

LBRIS

We know
books

Supremația probabilității

Cum ne ajută știința incertitudinii
să înțelegem sensul lumii

Tim Palmer

Traducere din limba engleză de
Cosmin Nare



Cuvântul autorului	011
Introducere	019
PARTEA I. Știința incertitudinii	029
1. Haos, haos peste tot	031
2. Geometria haosului	048
3. Fluturi zgomotoși de milioane de dolari	075
4. Incertitudinea cuantică. Realitate pierdută?	097
PARTEA a II-a. Prezicerea lumii haotice în care trăim	119
5. Cele două drumuri către Monte Carlo	121
6. Schimbarea climatică	151
7. Pandemiile	184
8. Crahurile financiare	204
9. Conflict letal și ansamblul digital ale navetei spațiale Pământ	226
10. Decizii! Decizii!	245
PARTEA III. Înțelegerea Haosului Universal și a locului nostru în acesta	267
11. Incertitudinea cuantică. Redobândirea realității	269
12. Creiere zgomotoase	295
13. Liber arbitru, conștiință și Dumnezeu	315
Mulțumiri	332
Bibliografie	337
Note	345

PARTEA I

Știința incertitudinii

Cu cât mai mare e îndoiala, cu atât mai intensă e deșteptarea.

Atribuit lui Albert Einstein

Când citesc aceste cuvinte simt un fior și mi se ridică părul pe ceafă. Știa! Acum treizeci și patru de ani, el știa!

Ian Stewart, *Dumnezeu joacă zaruri?*¹⁵,

O descriere a descoperirii
geometriei fractale a haosului
de către Ed Lorenz în 1963

În Partea I se discută trei idei importante. Prima este că o specie de geometrie, pe care eu o numesc geometria haosului, explică de ce unele sisteme își pot păstra stabilitatea și predictibilitatea un timp îndelungat, comportamentul lor viitor devenind, cu toate acestea, complet incert în anumite momente. A doua idee se aplică unor sisteme atât de complexe încât nu vom reuși niciodată să le transpunem într-un model precis. În astfel de situații, adăugarea de zgomot într-un model poate fi o modalitate bună de a reprezenta ceva din complexitatea care nu poate fi surprinsă. Astfel, zgomotul devine adesea o resursă constructivă, nu o problemă supărătoare, așa cum o considerăm de obicei. Voi oferi o serie de exemple care să ilustreze valoarea constructivă a zgomotului. În final voi discuta incertitudinea din mecanica cuantică și voi explica de ce majoritatea fizicienilor consideră că aceasta

este diferită de incertitudinea care caracterizează alte sisteme haotice discutate în această Parte. Ideile conturate în această Parte a cărții își găsesc aplicație în Părțile II și III.

1 Haos, haos peste tot

Mulți dintre noi ne-am descrie viețile drept haotice, dezordonate și confuze. Într-adevăr, știința haosului descrie sisteme ale căror comportamente sunt atât de impre-
dictibile, încât creează impresia de dezordine și confuzie. Este ciudat, așadar, cum știința haosului a apărut inițial din studierea a ceea ce majoritatea consideră întruparea ordinii și predictibilității: mișcarea planetelor. Știm cu toții că Soarele va răsări la Est, nu doar mâine, ci în fiecare zi a restului vieții noastre. Și, cum putem prezice cu mare precizie mișcarea Pământului în jurul Soarelui și pe cea a Lunii în jurul Pământului, cunoaștem cu certitudine ora fluxului și data unei eclipse, nu doar peste câteva zile, ci pentru tot restul vieții noastre.

Și, cu toate acestea, mișcarea viitoare a planetelor în cadrul sistemului solar este profund imprezvizibilă și, deci, incertă.

Povestea începe odată cu renașterea științifică, acea serie de evenimente care marchează apariția științei moderne. Renașterea a fost declanșată de lucrarea lui Nicolaus Copernic, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, publicată în 1543 și completată prin lucrarea lui Isaac Newton, *Principia Mathematica*, în 1687.

În acest tratat, pe baza celor trei legi celebre ale mișcării, împreună cu legea gravitației, Newton deduce formula descoperită empiric de astronomul german Johannes Kepler, anume că orbita unei planete în jurul Soarelui este o elipsă cu Soarele într-unul din focare.¹⁶ Pentru efectuarea acestei

Weknow books

predicții, Newton ignoră complicațiile sistemului solar real și presupune că acesta este compus din doar două corpuri gravitaționale: Soarele și planeta în cauză.

