaterija i antisvemiri	155
<b>Deo II: Druga klasa nemogućeg</b>	
11. Brže od svetlosti	171
12. Putovanje kroz vreme	187
13. Paralelni univerzumi	198
<b>Deo III: Treća klasa nemogućeg</b>	
14. Perpetuum mobile	221
15. Predviđanje budućnosti	234
Epilog: Budućnost nemogućeg	245
<i>Napomene</i>	263
<i>Literatura</i>	275
<i>Indeks</i>	277



# PREDGOVOR

Ako ideja na prvi pogled ne zvuči  
apsurdno, nema nade za nju.

– ALBERT AJNŠTAJN

Hoćemo li jednog dana moći da prolazimo kroz zidove? Pravimo svemirske brodove koji će putovati brže od svetlosti? Čitamo misli drugih ljudi? Postanemo nevidljivi? Pomeramo predmete snagom svog uma? U trenu prenesemo naša tela kroz svemir? Ta pitanja fascinirala su me još od malih nogu.

Poput mnogih fizičara, kako sam odrastao, opčinjavala me je mogućnost putovanja kroz vreme, pištolji na zrake, polja sila, paralelni svemiri i slične stvari. Magija, fantazija, naučna fantastika bile su gigantsko igralište za moju maštu. Pobudile su moju ljubav prema nemogućem koja će trajati doživotno.

Sećam se da sam gledao reprizu stare televizijske serije *Fleš Gordon*. Svake subote pilepio bih se za televizor, diveći se avanturama Fleša, doktora Zarkova i Dejl Arden i zasenjujućem nizu futurističkih tehnoloških čuda: raketama, štitovima nevidljivosti, pištoljima na zrake i gradovima na nebu. Nisam propustio nijednu epizodu. Taj program otvorio mi je vrata potpuno novog sveta. Ushićivala me je pomisao na putovanje raketom na tuđinsku planetu i istraživanje nepoznatog okruženja. Privučen u orbitu tih fantastičnih pronalazaka, znao sam da mi je sudbina povezana sa čudima nauke nagoveštenim u seriji.

Ispostavilo se da nisam bio sam. Naučna fantastika je pobudila interesovanje za nauku u mnogim zaslužnim naučnicima. Veliki astronom Edvin Habl bio je fasciniran delima Žila Verna. Pročitavši Verneove knjige, Habl je batalio obećavajuću advokatsku karijeru i, protivno

## PREGOVOR

očevim željama, odlučio se za karijeru naučnika. Postao je najveći astronom dvadesetog veka. Karlu Seganu, čuvenom astronomu i autoru najbolje prodavanih knjiga, maštu je potpirio serijal knjiga o Džonu Karтеру Marsovcu pisca Edgara Rajsa Barouza. Sanjao je kako će jednog dana poput Džona Kartera istraživati pesak Marsa.

Bio sam dete kad je umro Albert Ajnštajn, ali sećam se prigušenog tona kojim se govorilo o njegovom životu i smrti. Narednog dana u novinama je osvanula slika njegovog stola na kome je bio rukopis Ajnštajnovog najvećeg, nedovršenog dela. Zapitao sam se šta je to moglo biti toliko važno da ga najveći naučnik našeg vremena ne uspe dovršiti? U članku se tvrdilo da je Ajnštajn imao san koji se nije mogao ostvariti, problem toliko težak da ga nijedan smrtnik ne može rešiti. Godinama sam se trudio da prokljuvim o čemu je bio rukopis: o velikoj, ujedinjujućoj „teoriji svega“. Znajući za taj njegov san – kome je posvetio poslednje tri decenije života – usredsredio sam se na svoju maštu. Želeo sam da na skroman način doprinesem dovršavanju Ajnštajnovog rada, da se zakoni fizike obuhvate jedinstvenom teorijom.

S godinama sam sve više uviđao: iako je Fleš Gordon bio heroj koji uvek osvaja cice, naučnici su bili ti zbog kojih se serija odvijala. Bez doktora Zarkova, ne bi bilo raketnog broda, putovanja na Mongo ni spasavanja Zemlje. Svaka čast herojima, ali bez nauke ne bi bilo naučne fantastike.

Posle izvesnog vremena shvatio sam da su ove priče nemoguće sa aspekta nauke na kojoj su se zasnivale – bile su tek uzleti mašte. Odrastanje je značilo odbacivanje takve fantazije. Rekli su mi da se u stvarnom životu mora odbaciti nemoguće i prihvatiti praktično.

Međutim, shvatio sam da je ključ za održavanje moje fascinacije nemogućim bila fizika. Bez temeljnog poznavanja napredne fizike, zauvek bih samo spekulisao o futurističkim tehnologijama ne razumevajući da li su moguće ili nisu. Shvatio sam da se moram baciti na naprednu matematiku i savladati teorijsku fiziku. Tako sam i uradio.

U srednjoj školi sam, u sklopu projekta za sajam nauke, sastavio razbijač atoma u maminoj garaži. Otišao sam u kompaniju Westinghouse i prikupio oko 200 kilograma čeličnih otpadaka od transformatora. Tokom božićnih praznika omotao sam 55 kilometara dugu bakarnu žicu oko školskog ragbi terena. Rezultat je bio betatronska akcelerator čestica od 2,3 miliona elektron-volti, koji je trošio 6 kilovati električne energije (koliko i čitava moja kuća) i stvarao magnetno polje 20.000 puta jače od Zemljinog. Cilj je bio proizvesti snop gama zraka dovoljno moćan da se napravi antimaterija.



## PREGOVOR

Moj projekat za sajam nauke odveo me je na Nacionalni sajam nauke i, na kraju, omogućio mi je da ostvarim san – dobio sam stipendiju za Harvard gde sam imao priliku da postanem ono što sam želeo, teorijski fizičar i da idem stopama svog uzora, Alberta Ajnštajna.

Danas dobijam elektronske poruke od pisaca naučne fantastike i scenarista u kojima traže pomoć u doradivanju njihovih priča jer se zna da istražujem granice zakona fizike.

### „NEMOGUĆE“ JE RELATIVNO

Kao fizičar, naučio sam da je „nemoguće“ često relativan pojam. Sećam se da je moja učiteljica jednom prišla mapi Zemlje okačenoj na zidu i pokazala na obale Južne Amerike i Afrike. Nije li to čudna slučajnost, zapitala je, što se ove dve obale savršeno uklapaju, gotovo kao parčići slagalice? Rekla je kako neki naučnici smatraju da su ova dva kopna možda nekad bila deo istog, ogromnog kontinenta. Ali to je bilo smešno. Nijedna sila ne bi mogla da razmakne dva kontinenta. To je nemoguće, zaključila je.

Nešto kasnije te godine učili smo o dinosaurusima. Zar nije čudno, pričala je učiteljica, što su dinosaurusi bili najbrojnija životinjska vrsta milionima godina, a onda su jednog dana nestali? Niko ne zna od čega su svi stradali. Neki paleontolozi misle da ih je možda ubio meteor iz svemira, ali to je nemoguće i više pripada domenu naučne fantastike.

Danas nas geotektonika ploča uči da se kontinenti zaista pomeraju i da je pre 65 miliona godina ogromni meteor prečnika oko deset kilometara verovatno istrebio dinosauruse i veliki deo živog sveta na Zemlji. U svom kratkom životnom veku stalno sam vidao kako naizgled nemoguće stvari postaju priznate naučne činjenice. Zašto se, onda, nemogućom smatra pomisao da ćemo negde u budućnosti biti u stanju da se teleportujemo s jednog mesta na drugo ili da napravimo svemirski brod koji će nas jednog dana odvesti do zvezda prevaljujući svetlosne godine?

Današnji fizičari bi takva dostignuća smatrali nemogućim. Možda će postati moguća za nekoliko vekova? Ili za deset hiljada godina, kad naša tehnologija bude savršenija? Ili za milion godina? Drugim rečima – ako bismo se kojim slučajem susreli sa civilizacijom milion godina naprednijom od naše, da li bi nam se njihova svakodnevna tehnologija činila magičnom? Na to se, u suštini, može svesti jedno od

## PREGOVOR

središnjih pitanja razmatrano u ovoj knjizi; da li će, samo zato što je nešto danas nemoguće, to i ostati nemoguće vekovima ili milionima godina u budućnost?

S obzirom na izvanredan napredak u nauci u prošlom veku, posebno u definisanju kvantne teorije i opšte relativnosti, sada je moguće grubo proceniti kada bi se neke od ovih fantastičnih tehnologija mogle realizovati (ako se to uopšte bude desilo). S prilivom naprednijih teorija poput teorije struna, fizičari ponovo razmatraju čak i ideje koje se graniče s naučnom fantastikom kao što je putovanje kroz vreme ili paralelni svemiri. Prisetimo se samo onih tehnoloških dostignuća koja su naučnici pre 150 godina smatrali nemogućim, a koja su danas deo naše svakodnevice. Žil Vern je 1863. godine napisao roman *Pariz u dvadesetom veku*, koji je bačen u neku fioku i zaboravljen više od jednog veka dok ga slučajno nije otkrio njegov praunuk i objavio tek 1994. godine. U toj knjizi Vern je pretpostavio kako će Pariz izgledati 1960. godine. Njegov roman obilovao je tehnologijom koja se izvesno smatrala nemogućom u devetnaestom veku, uključujući faks-mašine, komunikacione mreže svetskih razmera, staklene nebudere, automobile na plin i uzdignute vozove ogromnih brzina.

Ne iznenađuje što je Vern bio u stanju da sroči takva zapanjujuće precizna predviđanja jer beše predan svetu nauke i koristio je dostignuća priznatih naučnika. Duboko je poznao osnove nauke što mu je omogućilo zadivljujuće preciznu moć predviđanja.

Nažalost, neki od najvećih naučnika devetnaestog veka zauzeli su suprotno gledište tvrdeći kako nema nade da će mnoštvo tehnoloških dostignuća biti ostvarivo. Lord Kelvin, možda i najistaknutiji fizičar viktorijanske ere (sahranjen kraj Isaka Njutna u Vestminsterskoj opatiji), izjavio je da je nemoguće napraviti mašine „teže od vazduha“ poput aviona. X-zrake smatrao je prevarom, a za radio je mislio da nema budućnost. Lord Raderford, zaslužan za otkriće atomskog jezgra, odbacio je mogućnost pravljenja atomske bombe, nazvavši tu ideju besmislicom. Hemičari devetnaestog veka proglasili su potragu za Kamenom mudrosti, legendarnom supstancom koja može da pretvara olovo u zlato, naučnom slepom ulicom. Hemija devetnaestog veka zasnivala se na fundamentalnoj nepromenljivosti elemenata, poput olova. Ipak, s akceleratorima čestica u rukama, danas u načelu možemo da pretvaramo atome olova u zlato. Pomislite samo kako bi se televizija, računari i internet činili fantastičnim na prelazu u dvadeseti vek.

## PREGOVOR

Svežiji primer su crne rupe koje su se svojevremeno svrstavale u domen naučne fantastike. Ajnštajn je 1939. godine napisao tekst u kome je dokazao da crne rupe ne bi nikada mogle da se formiraju. Ipak, danas nam Hablov svemirski teleskop i teleskop koji registruje X-zrake Čandra otkrivaju hiljade crnih rupa u svemiru.

Ove tehnologije su proglašavane nemogućim zato što mnogi fundamentalni zakoni fizike i nauke nisu bili poznati u devetnaestom veku i početkom dvadesetog veka. S obzirom na ogromne jazove u razumevanje nauke tog vremena, posebno na atomskom nivou, ne čudi što su se takvi pomaci smatrali nemogućim.

