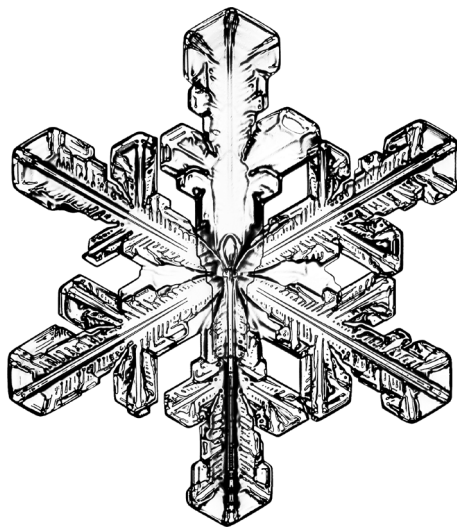


# NAUKA

# 50

IDEJA KOJE BI STVARNO  
TREBALO DA ZNATE

POL PARSONS I GEJL DIKSON



Prevod s engleskog:  
Tatjana Milosavljević

■ Laguna ■

Naslov originala:

Paul Parsons & Gail Dixon

SCIENCE 50 IDEAS YOU REALLY NEED TO KNOW

Copyright © 2019 Paul Parsons and Gail Dixon

Copyright za srpsko izdanje © 2020 Laguna

Picture credits:

95: Photo by D. Carr and H. Craighead, Cornell University.

All other pictures by Tim Brown.



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

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

© 1996 Forest Stewardship Council A.C.

# Sadržaj

## Uvod 5

1. Fermaov princip 6
  2. Njutnovi zakoni 10
  3. Njutnovska gravitacija 14
  4. Elektromagnetizam 18
  5. Termodinamika 22
  6. Specijalna relativnost 26
  7. Opšta relativnost 30
  8. Kvantna mehanika 34
  9. Kvantna polja 38
  10. Fizika elementarnih čestica 42
  11. Nuklearna energija 46
  12. Teorija struna 50
  13. Teorija informacije 54
  14. Teorija haosa 58
  15. Kvantni kompjuteri 62
  16. Veštačka inteligencija 66
  17. Atomi i molekuli 70
  18. Periodni sistem 74
  19. Radioaktivnost 78
  20. Poluprovodnici 82
  21. Superprovodnici 86
  22. Bakibol i nanocev 90
  23. Nanotehnologija 94
  24. Poreklo života 98
  25. Fotosinteza 102
  26. Čelija 106
  27. Germinativna teorija bolesti 110
  28. Virusi 114
  29. Geni 118
  30. Evolucija 122
  31. Egzodus iz Afrike 126
  32. Dvostruki heliks 130
  33. Kloniranje i genetska modifikacija 134
  34. Sintetička biologija 138
  35. Svest 142
  36. Jezik 146
  37. Ledeno doba 150
  38. Tektonika ploča 154
  39. Masovna izumiranja 158
  40. Klimatske promene 162
  41. Kopernikanski solarni sistem 166
  42. Galaksije 170
  43. Veliki prasak 174
  44. Tamna materija 178
  45. Tamna energija 182
  46. Smrt univerzuma 186
  47. Crne rupe 190
  48. Multiverzum 194
  49. Ekstrasolarne planete 198
  50. Vanzemaljski život 202
- Pojmovnik 206



# Uvod

„Najveći naučnici su istovremeno i umetnici“, primetio je jednom prilikom Albert Ajnštajn. Bila je to smela konstatacija, zato što nauka može izgledati kao veoma nekreativan proces. Pošto je sputana podacima, činjenicama i dokazima, stiče se utisak da postoji premalo prostora za snagu ideja i moć kreativnosti. U stvarnosti, međutim, ništa ne može biti dalje od istine. Ajnštajn je zapravo želeo da kaže kako su istinski inovativni umovi u nauci ujedno i neki od najkreativnijih. I da njihove ideje – a ne njihovo tehničko znanje – menjaju svet.

Tačno je da se ogromna većina naučnog istraživanja nadograđuje na tuđi rad – nauka je generalno postepena evolucija našeg znanja. No s vremena na vreme neki naučnik ogromnih kreativnih sposobnosti izbije u prvi plan, a njegove spoznaje dovedu ne do evolucije već do revolucije – neretko okrećući čitavu naučnu oblast naglavačke i odnoseći naše razumevanje na sasvim novi nivo. Uzmimo, na primer, Ajnštajna i njegovu teoriju relativnosti, Darvina i njegove radikalne ideje o evoluciji prirodnom selekcijom ili Ričarda Fajmmana i njegovu smelu novu zamisao o svetu subatomske čestice.

Svi ovi ljudi su posedovali ogromno tehničko znanje. Ali bez te varnice kreativnog genija, nikakva količina matematičkog talenta ili poznavanja sveta prirode ne bi mogla dovesti do naučnog preobražaja takvih razmera. Bilo bi dobro, stoga, da se prosvetni radnici podsete kako nauka u školama ne bi smela da se svodi na bubanje napamet i prolazni broj bodova na testovima.

U knjizi je u 50 poglavlja izloženo 50 najvećih ideja do kojih su naučnici došli kroz vekove. Izbor tema je vrlo ličan – da je neko drugi pisao ovu knjigu, sadržaj bi nesumnjivo izgledao sasvim drugačije. Trudili smo se, međutim, da nađemo ravnotežu u različitim temama i nadamo se da će vam biti zanimljive koliko i nama. Tamo gde prostor dozvoljava, dopunili smo nauku kratkim biografijama naučnika, detaljima iz njihove mladosti i privatnog života. Bilo je ovo fascinantno putovanje kroz dostignuća nekih od najkreativnijih umova nauke. Možemo samo da zamislimo kakve se uzbudljive nove ideje rađaju u glavama i na crtaćim tablama današnjih naučnika – i kakve će se tek roditi u godinama koje dolaze.