### PROUČAVANJE NEMOGUĆEG

Ironično zvuči, ali ozbiljno proučavanje nemogućeg često je otvaralo vrata ka bogatim i potpuno neočekivanim oblastima nauke. Na primer, frustrirajuća i bezuspešna potraga za *perpetuum mobile* mašinom navela je fizičare na zaključak da je takva mašina nemoguća, primoravši ih da postuliraju održanje energije i tri zakona termodinamike. Tako je jalov trud da se napravi mašina koja bi se beskonačno kretala bez utroška energije doprineo da se otvori novo polje termodinamike na kome se delom temelji otkriće parne mašine, era mašina i moderno industrijsko doba.

Pred kraj devetnaestog veka naučnici su odlučili da je nemoguće da je Zemlja stara milijardama godina. Lord Kelvin je izričito tvrdio da bi se Zemlja u tečnom stanju ohladila za 20 do 40 miliona godina, suprotstavljajući se geozozima i biolozima darvinistima koji su govorili da bi Zemlja mogla biti stara više milijardi godina. Tek kada su madam Kiri i drugi otkrili nuklearnu silu pokazalo se kako je središte Zemlje, zagrejano usled radioaktivnih raspada, zaista moglo da opstane u tečnom stanju milijardama godina i potvrdilo da je nemoguće zapravo moguće.

Ignorišemo nemoguće na sopstvenu štetu. Dvadesetih i tridesetih godina prošlog veka Robert Godard, osnivač moderne raketne nauke, bio je izložen žestokim kritikama onih koji su smatrali da te rakete nikada neće moći da putuju u svemiru. Njegovo istraživanje sarkastično su nazivali Godardovom ludorijom. Godine 1921, urednici *New York Timesa* silno su kritikovali rad doktora Godarda: „Profesor Godard ne zna odnos između akcije i reakcije i mora da nađe nešto bolje od vakuuma za svoju reakciju. Izgleda da mu nedostaje osnovno srednjoškolsko

## PREGOVOR

znanje.“ Rakeete su bile nemoguće, brećnuli su se urednici, jer u svemiru nije bilo vazduha od kog su mogle da se otiskuju. Nažalost, jedan šef države je uviđao implikacije Godardove nemoguće rakete – Adolf Hitler. Tokom Drugog svetskog rata baraj nezamislivo naprednih nemačkih V-2 raketa sejao je smrt i razaranje po Londonu, umalo ga bacivši na kolena.

Proučavanje nemogućeg možda je promenilo tok svetske istorije. Tridesetih godina prošlog veka rasprostranjeno je bilo mišljenje koje je čak i Ajnštajn zagovarao, da je atomska bomba nemoguća. Fizičari su znali da je unutar jezgra atoma zaključana ogromna količina energije kao što predviđa Ajnštajnova jednačina  $E = mc^2$ , ali energija koju oslobodi jedno jezgro bila je previše beznačajna da bi se razmišljalo o njoj. Atomski fizičar Leo Silard se priseća da je čitao roman *Oslobođeni svet* (*The World Set Free*) H. Dž. Velsa iz 1914. godine, u kome pisac predviđa otkriće atomske bombe. U knjizi navodi da će tajnu atomske bombe 1933. godine otkriti jedan fizičar. Silard je slučajno nabasao na ovu knjigu 1932. Nadahnut romanom, on je 1933. godine, upravo kao što je Vels predvideo dve decenije ranije, došao na ideju da uveća moć jednog atoma pomoću lančane reakcije, čime bi energija cepanja jezgra jednog atoma uranijuma mogla da se umnoži mnogo biliona puta. Silard je potom pokrenuo niz presudno važnih eksperimenata i tajne pregovore između Ajnštajna i predsednika Frenklina Ruzvelta – ishod će biti projekat Menhetn, odnosno konstruisanje atomske bombe.

Koliko li smo samo puta videli kako proučavanje nemogućeg otvara potpuno nove puteve, pomerajući granice fizike i hemije i primoravajući naučnike da preinače značenje reči *nemoguće*. Ser Vilijam Osler jednom rekao: „Filozofije jednog doba postaju apsurdnosti u narednom dobu, i ono što je juče važno za glupost, postalo je mudrost u sutrašnjici.“

Mnogi fizičari se drže čuvenog principa T. H. Vajta iz njegove knjige *The Once and Future King*: „Sve što nije zabranjeno, obavezno je!“ To se neprestano potvrđuje u fizici. Ako zakoni fizike ne zabranjuju izričito neki fenomen, na kraju ćemo ipak otkriti da postoji. (To se desilo više puta prilikom potrage za novim subatomske česticama. Istražujući granice zabranjenog, fizičari su često neočekivano otkrivali nove zakone fizike.) Zaključak koji proizlazi iz izjave T. H. Vajta mogao bi glasiti: „Sve što nije nemoguće, obavezno je!“

Na primer, kosmolog Stiven Hoking je pokušao da dokaže kako je putovanje kroz vreme nemoguće tako što je otkrio nove zakone fizike prema kojima takvo kretanje ne bi bilo moguće. Te zakone nazvao je

## PREGOVOR

pretpostavka o zaštiti hronologije. Nažalost, posle mnogo godina ogromnog truda nije uspeo da dokaže ovaj princip. Zapravo, fizičari su, sasvim suprotno tome, pokazali da zakon koji sprečava putovanje kroz vreme prevazilazi matematiku današnjice. Pošto se za sada nijedan zakon fizike ne protivi postojanju vremeplova, fizičari su morali vrlo ozbiljno da pristupe mogućnosti putovanja kroz vreme.

Svrha ove knjige je da se razmotri koje bi to tehnologije danas smatrane nemogućim mogle postati uobičajene za nekoliko decenija ili vekova.

Jedna od tih nemogućih tehnologija već se pokazuje mogućom: teleportacija (barem na nivou atoma). Fizičari su čak i do pre nekoliko godina govorili da slanje objekta s jednog na drugo mesto putem zraka narušava zakone kvantne fizike. Autori prvog serijala *Zvezdane staze* su, zapravo, bili toliko preplavljeni kritikama fizičara da su uveli Hajzenbergove kompenzatore kako bi ispravili taj nedostatak svojih teleportera. Nedavni pomaci omogućavaju savremenim fizičarima da teleportuju atome s jednog na drugi kraj prostorije ili fotone ispod Dunava.

## PREDVIĐANJE BUDUĆNOSTI

Uvek je pomalo opasno predviđati, posebno ako se govori o budućnosti: dalekoj vekovima ili hiljadama godina. Fizičar Nils Bor je voleo da kaže: „Teško je predviđati. Naročito o budućnosti.“ Ali postoji suštinska razlika između doba Žila Verna i sadašnjosti. Danas se fundamentalni zakoni fizike u osnovi razumeju. Fizičari razumeju osnovne zakone u opsegu od zadivljujuća četrdeset tri reda veličine – od unutrašnjosti protona sve do svemira koji se širi. Zato fizičari mogu sa opravdanim samopouzdanjem u grubim crtama predvideti tehnologiju budućnosti, i bolje razdvojiti tehnologije koje su samo neverovatne od onih nemogućih.

Zato nemoguće stvari u ovoj knjizi delim u tri kategorije.

Prva kategorija je ono što nazivam *I klasa nemogućeg*. Te tehnologije nemoguće su danas, ali ne krše nijedan poznat zakon fizike. Dake, mogle bi biti moguće u ovom veku, ili, možda u narednom, u izmenjenom obliku. U njih spadaju teleportacija, motori na antimateriju, izvesni oblici telepatije, psihokineza i nevidljivost.

Druga kategorija su pojave iz *II klase nemogućeg*. One obitavaju na samoj ivici našeg razumevanja fizičkog sveta. Ako se uopšte moguće, možda bi se mogle realizovati za hiljade ili milione godina. U njih

## PREDGOVOR

spadaju vremenske mašine, mogućnost putovanja u hipersvemir i putovanje kroz crvotočine.

Poslednja kategorija je ono što nazivam *III klasa nemogućeg*. To su tehnologije koje se kose s poznatim zakonima fizike. Iznenadujuće je da postoji samo nekoliko takvih nemogućih tehnologija. Ako se ispostavi da su moguće, predstavljale bi fundamentalni pomak u našem poznavanju fizike.

Čini mi se da je ova klasifikacija značajna jer naučnici odbacuju brojne tehnologije iz naučne fantastike proglašavajući ih potpuno nemogućim, a zapravo misle da su nemoguće za ovako primitivnu civilizaciju kakva je naša. Na primer, dolasci vanzemaljaca se obično smatraju nemogućim zbog ogromnih udaljenosti između zvezda. Iako je jasno da je međuzvezdano putovanje za našu civilizaciju nemoguće, možda je moguće za civilizaciju vekovima, hiljadama ili milionima godina ispred nas. Zato je važno klasifikovati takve nemoguće stvari. Tehnologije nemoguće našoj civilizaciji danas nisu nužno nemoguće ostalim tipovima civilizacija. Prilikom zaključivanja o tome šta je moguće, a šta nemoguće, neophodno je u obzir uzeti tehnologije hiljadama do milionima godina ispred naših.

Karl Segan je jednom napisao: „Šta znači za jednu civilizaciju to što je stara milion godina? Radio-teleskope i svemirske brodove imamo već nekoliko decenija; naša tehnička civilizacija stara je tek koju stotinu godina... napredna civilizacija stara milionima godina ispred nas je koliko i mi ispred galaga ili makaki majmuna.“

U istraživanjima, profesionalno sam fokusiran na pokušaje da ispunim Ajnštajnov san o teoriji svega. Razgaljuje me rad na konačnoj teoriji koja bi mogla dati konačan odgovor na neka od najtežih nemogućih pitanja današnje nauke, recimo da li je moguće putovanje kroz vreme, šta se krije u središtu crne rupe, ili šta se desilo pre Velikog praska. I dalje budan sanjarim o doživotnoj ljubavi s nemogućim, pitajući se kada i da li će neke od tih nemogućih stvari preći u domen svakodnevice.

# ZAHVALNICE

Materija u ovoj knjizi obuhvata brojne oblasti i discipline i rad mnogih izvrsnih naučnika. Zahvaljujem narednim pojedincima koji su mi velikodušno posvetili vreme za duge intervjuje, konsultacije i zanimljive, nadahnjujuće razgovore:

Leon Lederman, dobitnik Nobelove nagrade, Tehnološki institut  
Ilinojisa

Mari Gel-Man, dobitnik Nobelove nagrade, Institut Santa Fe i  
Kalifornijski tehnološki institut

Henri Kendal, dobitnik Nobelove nagrade, Masačusetski tehnološki  
institut

Stiven Vajnberg, dobitnik Nobelove nagrade, Teksaški univerzitet u  
Ostinu

Dejvid Gros, dobitnik Nobelove nagrade, Kavlijev institut za teorijsku  
fiziku

Frenk Vilcek, dobitnik Nobelove nagrade, Masačusetski tehnološki  
institut

Jozef Rotblat, dobitnik Nobelove nagrade, Bolnica Svetog Bartolomeja  
Volter Gilbert, dobitnik Nobelove nagrade, Univerzitet Harvard

Džerald Edelman, dobitnik Nobelove nagrade, Skripsov istraživački  
institut

Piter Doerti, dobitnik Nobelove nagrade, Dečja istraživačka bolnica  
Sent Džud

Džared Dajmond, dobitnik Pulicerove nagrade, Kalifornijski  
univerzitet u Los Anđelesu

Sten Li, osnivač kompanije Marvel Comics i tvorac Spajdermena

Brajan Grin, Univerzitet u Kolumbiji, autor knjige Elegantni kosmos

## PREDGOVOR

Liza Rendal, Univerzitet Harvard, autor knjige *Warped Passages*  
(*Zakrivljeni prolazi*)

Lorens Kraus, Univerzitet u Kejs Vesternu, autor knjige *The Physics*  
*of Star Trek* (*Fizika Zvezdanih staza*)

Dž. Ričard Got III, Univerzitet u Prinstonu, autor knjige *Time Travel*  
*in Einstein's Universe* (*Putovanje kroz vreme u Ajnštajnovom*  
*kosmosu*)

Alan Gut, fizičar, Masačusetski tehnološki institut, autor knjige *The*  
*Inflationary Universe* (*Inflatorni svemir*)



Deo I

---

PRVA KLASA NEMOGUĆEG



# 1 POLJA SILE

---

I Kada istaknuti, ali stariji naučnik izjavi da je nešto moguće, gotovo izvesno je u pravu. Kada izjavi da je nešto nemoguće, vrlo verovatno greši.

II Jedini način da otkrijemo granice mogućeg jeste da se usudimo da ih prekoračimo i zađemo u nemoguće.

III Svaka dovoljno napredna tehnologija ne može se razlikovati od magije.

– TRI ZAKONA ARTURA KLARKA

„Aktivirajte štitove!“

U nebrojeno mnogo epizoda *Zvezdanih staza* ovo je prvo naređenje koje izdaje kapetan Kirk, nalažući podizanje štitova sile da bi se svemirski brod *Enterprajz* zaštitio od neprijateljske vatre.

Toliko su štitovi sile presudni u *Zvezdanim stazama* da se tok bitke može određivati po postotku preostalog polja sile. Kad god polje sile oslabi, šasija *Enterprajza* trpi više razornih udaraca dok predaja ne postane neizbežna.

Šta je, zapravo, polje sile? U naučnoj fantastici odgovor je obmanjujuće jednostavan: tanka, nevidljiva, a ipak neprobojna barijera koja odvraća i lasere i rakete. Na prvi pogled, polje sile izgleda toliko jednostavno da se čini kako će se uskoro koristiti za štitove u borbama. Očekivalo bi se da neki preduzimljivi pronalazač za koji dan obznani otkriće odbrambenog polja sile. Ali istina je mnogo složenija.

Na isti način na koji je Edisonova sijalica iznela revoluciju moderne civilizacije, polje sile bi duboko uticalo na svaki aspekt naših života. Voj-ska bi mogla koristiti polja sile da postane neranjiva, praveći neprobojne

štitove protiv neprijateljskih projektila i metaka. Mostovi, super-auto-putevi i ulice bi se teorijski mogli graditi jednostavnim pritiskom na dugme. Čitavi gradovi mogli bi u trenu nicati usred pustinja, s neborderima potpuno načinjenim od polja sile. Podignuta nad gradovima, polja sile bi mogla omogućiti žiteljima da po nahodanju prilagođavaju klimatske uticaje – jake vetrove, mećave, tornada. Gradovi bi se mogli podizati na dnu okeana pod bezbednim svodom polja sile. Staklo, čelik i malter bi se potpuno mogli izbaciti iz upotrebe.

Ipak, ma koliko to čudno zvučalo, polje sile je možda jedan od mehanizama koje je najteže napraviti u laboratoriji. Zapravo, neki fizičari smatraju da ga je možda i nemoguće napraviti bez izmene njegovih svojstava.

## MAJKL FARADEJ

Ideja o polju sile ima korene u radu Majkla Faradeja, velikog britanskog naučnika devetnaestog veka.

Faradej je rođen u radničkoj porodici (otac mu je bio kovač). Početkom devetnaestog veka spajao je kraj s krajem šegrtujući kod knjigovesca. Mladi Faradej bio je opčinjen silnim ključnim pomacima u otkrivanju tajnovitih svojstava dveju novih sila: električne i magnetne. Gutao je sve što je dohvatio o tim temama i pohađao predavanja profesora Hamfrija Dejvija na Kraljevskom istraživačkom institutu u Londonu.

Radeći s hemikalijama, profesor Dejvi je jednog dana ozbiljno povredio oči pa je uzeo Faradeja za asistenta. Faradej je polako zadobijao poverenje naučnika u Kraljevskoj instituciji i dobio je dozvolu da sam izvodi važne eksperimente, iako su ga često omalovažavali. Tokom godina profesor Dejvi je sve više zavideo svom briljantnom mladom asistentu, zvezdi u usponu u krugovima eksperimentatora koja je najzad zasenila Dejvijevu slavu. Dejvi je umro 1829. godine i od tada je Faradej imao odrešene ruke da se pozabavi stvaranjem generatora koji će napajati energijom čitave gradove i izmeniti tok istorije naše civilizacije, i tu je izuzetno napredovao.

Ključno u Faradejevim najvećim otkrićima bila su njegova polja sile. Ako se gvozdeni opiljci postave nad magnetom, rasporediće se u obrise nalik paukovoj mreži po čitavom prostoru. To su Faradejeve linije sile koje grafički prikazuju kako polja električne i magnetne sile prožimaju prostor. Na primer, ako bismo grafički prikazali magnetno polje Zemlje,

linije bi izvirale iz oblasti Severnog pola i ulivale bi se u južnu polarnu oblast Zemlje. Slično tome, ako bismo crtali linije električnog polja gromobrana usred oluje s grmljavinom, linije sile bi bile zbijene na vrhu gromobrana. Faradej je smatrao da prazan prostor uopšte nije prazan, već ispunjen linijama sile koje mogu da pokreću udaljene objekte. (Faradej, budući iz siromašne porodice, nije stekao matematičko obrazovanje, te njegove beležnice nisu pune jednačina već rukom crtanih grafika ovih linija sile. Ironično, ali upravo zato što nije dovoljno znao matematiku morao je da crta predivne grafike linija sile; sada su u svim udžbenicima iz fizike. Fizička slika neke pojave u nauci je često važnija od matematičkih formula kojima se ta pojava opisuje.)

Istoričari su spekulisali o tome šta je Faradeja navelo na otkriće polja sile, jedne od najvažnijih ideja u čitavoj nauci. Jezikom Faradejevih polja ispisana je *sva moderna fizika*. Godine 1831, načinio je ključni pomak u vezi s poljima sile kojim je nepovratno izmenio civilizaciju. Jednom je pomerio dečji magnet nad kalemom žice i primetio kako je u stanju da generiše električnu struju u žici, ne dodirujući je. To je značilo da nevidljivo polje magneta može da pogura elektrone u žici preko praznog prostora, stvarajući struju. Faradejeva polja sile koja su se do tada smatrala beskorisnim, zaludnim žvrljotinama, bile su stvarne, materijalne sile koje su mogle da pomeraju objekte i generišu snagu. Svetlost pod kojom čitate ovu stranicu verovatno je proizvedena zahvaljujući Faradejevom otkriću o elektromagnetizmu.

Magnet koji se obrće oko svoje ose stvara polje sile koje gura elektrone u žici, a njihovim kretanjem generiše se električna struja. Elektricitet u žici se može iskoristiti da sijalica zasvetli. Na istom principu generiše se struja za napajanje električnom energijom gradova širom sveta. Primera radi, voda koja teče preko brane izaziva obrtanje ogromnog magneta u turbini, koji potom gura elektrone u žice, generišući električnu struju što se šalje preko visokovoltaznih žica u naše domove.

Drugim rečima, Faradejeva polja sile jesu sile koje pokreću modernu civilizaciju – od električnih buldožera do današnjih računara, interneta i iPodova.

Faradejeva polja sile bila su inspiracija fizičarima preko vek i po. Ajnštajna su toliko nadahnula da je svoju teoriju gravitacije napisao oslanjajući se na polja sile. I mene je inspirisao Faradejev rad. Pre mnogo godina uspešno sam napisao teoriju struna preko Faradejevih polja sile, osnovavši teoriju polja struna. Među fizičarima važi da je onaj kome se kaže da „misli kao linija sile“ dobio veliki

kompliment. Jedno od najvećih dostignuća na planu fizike u protekle dve hiljade godina bilo je izdvajanje i identifikovanje četiri sile koje vladaju kosmosom. Sve se mogu opisati jezikom polja koji je uveo Faradej. Nažalost, nijedna nema svojstva polja sile opisana u većem delu naučne fantastike.

Ove sile su:

1. *Gravitacija*, tiha sila koja nam priljubljuje stopala uz tlo, sprečava da se Zemlja i zvezde raspadnu i drži na okupu Sunčev sistem i galaksiju. Bez gravitacije, Zemlja bi nas, u obrtanju oko svoje ose, zbacila sa sebe u svemir brzinom od 1.600 kilometara na sat. Problem je u tome što gravitacija ima upravo suprotna svojstva polja sile od onih na koje nailazimo u naučnoj fantastici. Gravitacija je privlačna a ne odbojna sila, relativno posmatrano, izuzetno je slaba, i uticaj joj se prostire preko ogromnih, astronomskih udaljenosti. Drugim rečima, gotovo je potpuna suprotnost ravnoj, tankoj, neprobojnoj barijeri koja se pominje u naučnoj fantastici ili se može videti u naučnofantastičnim filmovima. Na primer, čitava planeta Zemlja deluje na pero kada ono pada na pod, ali dovoljno je da ga podignemo prstom, pa da poništimo uticaj Zemljine gravitacije. Akcija našeg prsta može da poništi gravitaciju cele planete teške preko bilion biliona kilograma.

2. *Elektromagnetizam* (EM), sila koja je za zaslužna za osvetljenje u našim gradovima. Laseri, radio, televizija, moderni elektronski uređaji, računari, internet, struja, magnetizam – sve to postoji zahvaljujući elektromagnetnoj sili. Možda je reč i o najkorisnijoj sili koju je čovek do sada ukrotio. Za razliku od gravitacije, može biti i privlačna i odbojna. Međutim, nije pogodna za polje sile iz više razloga. Pre svega, lako ju je poništiti. Na primer, plastika i drugi izolatori mogu lako da prodru kroz moćno električno ili magnetno polje. Parče plastike bačeno u magnetno polje prošlo bi ravno kroz njega. Osim toga, elektromagnetizam deluje na velikim udaljenostima i ne može se lako fokusirati na ravan. Zakone elektromagnetne sile opisuju jednačine Džejsma Klarka Maksvela; u njima, po svemu sudeći, polja sile nisu rešenje.

## POLJA SILE

3. i 4. *Slaba i jaka nuklearna sila.* Slaba sila je sila radioaktivnog raspada. Zagreva središte Zemlje koje je radioaktivno. Ova sila pokreće vulkane, zemljotrese i pomeranje kontinenata. Jaka sila održava celovitost jezgra atoma. Energija Sunca i zvezda izvire iz nuklearne sile odgovorne za osvetljavanje kosmosa. Problem je u tome što nuklearna sila ima mali domet i uglavnom deluje u razmerama jezgra. Pošto je toliko vezana za svojstva jezgra, izuzetno je teško upravljati njome. Trenutno je možemo kontrolisati samo preko razbijanja subatomske čestice u ciklotronima ili aktiviranjem atomskih bombi.

Iako polja sile iz naučne fantastike možda nisu u skladu sa zakonima fizike, postoje rupe koje bi mogle da omogućе stvaranje takvih polja sile. Pre svega, moguće je da postoji peta sila, još uvek neopažena u laboratorijama. Takva sila bi, na primer, mogla da deluje na razdaljinama od desetak do tridesetak centimetara, umesto na astronomskim udaljenostima. (Međutim, rezultati prvih pokušaja da se izmeri takva peta sila su negativni.)