Pol Parsons i Gejl Dikson

# 1. Fermaov princip

Potraj XVII veka, francuski matematičar Pjer de Ferma sažeo je ponašanje zraka svetlosti u prelepi, jezgroviti zakon: svetlost se između dve tačke u prostoru kreće najkraćim putem. Njegova ideja popločaće put još snažnijem principu, koji se nalazi u samom središtu savremene teorijske fizike.

**G**odine 1662. fizičari su već znali za fenomen refrakcije, načina na koji se zrak svetlosti naglo prelama pri prelasku iz jedne materije u drugu. Dobar primer su vazduh i voda: zamočite olovku u čašu vode i pogledajte je sa strane – izgledaće da je olovka savijena pod nemogućim uglom. Do prelamanja ili refrakcije dolazi kad dve materije koje obrazuju međupovršinu imaju različitu „optičku gustinu“, usled čega svetlost kroz njih putuje različitom brzinom; ugao prelamanja svetlosti može se izračunati ubacivanjem razmere ovih brzina u matematičku formulu zvanu Snelijusov zakon (u okviru na sledećoj strani). Doduše, u to vreme nisu znali zašto je tako.

## PRETHODNA FERMAOVA TEOREMA

Ferma je došao na ideju da predloži nešto što je nazvao „principom najkraćeg vremena“. U suštini, svetlost će se od jedne do druge tačke u prostoru uvek kretati najkraćim putem. Ova fundamentalna pretpostavka, plus malo matematike, vodi pravo do Snelijusovog zakona.

Dobra analogija je spasilac koji pokušava da stigne do ugroženog plivača. Spasilac se na plaži nalazi na izvesnoj udaljenosti desno ili levo u odnosu na plivača, što znači da je potrebna kombinacija trčanja duž plaže i potom plivanja. Pitanje glasi: koliko jednog i koliko drugog?

## HRONOLOGIJA

**984. p. n. e.**

Arapski matematičar Ibn Sal objavio prvi poznati primer Snelijusovog zakona

**1622.**

Pjer de Ferma izneo pretpostavku da se zraci svetlosti pridržavaju principa najkraćeg vremena

**1744.**

Francuski matematičar Pjer-Luj Moperti predložio princip najmanje akcije

Najkraća udaljenost između spasioca i plivača je prava linija između njih, pa možda očekujete da je to i najbrži pravac. Ali nije, zato što spasilac trči mnogo brže nego što pliva. Pravolinijsko kretanje značilo bi previše vremena utrošenog na sporo kretanje kroz vodu. Trčanje plažom kako bi se što više približio plivaču takođe nije optimalno jer je tako ukupno pređeno rastojanje preveliko. Najbrži put jeste balans između to dvoje: dijagonalno trčanje plažom prema brižljivo izračunatoj tački na rubu vode, pa naglo skretanje i upućivanje kroz vodu direktno prema plivaču – baš poput prelomljenog zraka svetlosti.

Fizičko opravdanje Fermaovog principa potiče iz talasne teorije svetlosti, preciznije, iz pojave interferencije – toga kako se dva talasa kombinuju u jedan. Ako vrhovi jednog koincidiraju s doljama drugog talasa, međusobno će se potrti – to se zove destruktivna interferencija. S druge strane, ako se vrhovi talasa iste frekvencije susreću u istoj tački, rezultat je jedan veoma veliki talas – konstruktivna interferencija. Za gotovo svaku moguću putanju zraka svetlosti postoji neka koja je potire destruktivnom interferencijom. Izuzetak je

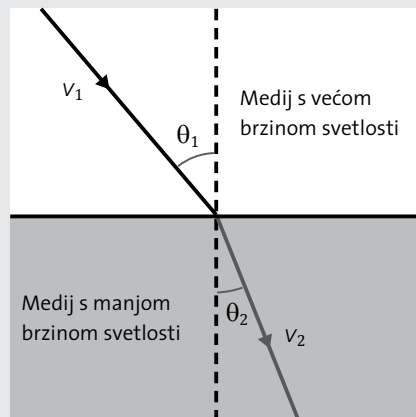
## Snelijusov zakon

Premda je nazvan po holandskom matematičaru Vilebrordu Snelijusu, prvo pominjanje zakona (danas poznatog kao Snelijusov) datira više od 600 godina pre njegovog vremena, iz radova islamskog matematičara Ibn Sala.

Kod svetlosti koja pada na granicu dva sredstva, razmera sinusa uglova upada i ugla loma,  $\sin \theta_1$  i  $\sin \theta_2$ , jednaka je razmeri brzine talasa svetlosti u prvom sredstvu ( $v_1$ ) i njegove brzine u drugom sredstvu ( $v_2$ ), pa formula glasi:

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = v_1 / v_2$$

[gde je sin standardna trigonometrijska funkcija]



**1788.**

Žozef-Luj Lagranž upotrebio Mopertijev princip za razvijanje lagranžovske dinamike

**1915.**

Nemački matematičar David Hilbert izveo jednačinu polja iz teorije relativnosti

**1948.**

Američki fizičar Ričard Fajnman postavio temelje za formulaciju integrala putanje

## Lagranžovska dinamika

Analiziranje ponašanja složenih dinamičkih sistema bilo je veoma komplikovano sve dok italijansko-francuski matematičar Žozef-Luj Lagranž nije upotrebio princip najmanje akcije i izveo ono što se danas naziva lagranžovskom dinamikom.

Ona je ponudila sistematičan način rešavanje problema koji obuhvataju kretanje mnogo objekata pod delovanjem različitih sila – dobar primer jesu Sunce i brojna nebeska tela koja orbitiraju u Sunčevom sistemu, a čije je kretanje reakcija na međusobne gravitacijske interakcije.