Možda bi se neka svojstva polja sile mogla podražavati pomoću plazme. Plazma je četvrto agregatno stanje. Čvrsto, tečno i gasovito agregatno stanje materije dobro su nam poznati, ali najčešći oblik materije u svemiru je plazma, gas koji se sastoji od jonizovanih atoma. Pošto su atomi plazme razdvojeni, s elektronima otkinutim s atoma, atomi su naelektrisani i njima se lako može upravljati pomoću električnog i magnetnog polja. Plazma je najrasprostranjenije stanje vidljive materije u svemiru: to je oblik materije koja sačinjava Sunce, zvezde i međuzvezdani gas.

Plazmu slabo poznajemo jer se retko nalazi na Zemlji, ali možete je opaziti u vidu električnih lukova, kao Sunce te u svom plazma-televizoru.

### PROZORI PLAZME

Već je navedeno da se gas, ugrijan do dovoljno visoke temperature tako da formira plazmu, može uobličiti pomoću magnetnog i električnog polja. Na primer, može se uobličiti u ravan ili u prozor. Povrh toga, ovaj prozor plazme može se upotrebiti za razdvajanje vakuuma i običnog

vazduha. U načelu, prozor plazme mogao bi da sprečava oticanje vazduha iz svemirskog broda u svemir, stvarajući pogodan, providan interfejs između spoljnog svemira i svemirskog broda.

U televizijskoj seriji *Zvezdane staze* takvo polje sile deli lansirnu rampu s malom letelicom i vakuum od spoljnog svemira. To ne samo da je domišljat način da se uštedi na rekvizitima, već je ovaj mehanizam moguć.

Godine 1995. u Brukhejvenskoj nacionalnoj laboratoriji u Long Ajlendu u Njujorku fizičar Ejdi Herškovič otkrio je prozor plazme. Prozor plazme osmislio je da bi rešio problem pri lemljenju dva metala pomoću elektronskog snopa. Zavarivačeva acetilenska lampa topi i potom spaja dva komada metala pomoću udara vrelog gasa. Ali elektronski snop topi metale brže, čistije i jeftinije nego uobičajene metode. Međutim, takvo lemljenje pomoću elektronskog snopa mora se obavljati u vakuumu. To je prilično nezgodno, jer se mora napraviti vakuumska kutija velika kao cela soba.

Doktor Herškovič je izmislio prozor plazme da bi rešio ovaj problem. Visok samo devedeset centimetara, a širok trideset, prozor plazme zagreva gas na 6.650 stepeni Celzijusa, proizvodeći plazmu uhvaćenu u električno i magnetno polje. Kao u svakom gasu, čestice plazme stvaraju pritisak koji sprečava da vazduh poteče u vakuumsku komoru, te se na taj način vazduh razdvaja od vakuuma. (Kada se u prozoru plazme koristi gas argon, prozor postaje plav poput polja sile u *Zvezdanim stazama*.)

Prozor plazme široko se primenjuje u svemirskim putovanjima i u industriji. Često je u proizvodnim procesima neophodan vakuum radi mikroproizvodnje i suvog nagrizanja za industrijske namene, ali rad u vakuumu može biti skup. Prozor plazme omogućava da jeftino dobijete vakuum – samo pritisnite dugme.

Može li se prozor plazme koristiti i kao neprobojni štiti? Može li da odoli topovskoj paljbi? Mogli bismo zamisliti da će u budućnosti postojati prozori plazme mnogo veće moći i temperature, u stanju da oštete ili pretvore u paru neprijateljske projekte. Ali da se napravi realističnije polje sile kakvo nam je poznato iz naučne fantastike, neophodna je kombinacija više tehnologija izvedenih u slojevima. Možda svaki sloj ponaosob ne bi bio dovoljno jak da zaustavi topovsko đule, ali bi njihova kombinacija bila dovoljna.

Spoljni sloj bi mogao biti supernaelektrisan prozor plazme, zagrejan do temperature na kojoj metali isparavaju. Drugi sloj: zavesa od više



hiljada ukrštenih visokoenergetskih laserskih zraka čija bi funkcija bila zagrevanje objekata koji prolaze kroz zavesu do tačke njihovog isparavanja. O laserima ću detaljnije u narednom poglavlju.

Iza ove laserske zavese mogla bi se naći rešetka od ugljeničnih nanocevi, majušnih cevi napravljenih od pojedinačnih atoma ugljenika debljine jednog atoma i mnogostruko jačih od čelika. Za sada je načinjena ugljenična nanocev od 15 milimetara, no jednog dana možda ćemo biti u stanju da pravimo ugljenične nanocevi proizvoljne dužine. Pod pretpostavkom da se ugljenične nanocevi mogu uplesti u rešetku, mogao bi se načiniti ekran izuzetne snage koji odbija većinu objekata. Ekran bi bio nevidljiv zahvaljujući atomskim razmerama nanocevi, ali rešetka od ugljeničnih nanocevi bila bi jača od svakog uobičajenog materijala.

Dakle, mogli bismo da zamislimo nevidljivi zid, gotovo neprobojan, kao kombinaciju prozora plazme, laserske zavese i ekrana od ugljeničnih nanocevi.

Ipak, ni ovaj višeslojni štiti ne bi imao sva svojstva polja sile iz naučne fantastike: bio bi providan, te ne bi mogao da zaustavi laserski zrak. U borbi s laserskim topovima, višeslojni štiti bio bi beskoristan.

Da bi zaustavio laserski zrak, štiti bi morao da bude opremljen i naprednim oblikom fotohromatika. Oni se koriste u proizvodnji naočara za sunce i omogućavaju da se naočare same zatamne kada su izložene ultraljubičastom zračenju. Fotohromatici se zasnivaju na molekulima koji mogu da postoje u najmanje dva stanja. U jednom stanju, molekuli su transparentni, ali pod uticajem ultraljubičastog zračenja trenutno prelaze u drugi oblik u kome su neprozirni.

Možda ćemo jednog dana pomoću nanotehnologije da proizvodimo supstance čvrste kao ugljenične nanocevi koje mogu da menjaju svoja optička svojstva kad se izlože laserskoj svetlosti. Takav štiti bi zaustavljao i lasersku paljbu i snopove čestica ili topovsku vatru. Međutim, fotohromatici koji mogu da zaustavljaju laserske zrake za sada ne postoje.

### MAGNETNA LEVITACIJA

U naučnoj fantastici, polja sile imaju još jednu namenu pored odbijanja paljbe zračnih pištolja: služe kao platforma za opiranje gravitaciji. U filmu *Povratak u budućnost*, Majkl Dž. Foks vozi lebdeći skejtbord sličan po svemu običnom skejtbordu osim po tome što lebdi nad ulicom.

Prema važećim zakonima fizike ne može postojati takav antigravitacioni uređaj (kao što ćemo videti u poglavlju 10). Ali napredne verzije lebdećih skejtborda sa magnetima i lebdeći automobili mogli bi preći u domen realnog u budućnosti, omogućavajući nam da po želji doveđemo velike objekte u stanje levitacije. Postanu li superprovodnici na sobnoj temperaturi realnost, objekti bi mogli po našem nahođenju lebdeti pomoću polja magnetne sile.

Postavimo li dve magnetne šipke severnim polovima okrenute jedna spram druge, odbijaće se. (Ukoliko zarotiramo jedan magnet tako da mu južni pol bude blizu severnog pola drugog magneta, privlačiće se.) Isti princip – severni polovi se međusobno odbijaju – može se primeniti i za podizanje preteških objekata s tla. Vozovi koji se kreću po principu magnetne levitacije, takozvani *maglev* vozovi, već se prave u nekoliko zemalja, i oni će lebdeti neposredno iznad šina pomoću običnih magneta. Pošto nema trenja, mogu da ostvare rekordne brzine lebdeći nad vazдушnim jastucima.

Prvi komercijalni automatizovani maglev sistem pušten je u pogon u Velikoj Britaniji 1984. godine, na liniji od Birmingemskog međunarodnog aerodroma do Birmingemske međunarodne železničke stanice. Maglev vozovi se koriste u Nemačkoj, Japanu i Koreji, premda većina nije dizajnirana za velike brzine. Prvi komercijalni maglev voz koji ostvaruje velike brzine ide na oglednoj liniji u Šangaju. Ovaj voz dostiže brzinu od 430 kilometara na sat. Japanski maglev voz u prefekturi Jamanaši ostvario je brzinu od 580 kilometara na sat, što je brže od uobičajenih vozova s točkovima.

Ali ovi maglev mehanizmi su izuzetno skupi. Jedan od načina da se poboljša efikasnost jeste primena superprovodnika, koji na temperaturama bliskim apsolutnoj nuli gubi električnu otpornost. Superprovodljivost je otkrio Hajke Ones, 1911. godine. Određeni materijali sasvim gube električnu otpornost kada se ohlade do 20 stepeni Kelvina iznad apsolutne nule. Većina metala otpornost gubi postepeno, usled hlađenja. (Zato što nasumične vibracije atoma ometaju tok elektrona u žici. Snižavanjem temperature, ova nasumična kretanja se svode na manju meru, te je otpor struji manji.) Ali Ones je na svoje iznenađenje otkrio da otpornost određenih materijala naglo pada na nulu na kritičnoj temperaturi.

Fizičari su odmah uvideli važnost ovog rezultata. Veliki deo električne energije gubi se prilikom prenosa putem dalekovoda na velike udaljenosti. Ali, ako bi se otklonio sav otpor, električna energija bi mogla da

se prenosi gotovo bez ikakvih gubitaka. Zapravo, struja pokrenuta u namotaju žice nastavila bi da cirkuliše milionima godina bez ikakvog gubitka energije. Povrh toga, te izvanredno jake struje omogućile bi da se uz malo truda prave izuzetno moćni magneti. S takvim magnetima na raspolaganju, lako bismo podizali ogromne terete.

Uprkos svim ovih čudesnim moćima, superprovodljivost ima jedan nedostatak: veoma je skupo potapati velike magnete u bazene sa superohlađenom tečnošću. Da bi se tečnost održavala u superohlađenom stanju potrebne su fabrike za hlađenje, i zato su magneti na bazi superprovodljivosti nedopustivo skupi.

Ali fizičari bi jednog dana mogli da budu u stanju da prave superprovodnike na sobnoj temperaturi, što je Sveti gral svih koji se bave fizikom čvrstog stanja. Pronalazak superprovodnika na sobnoj temperaturi u laboratoriji pokrenuo bi drugu industrijsku revoluciju. Moćna magnetna polja pomoću kojih bi se od zemlje odizali automobili i vozovi postala bi toliko jeftina, da bi lebdeći automobili postali isplativi. S poluprovodnicima na sobnoj temperaturi, fantastična leteća kola iz filmova *Povratak u budućnost*, *Manjinski izveštaj* i *Zvezdani ratovi* mogla bi postati realnost.

U načelu, mogli bismo da opašemo pojas od superprovodnih magneta i bez ikakvog napora zalebdimo nad tlom. S takvim pojasom leteli bismo poput Supermena. Superprovodnici na sobnoj temperaturi toliko su imponantni da se javljaju u brojnim naučnofantastičnim romanima (recimo, u *Prstenu* Larija Nivena, iz 1970. godine).

Decenijama su fizičari bezuspešno tragali za superprovodnicima na sobnoj temperaturi. Taj iscrpljujući posao svodio se na testiranje materijala jednog za drugim bez odviše preciznog plana. Ali 1986. godine otkrivena je nova klasa materijala nazvanih superprovodnici na visokoj temperaturi. Ovi materijali koji superprovodna svojstva stiču na temperaturi od otprilike 90 stepeni Kelvina iznad apsolutne nule (90 K) bili su prava senzacija u svetu fizike. Činilo se da su se otvorila vrata brane. Mesec za mesecom, fizičari su preticali jedan drugog u obaranju svetskog rekorda za superprovodnike. U jednom trenutku činilo se da će se superprovodnici na sobnoj temperaturi preseliti sa stranica naučnofantastičnih romana u naše domove. Ali posle nekoliko godina vrtoglavog napretka, istraživanja u oblasti superprovodnika na visokim temperaturama počela su da se usporavaju.

Aktuelni rekord među superprovodnicima na visokim temperaturama drži živin talijum-barijum-kalcijum-bakar-oksidi koji superprovodna

svojstva stiže na temperaturi 138 K (–135 stepeni Celzijusa). Ova relativno visoka temperatura i dalje je prilično daleko od sobne temperature. Ali ovaj rekord od 138 K ipak je veoma važan. Azot prelazi u tečno stanje na temperaturi 77 K, a tečni azot košta otprilike koliko i obično mleko. Zato bi se pomoću tečnog azota ovi superprovodnici na visokim temperaturama mogli hladiti prilično jeftino. (Naravno, superprovodnici na sobnoj temperaturi ne bi ni morali da se hlade.)

I možda će nam se obrazi zacrveneti od stida, ali trenutno nemamo teorijsko objašnjenje svojstava ovih superprovodnika na visokim temperaturama. Zapravo, preduzumljivog fizičara koji bude u stanju da objasni superprovodljivost na visokim temperaturama čeka Nobelova nagrada. (Ovi superprovodnici na visokim temperaturama sačinjeni su od atoma uređenih u zasebne slojeve. Mnogi fizičari spekulišu da u tako slojevitim keramičkim materijalima elektroni slobodno struje u okviru svakog sloja, stvarajući poluprovodnik. Ali kako se tačno to ostvaruje, još uvek je nejasno.)

Zbog manjkavog znanja, fizičari nažalost moraju da pribegavaju procedurama nagađanja u potrazi za novim superprovodnicima na visokim temperaturama. To znači da bi se čuveni superprovodnici na sobnoj temperaturi mogli otkriti sutra, sledeće godine ili nikada. Niko ne zna hoće li se takav materijal ikada naći i kad bi to bilo.

Ali ako superprovodnici na sobnoj temperaturi budu otkriveni, mogla bi se pokrenuti plima komercijalnih primena. Magnetna polja milion puta moćnija od magnetnog polja Zemlje (čija je jačina 0,5 gausa) mogla bi postati uobičajena.

Jedno od uobičajenih svojstava superprovodljivosti jeste Majsnerov efekat. Ako postavite magnet nad superprovodnik, magnet će lebdeti kao da ga drži nevidljiva sila. Majsnerov efekat se objašnjava time što magnet daje efekat stvaranja drugog magneta, kao preslikanog u ogledalu, unutar superprovodnika, tako da se prvi i preslikani magnet odbijaju. Ovo se može posmatrati i na drugi način: magnetna polja ne mogu da prodru u superprovodnik nego bivaju odbijena. Dakle, ako se iznad superprovodnika drži magnet, superprovodnik će odbiti njegove linije sile, i te linije će potisnuti magnet nagore zbog čega će on lebdeti.

Uz Majsnerov efekat možemo zamisliti budućnost u kojoj se autoputevi prave od specijalne keramike. S magnetima na našim pojasevima ili na našim gumama mogli bismo magično da odlebdimo do svog odredišta, bez ikakvog trenja ili gubitka energije.

## POLJA SILE

Majsnerov efekat se javlja samo kod magnetnih materijala – na primer, metala. Ali superprovodne magnete moguće je primeniti i za lebdenje nemagnetnih materijala zvanih paramagneti i dijamagneti. Ove supstance nemaju same po sebi magnetna svojstva, već ih stiču samo uz spoljašnje magnetno polje. Dok spoljašnji magnet privlači paramagnete, dijamagnete odbija.

Na primer, voda je dijamagnet. Kako je sve što je živo načinjeno od vode, sve što je živo može da lebdi kad je u moćnom magnetnom polju. U magnetnom polju jačine od oko 15 tesli (30.000 puta jače od Zemljinog magnetnog polja), naučnici su uspeli da dovedu u stanje lebdenja male životinje poput žaba. Ali ako bi poluprovodnici na sobnoj temperaturi postali stvarnost, trebalo bi da bude moguće i lebdenje velikih nemagnetnih objekata zahvaljujući njihovom dijamagnetizmu.

Evo šta je zaključak: polja sile kako se obično opisuju u naučnoj fantastici ne odgovaraju opisu četiri sile svemira. Ipak, moglo bi biti moguće simulirati mnoga svojstva polja sile pomoću višeslojnog štita koji se sastoji od prozora plazme, laserskih zavesa ugljeničnih nanocevi i fotohromatika. Ali na razvijanje takvog štita moglo bi se čekati mnogo decenija ili čak čitav vek. Iako bude moguće naći superprovodnike na sobnoj temperaturi, možda će nam poći za rukom da pomoću moćnih magnetnih polja održavamo automobile i vozove i da jedrimo u vazduhu, kao u naučnofantastičnim filmovima.

Sve u svemu, polja sile bih svrstao u I klasu nemogućeg – odnosno, njihova primena je nemoguća za današnju tehnologiju, ali u prilagođenom obliku biće moguća za neki vek.



## NEVIDLJIVOST

---

Ne možete verovati očima  
ako vam mašta nije fokusirana.

– MARK TVEN

U filmu *Zvezdane staze IV: putovanje kući*, posada *Enterprajza* otima klingonsku borbenu krstaricu. Za razliku od brodova zvezdane flote Federacije, brodovi Klingonskog carstva imaju tajni uređaj za pokrivanje koji ih čini nevidljivim pred svetlošću ili za radar, tako da se klingonski brodovi mogu neopaženo prikrasti letelicama Federacije s leđa i iznenaditi ih ne pretrpevši nikakvu štetu. Ovaj uređaj za pokrivanje obezbedio je stratešku prednost nad Federacijom planeta.

Da li je takav uređaj zaista može postojati? Nevidljivost je odavno već jedno od čuda naučne fantastike i fantastike, od stranica *Nevidljivog čoveka* do magičnog plašta nevidljivosti iz knjiga o Hariju Poteru ili prstena iz *Gospodara prstena*. Ipak, fizičari barem već čitav vek odbacuju ideju o plaštovima nevidljivosti, izričito tvrdeći da se ne mogu načiniti a da se ne naruše zakoni optike a uz to i ne odgovaraju nijednom poznatom svojstvu materije.

Ali ono što je danas nemoguće, moglo bi da postane moguće. Zbog novih saznanja iz oblasti metamaterijala valja ozbiljno revidirati udžbenike iz optike. Radni prototipovi takvih materijala već se prave u laboratorijama, pobuđujući zanimanje medija, industrije i vojske za transformisanje vidljivog u nevidljivo.

## NEVIDLJIVOST KROZ ISTORIJU

Nevidljivost je možda i jedan od najstarijih koncepata u drevnoj mitologiji. Od početaka pisane istorije znamo da su se ljudi, zatečeni sami u jezovitoj noći, plašili nevidljivih duhova mrtvih, duša davno umrlih koje vrebaju iz tame. Grčki heroj Persej ubi zlu Meduzu jer beše opremljen šlemom koji ga je činio nevidljivim. Generali su sanjali o napravi za nevidljivost. Kad biste bili nevidljivi, lako biste prodrli kroz neprijateljske linije i pobedili iznenađenog neprijatelja. Kriminalcima bi nevidljivost omogućila spektakularne pljačke.

Nevidljivost je imala centralnu ulogu u Platonovoj teoriji o etici i moralnosti. U svom filozofskom remek-delu *Republika* Platon pripoveda mit o Gigovom prstenu. Siromašni, ali poštenu pastir Gig iz Lidije dospeva u skrivenu pećinu i nalazi grobnicu s lešom koji nosi zlatni prsten. Gig otkriva da je zlatni prsten magičan i da ga može učiniti nevidljivim. Nesretnog pastira će ubrzo opiti moć koju mu prsten pruža. Ušunjavši se u kraljevu palatu, Gig koristi moć prstena da zavede kraljicu pa uz njenu pomoć ubija kralja i postaje novi kralj Lidije.

Naravoučenije Platonove priče glasi kako niko ne može odoleti iskušenju da bude u stanju da krađe i ubija kad poželi. Svi ljudi su kvarljivi. Moralnost je društveni konstrukt spolja nametnut čoveku. Neko ko se javnosti prikazuje kao moralan da bi očuvao reputaciju iskrenog čoveka od integriteta ne bi, kad bi stekao sposobnost da bude nevidljiv, mogao da se uzdrži od primene te moći. (Neki smatraju da je ova priča o moralnosti bila inspiracija Dž. R. R. Tolkinu za trilogiju *Gospodar prstenova*, u kojoj je prsten koji nosiocu daje moć da bude nevidljiv takođe izvor zla.)

Nevidljivost je i uobičajan mehanizam radnje u naučnoj fantastici. U seriji *Fleš Gordon* iz tridesetih godina, Fleš postaje nevidljiv da bi umakao streljačkom vodu Minga Nemilosrdnog. U knjigama i filmovima o Hariju Poteru, Hari nosi poseban plašt koji mu omogućava da neopaženo luta Hogvortskim zamkom.

H. Dž. Vels je preoblikovao ovaj mitološki koncept u svom romanu klasiku, *Nevidljivi čovek*, u kome student medicine slučajno otkriva moć četvrte dimenzije i postaje nevidljiv. Nažalost, tu fantastičnu moć koristi za ličnu dobit, počinivši niz bednih zločina, na kraju umire u očajničkom pokušaju da umakne policiji.

## MAKSVELOVE JEDNAČINE I TAJNA SVETLOSTI

Fizičari su istinski pojмили zakone optike tek kroz rad škotskog fizičara Džejmsa Klarka Maksvela, jednog od giganata fizike devetnaestog veka. U izvesnom smislu, Maksvel je bio suprotnost Majklu Faradeju. Dok je Faradej imao vrhunski eksperimentatorski instinkt, ali nikakvno formalno obrazovanje, Maksvel, njegov savremenik, bio je majstor napredne matematike. Bio je briljantan student matematičke fizike u Kembdridžu gde je Isak Njutn radio dva veka ranije.

Njutn je izmislio diferencijalni račun izražen jezikom diferencijalnih jednačina koji opisuje kako objekat prolazi kroz infinitezimalne promene u prostoru i vremenu. Kretanje okeanskih talasa, fluida, gasova i topovske đuladi – sve se to može iskazati jezikom diferencijalnih jednačina. Maksvel je postavio jasan cilj: da izrazi Faradejeva revolucionarna otkrića i njegova polja sile preciznim diferencijalnim jednačinama.

Maksvel je počeo od Faradejevog otkrića da se električno polje može preobraziti u magnetno, i obrnuto. Faradejeve opise polja sile iskazao je preciznim jezikom diferencijalnih jednačina, napravivši jedan od najvažnijih skupova jednačina moderne nauke. Reč je o grupi od osam diferencijalnih jednačina koje izgledaju prilično žestoko. Svaki fizičar i inženjer na svetu preznojavao se nad njima učeći elektromagnetizam na osnovnim studijama.