Lagranžov pristup obuhvatao je postavljanje koordinata za položaj i brzinu svakog objekta. Ovo mu je omogućilo da napiše opšti obrazac za lagranžovsku dinamiku – ukupna kinetička energija minus potencijalna energija sistema. Sabiranje ovoga kroz sve putanje kroz prostor i vreme dalo je formulu za „akciju“ (vidi str. 9), koju je Lagranž potom sveo na najmanju meru, kako bi dao uopšteni niz jednačina koje opisuju kretanje svakog objekta.

U slučaju Sunčevog sistema, relativne brzine Sunca i planeta podrazumevale su ukupnu kinetičku energiju, dok je položaj svakog objekta u odnosu na sve ostale davao ukupnu potencijalnu energiju, koju je u ovom slučaju obezbeđivala gravitacija. Izvedene jednačine kretanja opisuju orbite planeta oko Sunca.

putanja koja svodi na minimum vreme kretanja, i baš zato je to ona putanja svetlosnog zraka koju vidimo.

Fermaov princip objašnjava i zakone koji regulišu kako se svetlost reflektuje na graničnoj površini između dva sredstva, uključujući i fenomen „totalne refleksije“, u kojem zrak svetlosti u gustom sredstvu ne može da pobegne kad udari o površinu pod plitkim uglom, pa „klizi“ po graničnoj površini. Ova ideja je ključna za funkcionisanje optičkih vlakana.

Međutim, usledila su još veća otkrića. Drugi francuski matematičar Pjer-Luj Moperti upitao se 1744. da li bi se Fermaov princip mogao proširiti, tako da ne objašnjava samo ponašanje zraka svetlosti nego i dinamiku pokretnih objekata. Vreme u Fermaovoj logici zamenio je kinetičkom energijom objekta nakupljenom duž putanje kojom se objekt kreće. Potom je postulirao da je putanja kojom se objekt kreće ona za koju je ova veličina najmanja.

### AKCIJE GOVORE NAJGLASNIJE

Nešto kasnije, u istom veku, ovu ideju prečistili su matematičar Žozef-Luj Lagranž i irski fizičar Vilijam Rouan Hamilton. Preradili su Mopertuijevu

teoremu tako da sumira ne samo kinetičku energiju pokretnog objekta već i kinetičku energiju minus njegova uskladištena ili „potencijalna“ energija. (Na primer, kamen izbačen iz katapulte zapoćeće s nula kinetičke energije, ali s velikom potencijalnom energijom uskladištenom u rastegnutoj gumi.) Lagranž i Hamilton tvrdili su da



se ova nova sumirana veličina, poznata kao „akcija“, svodi na minimum duž putanje kojom se objekt kreće. Njihov jednostavni pristup je doveo do Njutnovih zakona o kretanju tela (vidi str. 10), a postao je poznat kao „princip najmanje akcije“.

Ubrzo je postalo jasno da se svođenjem akcije na minimum mogu izvesti i neke druge fizičke teorije, uključujući elektromagnetizam i opštu relativnost (vidi str. 18 i 30). Ovaj princip bio je naročito snažan kad je reč o kombinovanju teorija. Na primer, izračunavanje ponašanja tela u prisustvu elektromagnetskih i gravitacionih sila naprosto obuhvata sabiranje akcije za obe teorije i potom pronalaženje putanje koja svodi ovu novu, kombinovanu akciju na najmanju meru.

**„PRIRODA JE  
EKONOMIČNA U  
SVIM SVOJIM  
POSTUPCIMA“**

Pjer-Luj Moperti

Četrdesetih godina XX veka, američki fizičar Ričard Fajnman iskoristio je princip najmanje akcije da konstruiše svoju teoriju kvantnog polja putem formulacije integrala putanje (vidi str. 38). Pritom je raspodela verovatnoće za stanje neke čestice u nekom vremenu u budućnosti data zbirom doprinosa na svim mogućim putanjama, ponderisana verovatnoćom da je data putanja zauzeta. Američki fizičar iz XX veka Edvin Džejns izneo je čak pretpostavku da su fizika i teorija informacija blisko povezane (vidi str. 54).

Fermaov i princip najmanje akcije spadaju i dalje u najmoćnije alate u fizici, i sad se nalaze u središtu nastojanja na objedinjavanju sila prirode (vidi str. 50) i na objašnjavanju samih početaka našeg sve-mira (vidi str. 174).

## Ukratko

**Svetlosni zraci kreću  
se najkraćim putem.**

# 2. Njutnovi zakoni

Isak Njutn objavio je 1687. knjigu koja se danas smatra začetkom savremene matematičke fizike. U središtu njegove revolucije nalazila su se tri principa koja su rezimirala ponašanje objekata pod uticajem sila. Ovi zakoni će dominirati fizikom kretanja sve do XX veka.

**N**jutnova tri zakona kretanja su stotinama godina predstavljala najbolji opis kretanja i međusobnog delovanja svakodnevnih predmeta – grana fizike poznata kao mehanika. Objavljeni su 1687, posle mnogo eksperimentalnog i teorijskog istraživanja, kao deo njegove knjige *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematički principi prirodne filozofije*), poznatijoj kao *Principi*. Pre toga, mehanikom su dominirale teorije grčkog filozofa Aristotela – za koje je napredna eksperimentalna nauka XVII veka dokazala da su pune grešaka. Ne samo da je Njutnova verzija mehanike bila prva predstavljena u vidu preciznih matematičkih jednačina nego su i odgovori koje su davale te jednačine bili nepogrešivi.

Prvi Njutnov zakon glasi da telo ostaje u stanju mirovanja ili se kreće konstantnom brzinom ako na njega ne deluje nijedna sila (ovu ideju je 1632. prvi izneo italijanski matematičar i astronom Galileo Galilej). U suštini, nepomičan objekt ostaće nepomičan, a objekt koji se već kreće nastaviće da se kreće istom brzinom i u istom pravcu osim ako se na njega ne deluje nekom spoljnom silom.

Možda se pitate zašto ova knjiga, ako je ispustite, pada prema tlu, ali to je zato što gravitacija deluje konstantnom silom odozdo. Izvan gravitacionih polja ili u uslovima stvarne „nulte gravitacije“, poput

## HRONOLOGIJA

**4. vek p. n. e.**

Grčki filozof Aristotel izneo ideje o ponašanju tela u pokretu

**1021.**

Persijski filozof Ahmed Biruni predložio koncept ubrzanja kao promene brzine

**1632.**

Italijanski astronom Galileo Galilej objavio svoje ideje o konceptu inercije

Zemljine orbite, objekti oslobođeni iz stanja mirovanja uistinu lebde u prostoru, baš kao što je predviđao Njutn.

### LINIJA SILE

Drugi zakon kvantifikuje kako se tačno menja kretanje objekta kad se na njega deluje silom. Njutn je postulirao da objekt ubrzava u istom pravcu kao sila, te stopom koja zadovoljava matematičku jednačinu da je sila = masa x ubrzanje. Ovo znači da lakši objekti pod dejstvom iste sile ubrzavaju brže od težih: ako prepolovimo masu objekta, on će ubrzavati dvostruko brže.

Otpor masivnih objekata kretanju naziva se inercija. O njoj možete razmišljati sa stanovišta prvog zakona. Telo ostaje u stanju mirovanja ili se kreće konstantnom brzinom ako na njega ne deluje nijedna sila, i upravo inercija tela – kojom upravlja njegova masa – određuje koliko će tačno delovanje sile poremetiti to stanje mirovanja ili kretanja konstantnom brzinom.

Treći Njutnov zakon odnosi se na silu kojom tela deluju jedna na druge. On glasi da za svaku silu akcije koja deluje na neko telo postoji

## Isak Njutn (1643–1727)

Isak Njutn rodio se u Vulstorpu, seocetu u engleskoj grofoviji Linkolnšir. Otišao je 1661. u koledž Trinitu, u Kembridžu. Diplomirao je 1665, kad se na dve godine vratio u Vulstorpe da bi li izbegao londonsku veliku kugu. Smatra se da je upravo za vreme te dvogodišnje osame došao do nekih svojih najvažnijih ideja.

Po povratku u Kembridž 1667, Njutn je izabran za predavača na Trinitu koledžu. Dve godine kasnije, sa svega 26 godina, postao je profesor matematike.

Tokom svoje blistave karijere, Njutn je dao presudan doprinos ne samo fizici kretanja nego i gravitaciji, optici, fluidima, termalnoj fizici i matematici. Napravio je prvi reflektorski teleskop na svetu, a neki mu pripisuju i izum poklopca na vratima za mačke. Postao je predsednik Kraljevskog društva 1703, najstarijeg naučnog udruženja na svetu, a dve godine kasnije proizveden je u viteza.

Njutn se nikad nije ženio i čuven je po tome što je stvorio mnogo neprijatelja, često zbog prava prvenstva u nekom naučnom otkriću. Kasnije u životu bio je upravnik Kraljevske kovnice novca i ponosio se činjenicom da je poslao desetine falsifikatora na vešala. Umro je u snu, 31. marta 1727. Konstatovano je da je umro prirodnom smrću, mada može biti da joj je delimično doprinelo i trovanje živom, nastalo za vreme njegovih brojnih alhemičarskih eksperimenata.

### 1687.

Isak Njutn objavio svoja tri zakona kretanja u knjizi *Matematički principi...*

### 1750.

Švajcarski matematičar Leonard Ojler proširio Njutnove zakone na čvrsta tela

### 1905.

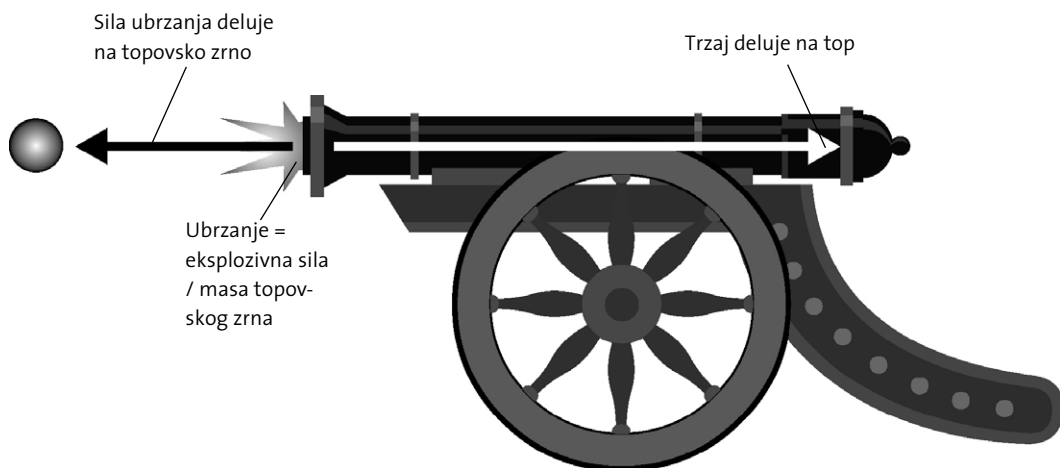
Ajnštajnova specijalna teorija relativnosti označila prvo veliko odstupanje od Njutnovih zakona

jednaka i suprotna sila reakcije. Prema tome, kad sednete na stolicu, vaša težina koja pod dejstvom sile teže pritiska naniže, uravnotežena je jednakom i suprotnom silom pritiska naviše, kojom deluje stolica. Izvor ove „normalne reakcije“, kako se to u fizici naziva, jeste mreža hemijskih veza između atoma i molekula od kojih je sačinjena stolica. Naravno, nema garancije da će ova hemijska struktura dorasti zadatku – ako ste previše teški, stolica će se slomiti i normalne reakcije će nestati.