Maksvel je potom postavio sebi sudbonosno pitanje: ako se magnetna polja mogu transformisati u električna i obrnuto, šta se se dešava ukoliko se neprestano preobražavaju jedna u druga? Spoznao je da bi ta elektromagnetna polja stvorila talas veoma sličan okeanskom talasu. Na sopstveno iznenađenje, izračunao je brzinu tih talasa i video da je ravna brzini svetlosti! Godine 1864, pošto je otkrio tu činjenicu, zapisao je proročke reči: „Ova brzina toliko je blizu svetlosnoj da, izgleda, imamo jak razlog da zaključimo kako je i sama svetlost... elektromagnetni poremećaj.“

Možda je to bilo jedno od najvećih otkrića u ljudskog istoriji. Tajna svetlosti je konačno otkrivena. Maksvel je iznenađa shvatio da se sve, počev od bleštavila zore, sjaja zalaska sunca, zadivljujućih boja duge i zvezdanog nebeskog svoda može objasniti na osnovu talasa koje je opisao na papiru. Danas znamo da su čitav elektromagnetni spektar – počev od radara to televizije, preko infracrvene svetlosti, vidljive svetlosti, ultraljubičaste svetlosti, sve do X-zraka, mikrotalasa i gama zraka – zapravo Maksvelovi talasi koji predstavljaju vibracije Faradejevih polja sile.



Komentarišući važnost Maksvelovih jednačina, Ajnštajn je napisao da su „najdalekosežnije i najplodonosnije fizičke jednačine još od Njutnovih vremena.“

(Nažalost, Maksvel, jedan od najvećih fizičara devetnaestog veka, umro je rano, sa četrdeset osam godina, od raka želuca, bolesti koja je verovatno ubila i njegovu majku u istoj životnoj dobi. Da je poživio, možda bi otkrio da su po njegovim jednačinama mogući poremećaji prostora-vremena i to bi ga odvelo direktno do Ajnštajnovе teorije relativnosti. Zaprepastimo se, zar ne, nad spoznajom da je relativnost možda mogla biti otkrivena i u vreme Američkog građanskog rata.)

Maksvelova teorija svetlosti i atomska teorija pružaju jednostavna objašnjenja optike i nevidljivosti. U čvrstom stanju, atomi su gusto upakovani, dok su u tečnom ili gasovitom stanju mnogo više međusobno razdvojeni. Većina materijala u čvrstom stanju su neprozirni jer svetlosni zraci ne mogu da prođu kroz gustu matricu atoma koja se ponaša poput zida od cigli. Nasuprot tome, mnoge tečnosti i gasovi su providni jer svetlost lakše prolazi kroz slobodan prostor između njihovih atoma koji su na međusobnoj udaljenosti većoj od talasne dužine vidljive svetlosti. Na primer, voda, alkohol, amonijak, aceton, vodonik-peroksid, benzin i tako dalje, providni su, kao i gasovi: kiseonik, vodonik, azot, ugljen-dioksid, metan i drugi.

Postoje važni izuzeci od ovog pravila. Mnogi kristali su providni, iako su u čvrstom stanju. Ali atomi kristala su uređeni u preciznu rešetkastu strukturu, u pravilnim redovima, s ujednačenim međusobnim razmacima. Zato postoje mnogi prolazi kojima svetlost prodre kroz kristalnu rešetku. Dakle, iako su atomi kristala gusto spakovani kao u svakom čvrstom materijalu, svetlost se ipak probija kroz kristal.

Pod izvesnim okolnostima, objekat u čvrstom stanju može da postane providan ako su atomi nasumično postavljeni. To se postiže tako što se izvesni materijali zagreju do visokih temperatura, a potom naglo ohlade. Na primer, staklo je, zbog nasumičnog uređenja njegovih atoma, materijal u čvrstom stanju s mnogim svojstvima tečnosti. Zato postoje i providne bombone.

Iz Maksvelovih jednačina jasno vidimo da je nevidljivost svojstvo na atomskom nivou pa ga je teško, možda i nemoguće, ostvariti na uobičajene način. Da bi Hari Potter postao nevidljiv, morali bismo ga dovesti u tačno stanje, potom do tačke ključanja da od njega nastane para, zatim da ga kristalizujemo, ponovo zagrejemo, i onda ohladimo, što bi sve redom bilo teško ostvariti, sve i da smo čarobnjaci.

Ne mogavši da konstruišu nevidljive avione, u vojsci su napravili nešto najslabije: tehnologiju stela pomoću koje avioni postaju nevidljivi za radare. U toj tehnologiji oslanjali su se na Maksvelove jednačine da bi ostvarili niz trikova. Stela bombardera bez problema se uočava golim okom, ali na ekranu neprijateljskog radara očitava se kao da je veličine ptice. Tehnologija stela je, zapravo, gomila trikova. Izmeni li se sastav materijala od kog je bombarder, pa se umesto čelika delimično koristi plastika i smole a uz to se izmene uglovi na trupu aviona i raspored izduvniha cevi i učini još ponešto, moguće je izvesti da se neprijateljski radarski zraci koji pogađaju letelicu rasipaju u svim smerovima, tako da i ne uspevaju da stignu do ekrana neprijateljskog radara. Čak i sa tehnologijom „stela“, mlazni bombarder nije potpuno nevidljiv, već je samo uspeo da izbegne radarsko skeniranje onoliko koliko je to tehnički moguće.)

### METAMATERIJALI I NEVIDLJIVOST

Ali, možda i najperspektivniji pomak u vezi s nevidljivošću jeste novi egzotični materijal zvani metamaterijal pomoću kog objekat zaista može da postane nevidljiv. Ironično je da se proizvodnja metamaterijala nekad smatrala nemogućom jer su narušavali zakone optike. Ali, istraživači na Djukovom univerzitetu u Daramu u Severnoj Karolini i na Imperijalnom koledžu u Londonu su 2006. godine uspešno opovrgli uvreženo mišljenje i primenili metamaterijale da bi objekat postao nevidljiv za mikrotalasno zračenje. Iako ima još mnogo prepreka koje valja prevazići, prvi put u istoriji imamo plan kako da obične objekte načinimo nevidljivim. (Ovo istraživanje finansirala je Agencija za odbrambene napredne istraživačke projekte Pentagona.)

Natan Mirvold, nekadašnji šef odeljenja za tehnologiju u Microsoftu, kaže da će revolucionarni potencijal metamaterijala „potpuno preobraziti način na koji pristupamo optici i gotovo svaki aspekt elektronike... Neki od ovih metamaterijala imaju svojstva koja bi se pre nekoliko decenija smatrala čudesnim.“

Šta su metamaterijali? To su supstance sa optičkim svojstvima koja se ne mogu naći u prirodi. Metamaterijali se stvaraju umetanjem majušnih implanata u supstancu koji nagone elektromagnetne talase da se krive na neuobičajene načine. Naučnici na Djukovom univerzitetu su umetnuli majušna električna kola u bakarne kolutove uređene u ravne,

koncentrične krugove (donekle podsećaju na namotaje električne pećnice). Rezultat je bila delikatna mešavina keramike, teflona, vlaknastih kompozira i metalnih komponenata. Ovi majušni implantati u bakru omogućavali su skretanje i usmeravanje mikrotalasnog zračenja na specifičan način. Setite se kako reka teče oko stene. Pošto voda brzo obavlja stenu, prisustvo stene neće se primetiti u nižem toku. Slično tome, metamaterijali mogu u kontinuitetu da menjaju i savijaju putanju mikrotalasa tako da teku oko, na primer, cilindra, tako da sve ono unutar cilindra bude nevidljivo mikrotalasila. Ako metamaterijal može da eliminiše sva odbijanja i senke, mogao bi objekat da učini potpuno nevidljivim tom tipu zračenja.

Naučnici su uspešno prikazali ovaj princip pomoću naprave načinjene od deset prstenova od fiberglasa pokrivenih bakarnim elementima. Bakarni prsten unutar naprave bio je gotovo nevidljiv za mikrotalaso zračenje, bacajući samo neznatnu senku.

Ključna karakteristika metamaterijala je njihova sposobnost da upravljaju nečim zvanim indeks refrakcije. Refrakcija je savijanje svetlosti dok se kreće kroz transparentnu sredinu. Stavite li ruku u vodu ili ako pogledate kroz sočiva naočara, primetićete da voda i staklo izobličuju i krive putanju obične svetlosti.

Svetlost se krivi u čaši ili u vodi zato što se usporava kada uđe u gust, transparentan materijal. Brzina svetlosti u čistom vakuumu uvek je ista, ali na putu kroz staklo ili vodu mora proći kroz bilione atoma, zbog čega se usporava. (Količnik brzine svetlosti u vakuumu i brzine svetlosti u datoj sredini naziva se indeks refrakcije. Pošto se svetlost usporava u staklu, indeks refrakcije uvek je veći od 1.) Primera radi, indeks refrakcije ima vrednost 1 u vakuumu, 1,0003 u vazduhu, 1,5 u staklu i 2,4 u dijamantu. Obično je stepen krivljenja i indeks refrakcije veći što je sredina gušća.

Dobro poznat primer za indeks refrakcije je ogledalo. Ako vozite po vrelom danu i pogledate pravo prema horizontu, može vam se učiniti da put treperi i vi vidite iluziju odsjaja s površine jezera. Ponekad se u pustinji mogu videti obrisi udaljenih gradova i planina na horizontu. Vreo vazduh koji se uzdiže s pločnika ili s tla pustinje ređi je od normalnog vazduha, samim tim ima niži indeks refrakcije od okolnog, hladnijeg vazduha. Zato svetlost s udaljenih objekata može da se odbije od pločnika i da, kada dospe u vaše oči, stvori iluziju da vidite te daleke objekte.

Indeks refrakcije obično je konstanta. Uzan zrak svetlosti skreće kada naleti na staklo, posle čega nastavlja da se kreće pravolinijski.

Ali pretpostavimo da možemo kontrolisati indeks refrakcije, tako da se menja neprestano u svakoj tački u staklu. Probijajući se kroz ovaj novi materijal, svetlost bi mogla da skreće u novim pravcima, stvarajući putanju koja bi nalik zmiji krivudala kroz supstancu.

Ako bismo mogli da kontrolišemo indeks refrakcije unutar metamaterijala tako da svetlost zabilazi objekat, objekat bi postao nevidljiv. Da bi se to ostvarilo, metamaterijal bi morao da ima *negativan* indeks refrakcije – u svakom udžbeniku iz optike piše da je to nemoguće. Sovjetski fizičar Viktor Veselago još 1967. godine teorijski je razmatrao metamaterijale i pokazalo se da imaju čudna optička svojstva: negativan indeks refrakcije i obrnut Doplerov efekat. Metamaterijali su toliko neobični i apsurdni da se nekad mislilo kako ih je nemoguće napraviti. Ali u poslednjih nekoliko godina metamaterijali su napravljeni u laboratoriji, te su fizičari nevoljno morali ponovo da pišu sve udžbenike iz optike.

Istraživače iz oblasti metamaterijala neprestano opsedaju novinari koji žele da znaju kada će plaštovi nevidljivosti pojaviti na tržištu. Evo odgovora: neće skoro.

Dejvid Smit s Djukovog univerziteta kaže: „Reporter i zivkaju i traže da kažete broj. Broj meseci, broj godina. Navaljuju, pritiskaju, dosađuju, dok vi na kraju ne proslovite, pa, možda za petnaest godina. I onda dospete na naslovnu stranu, zar ne? Plašt nevidljivosti Harija Potera - za petnaest godina.“ Zato sada odbijamo da dajemo bilo kakvu precizniju informaciju o rokovima. Ljubitelji *Harija Potera* ili *Zvezdanih staza* moraće da sačekaju. Iako je prema zakonima fizike *moгуće načiniti* plašt nevidljivosti, sa čim će se složiti većina fizičara, moraće da se reše ogromne tehničke poteškoće pre nego što budemo u stanju da unapredimo ovu tehnologiju tako da funkcioniše i za vidljivu svetlost a ne samo za mikrotalasno zračenje.