### TAJNA TRZAJA

Upravo Njutnov treći zakon objašnjava zašto vas puška udari u rame kad opalite iz nje. Povlačenjem okidača oslobađa se udarna igla, koja šalje varnicu u patronu. Gasovi koji se šire potiskuju metak napred, ali zahvaljujući trećem Njutnovom zakonu, tu je i podjednaka nasuprotna sila koja potiskuje pušku prema vama. Ovde, uzgred, možemo prizvati i na drugi Njutnov zakon – sila = masa x ubrzanje – da objasnimo zašto metak ubrzava u toj meri brže od mnogo težeg tela oružja.

Strogo uzev, Njutnovi zakoni odnose se samo na objekte čija je masa koncentrisana u jednoj tački u prostoru. Oni su teorijska idealizacija koja olakšava proračune, ali ne mora dati celovitu sliku. Oko 1750. godine, švajcarski matematičar Leonard Ojler proširio je Njutnovu raspravu na čvrsta tela veća od materijalne tačke. Ustanovio je da



Njutnovi zakoni i dalje važe ako se uzme da je masa tela koncentrisana u njegovoj napadnoj tački gravitacione sile. Međutim, zapazio je i da dodatni zakoni upravljaju rotiranjem tela – što se temelji na obrtnom ili momentu sile primenjene na telo i preciznoj distribuciji njegove mase oko centra gravitacije. Rezultujuće Njutn-Ojlerove jednačine daju tačan opis tela u stvarnom svetu.

### ŠTA JE BILO POSLE

Kasnije se ispostavilo da u nekim ekstremnim slučajevima čak ni ovi zakoni ne mogu sve da objasne. Albert Ajnštajn izneo je 1905. svoju specijalnu teoriju relativnosti (vidi str. 26), gde se ponašanje tela koja se kreću skoro brzinom svetlosti znatno razlikuje od Njutnovih predviđanja. U narednim godinama, Ajnštajnova opšta teorija relativnosti (vidi str. 30) dovela je do daljih odstupanja u prisustvu jakih gravitacionih polja. U međuvremenu, dvadesetih godina XX veka postalo je jasno da je, na nivou subatomske materije, uređeni deterministički stav njutnovske fizike zamenjen nasumičnošću kvantne mehanike (vidi str. 34). Bez obzira na to, Njutnovi zakoni kretanja ostaju odlična aproksimacija razmere brzine i razdaljine, i ambijentalne gravitacije našeg svakodnevnog sveta. U tom režimu potvrđeni su vekovima eksperimentalnog proučavanja i precizno opisuju kretanje svega, od sudaranja bilijarskih kugli do planeta u orbiti u oko Sunca.

**”PRIRODA I ZAKONI NJENI, LEŽAHU U TMINI SKRIVENI; BOG REČE: 'NEKA NJUTN BUDE!', I BI SVETLOST, SIĐE MEĐ LJUDE.“**

Aleksandar Poup (1727)

## Ukratko

**Tela u pokretu pokoravaju se trima matematičkim pravilima.**

# 3. Njutnovska gravitacija

Isak Njutn objavio je 1687. prvu matematičku teoriju gravitacije koja je ikad dospela u javnost. Sve je opisao: od kretanja projektila kroz vazduh do orbite planeta oko Sunca – preko padanje jabuke, naravno! Ova teorija ima bezbroj primena, od putovanja kroz vazduh do satelitske televizije.

**P**ored tri zakona kretanja (vidi str. 10), remek-delo Isaka Njutna *Principi* objavljeno 1687, sadržavalo je i prvu pedantnu raspravu o sili teže. Iznesen s osobenom matematičkom preciznošću, Njutnov zakon univerzalne gravitacije objašnjavao je pojave poput kotrljanja lopte nizbrdo i planetarnih orbita. Taj zakon kaže da je gravitaciona sila između dva masivna tela proporcionalna njihovim masama pomnoženim zajedno, te podeljenim kvadratom nad udaljenošću između njih. Ako se udvostruči ijedna od dve mase, udvostruči se i sila. Međutim, ukoliko se udvostruči udaljenost između njih, sila se smanji četiri puta. Reč je o relativno jednostavnom matematičkom odnosu – do koga je Njutn došao pošto je proučavao ponašanje predmeta koji padaju i astronomske podatke o kretanju planeta.

## JABUKE KOJE PADAJU

Ovaj zakon kaže da objekt oslobođen iz mirovanja na Zemlji, poput jabuke koja padne s drveta, ubrzava prema tlu stopom koju određuje isključivo masa i veličina planete. Na površni Zemlje, stopa ubrzanja usled gravitacije iznosi 9,8 metara u svakoj sekundi. To jest, u svakom narednoj sekundi slobodnog pada, brzina kretanja naniže povećava se za 9,8 metara u sekundi – masa padajućeg objekta je tu potpuno nebitna.

## HRONOLOGIJA

**1609–1619.**

Nemački matematičar Johan Kepler objavio tri rada o kretanju planeta

**1666.**

Robert Huk predstavio Kraljevskom društvu svoje prve ideje o gravitaciji

**1687.**

Isak Njutn izneo u *Principima* svoju prvu teoriju gravitacije

Objekti bačeni vertikalno uvis, gubiće u početku istom tom stopom u brzini pre nego što počnu da padaju na tlo. A oni s horizontalnom komponentom brzine kreću se kroz vazduh zakrivljenom putanjom (parabola), koja ih vraća na Zemlju u tački na izvesnoj udaljenosti od one s koje su krenuli.

Primena njutnovske gravitacije na projekte na Zemlji zapravo je samo aproksimacija zato što naša atmosfera uvodi otpor vazduha – aerodinamički otpor koji usporava kretanje tela naniže, čak vrlo značajno pri velikim brzinama. Otpor vazduha ograničava brzinu padajućeg tela na takozvanu terminalnu (konačnu) brzinu, u zavisnosti od njegovih aerodinamičkih svojstava. Na primer, padobranac u slobodnom padu, koji glavačke ide naniže, ima terminalnu brzinu od 530 kilometara na sat. Otvaranje padobrana usporava ga na 28 kilometara na sat. Na Mesecu, međutim, gde je atmosfera zanemarljiva, Njutnova predviđanja su bez greške – kao što je demonstrirao američki astronaut Alan Šepard, kad je 1971. prokrijumčario na Mesečev modul štap i lopticu za golf. Kako je rekao, loptica koju je udario letela je „miljama i miljama“.

## U ORBITI

Ako se brzina projektila lansiranog sa Zemlje neprestano povećava, on se naposljetku neće vratiti naniže. Umesto toga, dospeće u orbitu – gde će beskonačno kružiti oko planete. Dodajte još brzine i orbita postaje sve šira, dok naposljetku Zemljina gravitacija više nije u stanju da zadrži projektil i on odleti u daleki svemir. Njutn se naročito ponosio ovom „univerzalnošću“ svoje teorije – činjenicom da ona takođe važi na površini Zemlje i milionima kilometara daleko na

## Njutnov zakon gravitacije

Matematički, Njutnov zakon gravitacije kaže da ako su dva tela, mase  $m_1$  i  $m_2$ , razdvojena razdaljinom  $r$ , tada ta dva tela osećaju međusobnu privlačnu silu  $g$ , što je izraženo formulom:

$$g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gde je  $G$  gravitaciona konstanta,  $6,67 \times 10^{-11}$  ( $6.67/100.000.000.000$ ). Sila  $g$  meri se njutnima (N), pri čemu jedan njutn uzrokuje da masa od jednog kilograma svake sekunde povećava brzinu za metar u sekundi.

### 1798.

Britanski fizičar Henri Kevendiš obavio prve laboratorijske testove njutnovske gravitacije

### 1916.

Opšta teorija relativnosti Alberta Ajnštajna zamenila Njutnovu teoriju u ekstremnim slučajevima

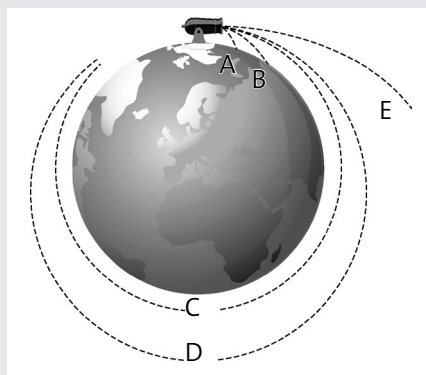
### 1945.

Oslanjajući se na njutnovsku gravitaciju, Artur Č. Klark polaže temelje satelitske komunikacije

## Eksperiment s topovskim zrnom

Isak Njutn osmislio je misaoni eksperiment da dokaže kako njegov novi zakon gravitacije podjednako važi za planete u orbiti oko Sunca i jabuke koje padaju s drveća. Zamislio je topovsko zrno ispaljeno horizontalno s vrha planine. Trajektorija (putanja) zrna određena je njegovom brzinom i privlačnom silom Zemljine gravitacije.

Kod relativno male brzine, zrno lučno leti naniže, budući da ga gravitacija povlači prema površini planete (putanja A na crtežu). Povećajte brzinu zrna i tačka njegovog prizemljenja progresivno se pomera dalje od planine (npr. putanja B). Naposljetku brzina postane dovoljno velika da sferična površina planete opada istom stopom kojom zrno pada prema njoj, pa ono nikad ne stigne do tla nego umesto toga nastavi da kruži u orbiti oko Zemlje (putanja C). Veće brzine mogu razvući orbitu u široku elipsu (putanja D), sve dok naposljetku Zemljina gravitacija više ne može da zadrži zrno i ono odleti u svemir (putanja E). Brzina potrebna za ovo, zvana brzina oslobađanja (ili druga kosmička brzina), određena je isključivo gravitacijom planete i nezavisna od mase topovskog zrna: u slučaju Zemlje, iznosi 11,2 kilometra u sekundi.



obodima Sunčevog sistema. To je uspeo i da dokaže, upotrebivši ovu teoriju da matematički izvede Keplerov zakon kretanja planeta oko Sunca (vidi str. 169).

Međutim, nisu svi saglasni da je Njutnov rad bio trijumf. Britanski filozof prirode Robert Huk optužio je Njutna za plagijat, ustvrdivši kako je on već došao do ideje o modeliranju gravitacije kao „zakona obrnutog kvadrata“ ( $r^2$  iz Njutnove formule – vidi uokvireni tekst na str. 15). Tačno je da je Huk još 1666. godine predstavio ideje o gravitaciji Kraljevskom društvu, ali savremeni istoričari veruju da je ideja o gravitaciji, koja je usledila posle zakona obrnutog kvadrata, već neko vreme bila dobro poznata, pa tako isključive zasluge za nju ne pripadaju ni Huku ni Njutnu. Nesporno je ipak da je Njutn bio prvi koji se dodatno potrudio da ugradi zakon obrnutog kvadrata u punu radnu teoriju i dokaže njenu ispravnost.



## VELIKO $G$

Prvi laboratorijski test Njutnove gravitacije nije sproveden do 1798. – sedam decenija posle njegove smrti – kad je to uradio britanski fizičar Henri Kevendiš. On je uzeo deo uređaja zvanog „torziona vaga“, koja meri silu putem zakretnog momenta torzije napete niti, da bi izmerio malu gravitacionu privlačnost među olovnim utezima. Rezultat eksperimenta potvrdio je teoriju i doveo do prvog preciznog određivanja konstante proporcionalnosti  $G$  u Njutnovoј jednačini – koja je trenutno procenjena na  $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}/\text{s}^2$ .