U načelu, unutarnje strukture implantirane u metamaterijal moraju biti manje od talasne dužine zračenja. Na primer, talasna dužina mikrotalasa je oko 3 centimetra, te da bi materijal skretao putanju mikrotalasa, mora da ima ugneždene implante kraće od 3 centimetara. Ali, da se objekat ne bi video pod zelenom svetlošću čija je talasna dužina 500 nanometara, strukture ugrađene u metamaterijal moraju biti dugačke samo oko 50 nanometara – a nanometar je razmera atomskog reda veličine i za manipulisanje pri toj razmeri neophodna je nanotehnologija. (Jedan nanometar je milijarditi deo metra. Na jedan nanometar može stati otprilike pet atoma.) To je možda ključni problem s kojim

se suočavamo u našim pokušajima da napravimo pravi plašt nevidljivosti. Da bi svetlosni zrak krivudao poput zmije, valjalo bi ponaosob menjati atome unutar metamaterijala.

## METAMATERIJALI ZA VIDLJIVU SVETLOST

Trka je počela.

Otkad je objavljeno da su metamaterijali stvoreni u laboratoriji, traje stampedo aktivnosti u ovoj oblasti, s novim saznanjima i zadivljujućim naprecima na svakih par meseci. Cilj je jasan: primeniti nanotehnologiju da bi se napravili metamaterijali koji mogu da skreću vidljivu svetlost a ne samo mikrotalase. Predloženo je nekoliko prilično obećavajućih rešenja.

Po jednom, treba primeniti postojeće tehnike iz poluprovodničke industrije za pravljenje novih metamaterijala. Tehnika zvana fotolitografija u samom je srcu računarske minijaturizacije i pokreće računarsku revoluciju. Ova tehnologija omogućava inženjerima da smeste stotine miliona majušnih tranzistora na silicijumsku podlogu ne veću od palca.

Moć računara udvostručava se svakih osamnaest meseci (Murov zakon) zato što naučnici pomoću ultraljubičastog zračenja mogu da „nagrizaju“ silicijumski čip i tako na njega smeštaju sve sitnije i sitnije komponente. Ova tehnika veoma je slična načinu na koji se nanose mustre na tekstil i kreiraju živopisne majice. Računarski inženjeri prvo preliju tanku podlogu tanušnim slojevima različitih materijala. Posle toga na podlogu se stavlja plastična maska koja ima ulogu šablona. Sadrži složene obrise žica, tranzistora i računarskih komponenata koji čine osnovnu strukturu kola. Podloga se potom kupa ultraljubičastim zračenjem s veoma kratkom talasnom dužinom koje utiskuje šablon u fotosenzitivnu podlogu. Pomoću posebnih gasova i kiselina koji nagrizaju podlogu, složeno kolo maske se utiskuje na podlogu gde je izloženo ultraljubičastom zračenju. Ovim procesom pravi se podloga sa stotinama miliona majušnih žlebova koji čine konture tranzistora. Najmanje komponente koje za sada mogu da se proizvedu tom tehnikom nagrizanja veličine su oko 30 nm (ili oko 150 atoma poređanih jedan do drugog).

Prelomni momenat u potrazi za nevidljivošću bio je kada je grupa naučnika primenila ovu tehnologiju nagrizanja silicijumske podloge da

napravi prvi metamaterijal koji funkcioniše u opsegu vidljive svetlosti. Naučnici u Nemačkoj i američko Ministarstvo energije objavili su početkom 2007. godine da su prvi put u istoriji napravili metamaterijal koji je funkcionisao na talasnim dužinama crvene svetlosti. Nemoguće je ostvareno za izvanredno kratko vreme.

Fizičar Kostas Sukulis iz Laboratorije u Ejmsu u Ajovi te Štefan Linden, Martin Vegener i Gunar Doling s Univerziteta u Karlsruheu u Nemačkoj, napravili su metamaterijal s indeksom  $-0,6$  za crvenu svetlost talasne dužine  $780\text{ nm}$ . (Dotadašnji svetski rekord talasne dužine zračenja koja skreće u metamaterijalu iznosio je  $1.400\text{ nm}$ , što je van opsega vidljive svetlosti, odnosno u opsegu je infracrvene svetlosti.) Naučnici su prvo obložili staklenu ploču tankim slojem srebra, magnezijum-fluorida, potom još jednim slojem srebra, formirajući sendvič fluorida debeo samo  $100\text{ nm}$ . Posle toga su standardnom tehnikom nagrizanja napravili veliki broj mikroskopskih četvrtastih rupa u sendviču, stvarajući šemu nalik ribarskoj mreži. (Rupe su prečnika samo  $100\text{ nm}$ , što je mnogo manje od talasne dužine crvene svetlosti.) Potom su propustili zrak crvene svetlosti kroz materijal i izmerili njegov indeks – dobili su vrednost  $-0,6$ .

Ovi fizičari predviđaju da će biti brojnih primera te tehnologije. „Jednog dana bi se od metamaterijala mogla načiniti ravna super-sočiva za vidljivi deo spektra“, kaže doktor Sukulis. „Takva sočiva bi imala rezoluciju mnogo veću od onih koje omogućava konvencionalna tehnologija, i registrovala bi detalje mnogo manje od talasne dužine svetlosti.“ Takva supersočiva primenjivala bi se za fotografisanje s neprevaziđenom jasnoćom mikroskopskih objekata kao u unutrašnjosti žive ljudske ćelije, ili za dijagnostifikovanje bolesti bebe dok je u materici. U idealnom slučaju, mogle bi se napraviti fotografije komponenata molekula DNK bez primene nezgrapne kristalografije X-zracima.

Ovi naučnici su za sada uspeali da demonstriraju negativni indeks refrakcije samo za crvenu svetlost. Naredni korak bio bi primena ove tehnologije za pravljenje metamaterijala koji bi potpuno savijao crvenu svetlost oko objekta čineći ga nevidljivim za nju.

Naredni pomaci u ovom smeru mogli bi se odigrati u oblasti fotoničnih kristala. Svrha tehnologije fotoničnih kristala je proizvodnja čipova koji informacije obrađuju pomoću svetlosti, a ne struje. To nalaže korišćenje nanotehnologije za postavljanje majušnih komponenata na podlogu nagrizanjem, tako da se indeks refrakcije menja sa svakom

komponentom. Tranzistori koji koriste svetlost imaju višestruku prednost na tranzistorima koji koriste struju. Recimo, fotonični kristali gube mnogo manje toplote. U naprednim silicijumskim čipovima generiše se toplota dovoljna da se isprži jaje. Zato je neophodno neprestano ih hladiti inače neće valjano funkcionisati, a hlađenje čipova je veoma skupo. Ne iznenađuje da je nauka o fotoničnim kristalima kao stvorena za metamaterijale, pošto obe tehnologije podrazumevaju manipulisanje indeksom refrakcije u nanorazmerama.

### NEVIDLJIVOST POMOĆU PLAZMONIKE

Još jedna grupa je, ne dopuštajući da bude nadmašena, sredinom 2007. godine objavila kako je napravila metamaterijal koji krivi vidljivu svetlost pomoću potpuno drugačije tehnologije zvane plazmonika. Fizičari Henri Lezek, Dženifer Dian i Hari Atvoter s Kalifornijskog tehnološkog instituta objavili su da su proizveli metamaterijal s negativnim indeksom za problematičniji plavo-zeleni deo vidljivog spektra svetlosti.

Tehnologijom plazmonika stisne se svetlost tako da se objektima može upravljati na nanometarskom nivou, naročito na površini metala. Metali provode struju zato što su elektroni slabo vezani za atome metala, te mogu slobodno da se kreću po površini metalne rešetke. Struja koja teče kroz žice u vašim domovima primer je glatkog toka ovih slabo vezanih elektrona na površini metala. Ali pod određenim uslovima, kada se svetlosni zrak sudari s metalnom površinom, elektroni mogu da vibriraju u skladu s upadnim svetlosnim zrakom, zbog čega se elektroni na površini metala (zvani plazmoni) kreću nalik talasima. Ti talasasti pokreti usklađeni su sa izvornim zrakom svetlosti. Još je važnije to da je te plazmone moguće stisnuti tako da imaju istu frekvenciju kao upadni zrak (stoga će nositi istu informaciju), ali mnogo manju talasnu dužinu. U načelu, ovi stisnuti talasi bi se onda mogli nagurati u nano-žice. Kao u slučaju fotoničnih kristala, svrha plazmonike je konstruisanje računarskih čipova koji računaju pomoću svetlosti umesto da koriste struju.

Grupa s Kalifornijskog tehnološkog instituta napravila je svoj metamaterijal od dva sloja srebra, sa silicijum-azotnim izolatorom između njih (debljine samo 50 nm). Izolatorski sloj se ponašao kao vodič talasa, usmeravajući plazmonične talase. Laserska svetlost ulazi u aparaturu i

izlazi iz nje kroz dva proreza urezana u metamaterijal. Analiziranjem uglova pri kojima se laserska svetlost savija dok prolazi kroz metamaterijal moguće je potvrditi da se svetlost krivi pomoću negativnog indeksa.

### BUDUĆNOST METAMATERIJALA

Napredak u oblasti metamaterijala ubrzaće se u budućnosti naprosto zato što postoji zanimanje za proizvodnju tranzistora koji koriste svetlosni zrak umesto struje. Istraživanja na planu nevidljivost zato bi mogla da profitiraju od aktuelnih istraživanja u oblasti fotoničnih kristala i plazmonike čiji je cilj stvaranje zamene za silicijumski čip. Stotine miliona dolara već se investira u nalaženje zamene za silicijumsku tehnologiju; i istraživanja na planu metamaterijala imaće koristi od tih istraživačkih napora.

Kako se u ovoj oblasti na svakih nekoliko meseci otkrije nešto bitno, ne iznenađuje što neki fizičari smatraju da će se neka vrsta praktičnog štita nevidljivosti napraviti u laboratoriji u narednim decenijama. Primerice, naučnici su uvereni da će za koju godinu napraviti metamaterijale koji će omogućiti da objekat bude potpuno nevidljiv za vidljivu svetlost, barem u dve dimenzije. Za to će biti potrebno da se majušne nano-žice ne umeću u nizovima, već po složenim šemama, tako da se svetlost tečno savija oko objekta. Potom će naučnici napraviti metamaterijale koji savijaju svetlost u tri dimenzije, ne samo za ravne dvodimenzionalne površine. Fotolitografska tehnika za pravljenje ravnih silicijumskih podloga je usavršena, ali u izradi trodimenzionalnih metamaterijala moraće da se primeni složeniji postupak.

Posle toga naučnici će morati da vide kako napraviti metamaterijale koji krive ne samo jednu frekvenciju, već veliki broj frekvencija. To će možda biti i najteži zadatak, pošto do sada konstruisani majušni implantirani krive svetlost samo određene frekvencije. Naučnici bi mogli da prave metamaterijale slojevito, tako da svaki sloj savija svetlost određene frekvencije. Rešenje ovog problema nije iskristalisano.

Ipak, kada se štiti nevidljivosti napokon napravi, možda će biti nezgrapna naprava. Plašt Harija Potera načinjen je od tanke, gipke tkanine; nevidljiv postaje svako ko se pokrije njime. Ali da bi ovo bilo moguće, indeks refrakcije u samoj tkanini morao bi se neprestano menjati na složen način dok tkanina leprša, što je nepraktično. Pravi plašt nevidljivosti



## NEVIDLJIVOST

bi vrlo verovatno morao da se pravi od punog cilindra od metamaterijala, barem isprva. Na taj način, indeks refrakcije unutar cilindra mogao bi da bude nepromenljiv. Naprednije verzije bi mogle da sadrže elastične metamaterijale koji su mogu uvijati, a ipak usmeravaju tok svetlost unutar njih na odgovarajuću putanju. Tako bi svako ko se nađe pod plaštom imao izvesni stepen slobode u pokretima.

Ukazalo se i na nedostatak plašta nevidljivosti: osoba pokrivena ovim plaštom neće moći da pogleda napolje a da ne postane vidljiva. Zamislite Harija Potera, sveg nevidljivog izuzev njegovih očiju koje odaju utisak da lebde u vazduhu. Spolja bi se lepo mogla uočiti svaka rupa u plaštu nevidljivosti. Hari Potter bio bi potpuno nevidljiv samo kad bi sedeo pod plaštom nevidljivosti ne videći ništa van plašta. Jedno od mogućih rešenja moglo bi biti da se umetnu dve tanke staklene ploče blizu očnih duplji. Te dve ploče bi imale funkciju delioca zraka, odvajale bi mali deo upadnog zraka svetlosti i slale ga u oči. Dakle, veći deo svetlosti koji pada na plašt zaobilazio bi ga tako da osoba bude nevidljiva, ali manji deo bio bi preusmeren u oči.

Uprkos ovim obeshrabrujućim poteškoćama, naučnici i inženjeri su optimistični – veruju da će svojevrsan plašt koji daje nevidljivost biti konstruisan u narednim decenijama.

### NEVIDLJIVOST I NANOTEHNOLOGIJA

Prethodno sam pomenuo da bi ključ za nevidljivost mogla biti nanotehnologija, odnosno mogućnost manipulisanja strukturama atomskih razmera, veličine oko milijarditog dela metra.

Trenutkom rođenja nanotehnologije smatra se predavanje, duhovito naslovljeno *Ima još mnogo prostora na dnu* (*There's Plenty of Room at the Bottom*), koje je 1959. godine održao nobelovac Ričard Fajnman u Američkom fizičkom društvu. U tom predavanju razmatrao je kako bi mogle da izgledaju najmanje mašine koje bi bile u skladu s poznatim zakonima fizike. Uvideo je da bi mašine mogle da se smanjuju sve do atomskih razmera, a onda bi se atomi mogli koristiti da se prave druge mašine. Zaključio je da se atomske mašine poput čekrka, poluga i točkova već prilično uklapaju u zakone fizike, premda bi ih bilo izuzetno teško napraviti.

Nanotehnologija je godinama tavorila, jer je manipulisanje pojedinačnim atomima prevazilazilo tehnologiju tog vremena. Ali onda je 1981.

godine napravljen izuzetno bitan napredak – otkriven je skenirajući tunelski mikroskop. Za to su naučnici Gerd Binig i Hajnrih Rorer iz IBM-ove laboratorije u Cirihiu dobili Nobelovu nagradu.

Najednom su fizičari dobili mogućnosti da prave zadivljujuće slike pojedinačnih atoma poređanih baš kao u udžbenicima iz hemije, što su kritičari atomske teorije nekad smatrali nemogućim. Sada je bilo moguće napraviti predivne fotografije atoma poređenih u kristalu ili u metalu. Hemijske formule koje su koristili naučnici, sa složenim nizovima atoma umotanih u molekul, mogle su se „videti“ golim okom. Povrh toga, skenirajući tunelski mikroskop omogućio je manipulisanje pojedinačnim atomima. Zapravo, slova IBM su ispisana pomoću zasebnih atoma, što je prilično uskomešalo naučni svet. Naučnici nisu više bili slepi dok su manipulisali pojedinačnim atomima, već su mogli da ih vide i da se igraju njima.

Na prvi pogled, skenirajući tunelski mikroskop je jednostavan. Poput gramofonske igle koja se povlači po ploči, oštra sonda polako prelazi nad materijalom koji se analizira. (Vrh je veoma oštar jer ga čini samo jedan atom.) Mala količina naelektrisanja postavlja se na sondu, i struja teče od sonde kroz materijal i na površinu ispod. Kako sonda prelazi nad pojedinačnim atomima, menja se intenzitet struje koja teče kroz sondu i te varijacije se beleže. Intenzitet struje raste i smanjuje se kako se igla kreće nad atomima, zadivljujuće detaljno prateći njihove obrise. Posle mnogo prolazaka, praveći šemu fluktuacija strujnog toka, moguće je dobiti prekrasne slike pojedinačnih atoma u rešetki.

Skenirajući tunelski mikroskop je napravljen zahvaljujući čudnim zakonima kvantne fizike. Elektroni inače nemaju dovoljno energije za prolaz od sonde kroz supstancu do površine u osnovi. Ali zbog principa neodređenosti postoji mala verovatnoća da će elektroni u struji „tunelovati“ ili prodreti kroz barijeru, iako to nije moguće prema Njutnovoju teoriji. Zato je struja koja teče kroz sondu osetljiva na kvantne efekte u materijalu. Efekte kvantne teorije kasnije ću detaljno razmatriti.

Sonda je i dovoljno osetljiva za pomeranje zasebnih atoma, pravljene jednostavnih mašina od pojedinačnih atoma. Tehnologija je danas toliko napredna da se grozd atoma može prikazati na računarskom ekranu i potom se atomi mogu pomerati unaokolo po želji, jednostavnim pomeranjem pokazivača računarskog miša. Moguće je upravljati grupama atoma po nahodaenju, kao da se igrate lego kockicama. Osim ispisivanja slova abecede pomoću zasebnih atoma, moguće je napraviti atomske igračke – na primer, računaljka od pojedinačnih atoma.

Atomi su poredani u nizove na površini, s vertikalnim prorezima. U svaki vertikalni prorez mogu se umetnuti fulereni (u obliku fudbalske lopte, ali načinjeni od pojedinačnih atoma ugljenika). Ove ugljenične lopte se mogu pomerati uz i niza svaki prorez, i tako se formira atomska računaljka.

Moguće je izrezati atomske uređaje pomoću elektronskog snopa. Recimo, naučnici s univerziteta Kornel izrezali su od kristalnog silicijuma najmanju gitaru na svetu, dvadeset puta tanju od vlasi ljudske kose. Ima šest žica redom širokih sto atoma koje se mogu trzati pomoću mikroskopa atomskih sila. (Ova gitara proizvodi muziku, ali u frekvencijama daleko višim od onih koje može da registruje ljudsko uvo.)

Za sada, većina ovih mašina stvorenih nanotehnologijom samo su igračke. Tek treba napraviti složenije mašine sa zupčanicima i kugličnim ležajevima. Ali mnogi inženjeri su uvereni da će doći trenutak kada ćemo proizvesti prave atomske mašine. Atomske mašine se, zapravo, mogu naći u prirodi. Čelije slobodno plivaju u vodi zato što mogu da mrdaju majušnim dlakama. Ali analiza spoja između dlake i čelije pokazuje da je reč o atomskoj mašini koja omogućava dlaci da se kreće u svim pravcima. Dakle, ključno za razvoj nanotehnologije jeste podražavanje prirode koja je ovladala umećem pravljenja atomskih mašina pre više milijardi godina.

## HOLOGRAMI I NEVIDLJIVOST

Drugi način da neko postane delimično nevidljiv jeste da se fotografiše pozadina i da se ta slika projektuje direktno na odeću te osobe ili na ekran ispred nje. Gledano спреда, čini se da je osoba postala providna i da svetlost prolazi ravno kroz njeno telo.

Naoki Kavakami iz laboratorije Taki pri Tokijskom univerzitetu ulaže veliki trud u istraživanje procesa zvanog optička kamuflaža. On kaže: „Piloti bi kroz pod kabine videli pistu ili bi vozači videli kroz ogradu dok parkiraju auto.“ Kavakamijev plašt prekriven je majušnim perlicama koje odbijaju svetlost, ponašajući se kao filmski ekran. Kamera snima sve iza plašta, potom projektor ispred plašta prikazuje taj snimak, tako da se čini da je svetlost prošla kroz osobu ili predmet.

Prototipovi plašta za optičku kamuflažu već postoje u laboratoriji. Ako pogledate direktno u osobu koja nosi ovaj plašt nalik ekranu, čini

se da je nestala jer se vidi samo slika iza nje. Ali ako malo pomerite pogled videćete da se slika na plaštu ne menja, i otkrivete da je reč o lažnoj predstavi. Realističnija optička kamuflaža morala bi da stvara iluziju 3D slike. Za to bi bili potrebni hologrami.

Hologram je 3D slika načinjena pomoću lasera (poput 3D slike princeze Leje u *Zvezdanim ratovima*). Osoba bi se mogla percipirati kao nevidljiva ako bi se scena u pozadini snimila posebnom holografskom kamerom, posle čega bi se taj snimak projektovao na poseban holografski ekran postavljen ispred te osobe. Posmatrač ispred te osobe video bi holografski ekran sa 3D prikazom pozadinske slike bez te osobe. Izgledalo bi da je ta osoba nestala. Na mestu te osobe bila bi precizna slika pozadine. Čak i kada biste pomerili ugao posmatranja, ne biste prepoznali da je ono što vidite lažna predstava.

Ove 3D slike moguće su zato što je laserska svetlost koherentna, odnosno svi talasi vibriraju u savršenom jedinstvu. Hologrami se prave tako što se koherentni laserski zrak deli na dva dela. Jedna polovina zraka pada na fotografski film. Druga polovina zraka osvetljava objekat, odbija se od njega, potom pada na isti fotografski film. Ta dva zraka će stvoriti interferentnu sliku na filmu koja sadrži sve informacije početnog 3D talasa. Kada se film razvije, vidi se samo šema vrtloga i linija nalik paukovoju mreži. Ali kada laserski zrak osvetli ovaj film, kao čarobnim štapićem stvara se precizna 3D replika originalnog objekta.

Ipak, holografsku nevidljivost prate veliki tehnički problemi. Jedan od izazova je kako konstruisati holografsku kameru koja će snimati najmanje 30 snimaka u sekundi. Drugi problem je čuvanje i obrada svih informacija. Na kraju, tu sliku valja i projektovati na ekran da bi izgledala realistično.

### NEVIDLJIVOST POMOĆU ČETVIRTE DIMENZIJE

Valjalo bi pomenuti i to da je H. Dž. Vels u *Nevidljivom čoveku* predočio još savršeniji način da se postane nevidljiv, i to pomoću četvrte dimenzije. (Kasnije ćemo detaljnije govoriti o mogućem postojanju viših dimenzija.) Da li bismo možda mogli da napustimo naš trodimenzionalni svemir i lebdimo nad njim iz perspektive četvrte dimenzije? Poput trodimenzionalnog leptira koji lebdi nad dvodimenzionalnim listom papira, bili bismo nevidljivi svakom ko živi u svemiru pod nama. Međutim, problem je u tome što još uvek nije dokazano da postoje više

## NEVIDLJIVOST

dimenzije. Povrh toga, za hipotetičko putovanje u više dimenzije bila bi neophodna energija mnogo veće nego što naša tehnologija za sada postiže. Ova metoda postizanja nevidljivosti prevazilazi naša trenutna znanja i mogućnosti.

S obzirom na dosadašnje ogromne napretke u pokušaju da se postigne nevidljivost, jasno je da se ta odlika može svrstati u I klasu nemogućeg. U narednih nekoliko decenija, ili barem do kraja ovog veka, neka vrsta nevidljivosti mogla bi postati uobičajena.