Njutnovska gravitacija preovladavala je narednih 120 godina, sve dok Albert Ajnštajn nije objavio svoju opštu teoriju relativnosti, nov pristup obuhvatanju zakrivljenosti prostora i vremena (vidi str. 30). Ajnštajn je rešio razne anomalije koje su se javljale u Njutnovoј teoriji, poput činjenice da nije uspela da objasni čudnu orbitu Merkura i savijanje zraka svetlosti oko Sunca. Bez obzira na to, predviđanja opšte relativnosti se u odnosu na Njutnov model značajno razlikuju samo u snažnim gravitacionim poljima, a jednostavnija Njutnova teorija i danas ima različite primene, od prognoziranja vremena do izračunavanja putanja spejskrafata.

Konkretno, britanski pisac naučne fantastike Artur Č. Klark shvatio je četrdesetih godina XX veka da Njutnovi zakoni znače da postoji određena visina iznad Zemlje na kojoj će satelit orbitirati istom brzinom kojom planeta rotira – završavajući jednu orbitu svaka 24 sata. Posmatran sa zemlje, satelit će izgledati kao da visi na nebu. Ove „Klarkove orbite“, 35.786 kilometara iznad nivoa mora, danas obrazuju osnovu satelitske komunikacije i svakodnevno se koriste za prenos informacija i zabave širom sveta.

**„MOGU DA IZRAČUNAM  
KRETANJE NEBESKIH  
TELA, ALI NE I LJUDSKO  
LUDILO.“**

Isak Njutn

## Ukratko

**Što visoko leti,  
nisko pada. Možda.**

# 4. Elektromagnetizam

Mobilna komunikacija putem radio-talasa svakako spada u najveličanstvenija tehnološka sredstva savremenog doba. Ipak, moguća je samo zahvaljujući seriji otkrića u XIX veku, koja je kulminirala tvrdnjom Džejmisa Klerka Maksvela da su elektricitet i magnetizam naprosto različiti aspekti iste stvari.

Jedan od prvih nagoveštaja povezanosti elektriciteta i magnetizma pojavio se u eksperimentima danskog fizičara Hansa Kristijana Ersteda. Godine 1820. primetio je da prolazak električne struje kroz žicu pomera iglu magnetnog kompasa. Pomerajući kompas, Ersted je ustanovio da linije magnetne sile opisuju krugove oko žice. Kasnije iste godine, francuski fizičar Andre-Mari Amper saznao je za Erstedovo otkriće i dao se na posao da formuliše teoriju koja bi ga objasnila. Video je da magnetna polja oko dve paralelne žice čine da se žice međusobno privlače ako struje teku istim pravcem, a da se odbijaju ako se kreću u suprotnim pravcima. Uspeo je to ponašanje da predstavi matematičkim odnosom (danas poznat kao Amperov zakon), koji daje magnetno polje oko svake žice izraženo strujom koja ga proizvodi – i omogućava izračunavanje sile između to dvoje.

## TEKUĆA DEŠAVANJA

Britanski fizičar Majkl Faradej 1831. demonstrirao je obrnuti efekat. Povezao je bateriju na kalem izolovane žice omotane oko jedne strane gvozdenog prstena. Oko druge strane prstena omotao je drugi kalem izolovane žice, čiji su krajevi bili povezani s galvanometrom (instrumentom za merenje električne struje). Kad je uključio kalem na levoj strani, Faradej je primetio kratkotrajnu struju u galvanometru na desnoj strani. Levi kalem stvorio je magnetno polje u gvožđu, koje

## HRONOLOGIJA

**1820.**

Ersted otkrio da električna struja stvara magnetno polje

**1820.**

Amper formulisao teorijsko objašnjenje Erstedovih opažanja

**1831.**

Faradej demonstrirao kako magnetna polja mogu da stvaraju električnu struju

je potom indukovalo struju u desnom kalemu. Isto se desilo prilikom pomeranja običnog magneteta blizu desnog kalema. Faradej je zaključio da promenljivo magnetno polje proizvodi električnu struju – efekat poznat kao indukcija. Ovaj princip iskoristio je za izgradnju prvog električnog generatora – dinama.

Naučni prodor koji je otkrio složeno uzajamno delovanje elektriciteta i magnetizma ostvario je 1861. škotski fizičar Džejms Klerk Maksvel. Radeći u londonskom Kings koledžu, Maksvel je prečistio otkrića Faradeja, Ampera, Ersteda i drugih u četiri povezane matematičke jednačine. Uzmite bilo koju konfiguraciju električnog naboja i/ili električne struje, i jednačine će vam tačno reći kako se ponašaju rezultujuće električno i magnetno polje. One će postati poznate kao Maksvelove jednačine.

Prve dve jednačine sumiraju raniji rad nemačkog matematičara i fizičara Karla Fridriha Gausa, koji je dokazao da se električno polje oko statičkog električnog naboja povećava u direktnoj srazmeri s veličinom naboja – bila je to prva Maksvelova jednačina. Druga jednačina je u suštini kazivala da je mrežno magnetno polje oko neke tačke jednako nuli. Prva jednačina značila je da su linije električnog polja oko električnog naboja sve usmerene radijalno od njega – tako da iz naboja izlazi mrežno električno polje. Međutim, druga jednačina tvrdila je kako isto ne važi i za magnetizam. Bio je to drugi način da se kaže da iako izolovani električni naboji („monopoli“) mogu postojati sami za sebe, magnetni polovi uvek moraju da idu u paru („dipoli“), tako da polje izlazi na jednom polu, a ulazi na drugom. Ovo se slaže s našim iskustvom: magneti uvek imaju severni i južni pol.

Treća Maksvelova jednačina je preformulisano Faradejevo otkriće da električno polje oko tačke (ili, ekvivalentno, struji koja teče kroz kolo) određuje brzina promene magnetnog polja s vremenom.

**„SLUČAJNO SAM OTKRIO DIREKTNU VEZU IZMEĐU MAGNETIZMA I SVETLOSTI, I ELEKTRICITETA I SVETLOSTI, A OBLAST KOJU TO OTVARA JE TAKO VELIKA I, REKAO BIH, BOGATA.“**

Majkl Faradej

### 1835.

Gaus objasnio električno i magnetno polje oko statičkih električnih naboja

### 1861.

Maksvel formulisao svoje četiri jednačine i objasnio jedinstvo električnog i magnetnog polja

### 1864.

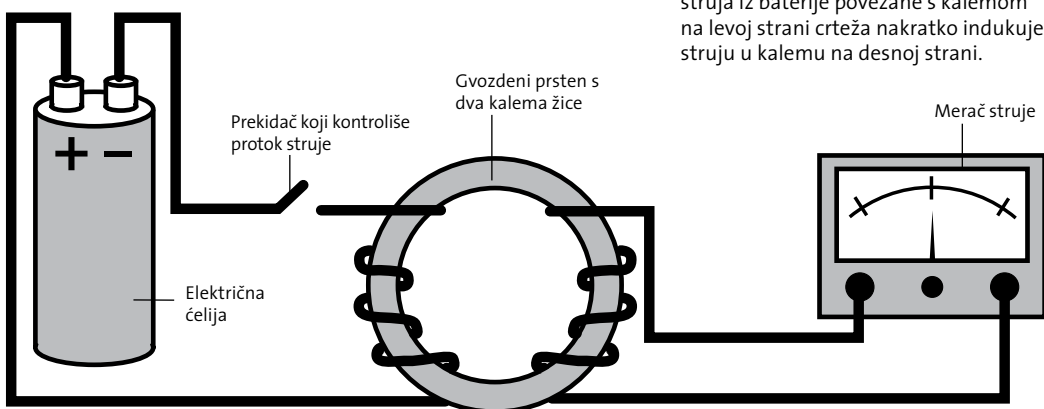
Maksvel iskoristio svoju novu teoriju da predvidi postojanje elektromagnetnih talasa

U međuvremenu, četvrta i posljednja jednačina bila je ekstenzija Amperovog zakona – koji je glasio da struja daje magnetno polje oko tačke. U skladu sa svojom trećom jednačinom, Maksvel je korigovao Amperov zakon tako da uključuje doprinos magnetnom polju iz bilo kog prisutnog promenljivog električnog polja.

Maksvelova spoznaja da promenljiva električna polja ne samo da stvaraju magnetna polja nego i da promenljiva magnetna polja stvaraju električna polja dovela je ubrzo do još jednog značajnog otkrića. Dokazao je da je moguće da promenljivo električno i magnetno polje postoje zajedno, u praznom prostoru, u odsustvu ikakvog električnog naboja ili struja. Magnituda svakog polja raste i opada ravnomernim ritmom – pri čemu oscilacije jednog pobuđuju drugo, po trećoj i četvrtoj Maksvelovoj jednačini. Maksvel je otkrio elektromagnetne talase, a kad je izračunao brzinu kretanja tih talasa kroz prostor – što se, na osnovu njegovih jednačina, ispostavilo kao jednostavna kombinacija električnih i magnetnih svojstava praznog prostora – broj koji je dobio bio je izuzetno blizak brzini svetlosti (trenutno 299.792.458 m/s, približno 300.000 km/s). Njegov zaključak, koji je objavio 1864, bio je jednostavan: i sama svetlost je elektromagnetni talas.

### SNAGA TALASA

Talasna dužina vidljive svetlosti iznosi od 380 do 760 nanometara (milioniti deo milimetra). Međutim, Maksvelova teorija predvide-la je postojanje talasa na svim talasnim dužinama. Neki su bili već



Majkl Faradej demonstrirao je kako struja iz baterije povezane s kalemom na levoj strani crteža nakratko indukuje struju u kalemu na desnoj strani.

poznati, poput infracrvenih i ultraljubičastih talasa, ali ostale je tek trebalo otkriti. Nemački eksperimentalni fizičar Hajnrih Herc upotrebio je 1888. uređaj inspirisan Maksvelovom teorijom da generiše i detektuje elektromagnetne talase s talasnim dužinama između milimetra i mnogo kilometara. Postali su poznati kao radio-talasi i od središnjeg su značaja za najveći deo bežične komunikacije u kojoj danas uživamo.

Poput njutnovske mehanike, Maksvelovu klasičnu teoriju elektromagnetizma prevazići će sredinom XX veka novo tumačenje (vidi str. 38). Ali Maksvelove jednačine bile su revolucija same po sebi. Učvrstile su među fizičarima ne samo važan koncept polja već i „ujedinjenja“ – ideje konsolidovanja svih fundamentalnih sila prirode u jednu sveobuhvatnu teoriju svega, potragu koja sada leži u samoj suštini savremene fizike (vidi str. 50).

### Džejms Klerk Maksvel (1831–1879)

Maksvel je rođen u Edinburgu. Majka ga je podučavala do osme godine, kad je već ispoljavao čudesan intelekt. Posle majčine smrti poslali su ga u Edinburšku akademiju. Isprva se teško uklapao, ali sa 13 godina je počeo da osvaja nagrade. U 14. je objavio prvi naučni rad, o crtanju geometrijskih krivih korišćenjem niti, koji je pročitao pred Kraljevskim društvom u Edinburgu.

Upisao se 1847. na Univerzitet u Edinburgu. Tamo je objavio još dva naučna rada, da bi 1850. prešao na Kembridž, gde je ostao do 1856. Pošto se četiri godine nalazio na čelu odseka u Maršalovom koledžu u Aberdinu, prihvatio je mesto profesora u londonskom Kings koledžu, gde je napravio svoja najznačajnija otkrića u oblasti elektromagnetizma.

Maksvel se 1858. venčao s Ketrin Meri Djuar, ali nisu imali dece. Imao je samo 48 godina kad je umro od abdominalnog kancera. Sahranjen je u Parton Kerku u Galoveju, u Škotskoj.

## Ukratko

**Elektricitet i magnetizam su dve strane iste medalje.**