Legile lui Newton nu lasă loc de întâmplare sau nedeterminare. Cunoscând poziția și viteza unei planete în momentul de față și forțele care vor acționa asupra planetei, se pot calcula poziția și viteza planetei în orice moment ulterior. Cei care am făcut fizică în liceu ne aducem aminte de problemele acelea grele pe care le aveam ca temă pentru acasă, care cereau să se calculeze distanța precisă pe care o va parcurge un proiectil lansat cu o anumită viteză și sub un anumit unghi de elevație. Acest calcul oferă un exemplu al modului aparent în care este determinat viitorul prin aplicarea legilor lui Newton unui set de condiții inițiale date. Din acest motiv, legile lui Newton se mai numesc și deterministe. În 1814, filosoful și matematicianul francez Simon Laplace a scris despre un demon¹⁷ ipotetic, care s-ar folosi de determinismul newtonian pentru a prezice exact viitorul. Iată ce spune Laplace:

„Un intelect care, la un moment dat, ar cunoaște toate forțele din natură și pozițiile tuturor obiectelor din natură, dacă ar fi și suficient de vast ca să poată analiza toate aceste date, ar cuprinde într-o formulă unică mișcările celor mai mari corpuri din univers și pe cele ale fiecărui atom deopotrivă; pentru un astfel de intelect nu ar exista nimic incert iar viitorul, la fel ca trecutul, ar fi prezent în fața ochilor.“

Referirea la „formula unică“ este relevantă, deoarece Laplace a fost unul dintre mulții oameni de știință de după Newton care s-au străduit din greu să generalizeze formula elipsei¹⁸ pentru a descrie orbitele dintr-un sistem solar ipotetic cu trei sau mai multe corpuri legate prin forțe gravitaționale, de exemplu Soarele, Pământul și Luna, sau Soarele,

Pământul, Luna și Jupiter. O formulă în care să se introducă timpul și să se obțină pozițiile planetelor la acel moment.

Această problemă a devenit cunoscută drept problema cu n corpuri gravitaționale. Newton rezolvase problema pentru două corpuri (Soarele și Pământul, de pildă). Acum exista o competiție pentru găsirea formulei pentru $n = 3$ sau mai mult. Laplace și contemporanii lui nu au reușit. Găsirea acesteia a devenit o *cause célèbre* și, la aniversarea vârstei de 60 de ani, Regele Oscar II al Suediei a oferit un premiu pentru oricine ar fi reușit.

Problema a fost în final rezolvată spre sfârșitul secolului 19 de către fizicianul și matematicianul francez Henri Poincaré, vărul președintelui Franței, Raymond Poincaré. Soluția dată de acesta a luat prin surprindere comunitatea științifică. În vreme ce toți marii titani ai matematicii pleaseră de la presupunerea că o astfel de formulă trebuia să existe, Poincaré a demonstrat că, pentru $n = 3$ sau mai mult, nu există nici o formulă.

Cum adică nu există nici o formulă? Cu un laptop, care bineînțeles că nu exista pe vremea lui Poincaré, putem folosi legile lui Newton pentru a schița orbitele a trei corpuri pe ecran pentru un interval simulat de peste un milion de ani terestri. În principiu, noi – sau mai degrabă un sistem de inteligență artificială (AI) – am putea găsi o formulă matematică unică, mai complicată decât aceea a unei elipse, care să descrie foarte exact aceste orbite.

Dar, dacă extrapolăm această soluție computerizată la două milioane de ani terestri, vom descoperi că formula noastră nu mai determină orbitele după al doilea milion de ani. Sistemul nostru AI poate, probabil, să găsească o formulă și mai complicată, care să descrie orbitele a trei corpuri pentru un interval de peste două milioane de ani. Dar și această formulă va eșua dacă simularea se extinde la trei milioane de ani.

Într-adevăr, indiferent cât de complexă ar fi o formulă pentru descrierea mișcării a trei corpuri pe orice perioadă finită de timp, formula va eșua pentru perioade mai lungi de timp. Nu există nici o formulă care să poată descrie orbitele acestor corpuri pe perioade de timp extrem de lungi. Aceasta a fost descoperirea lui Poincaré.

O consecință este aceea că orbitele descrise de cele trei corpuri nu se repetă niciodată; dacă s-ar repeta, atunci ar exista o formulă a orbitelor care s-ar aplica pe intervale de timp oricât de lungi. Spunem că orbitele celor trei corpuri sunt non-periodice. Poincaré și-a dat seama că aceasta înseamnă că mișcarea planetelor în cadrul sistemului solar este în ultimă instanță impredictibilă - proprietate împărtășită și de vreme. Prin studierea mișcării planetelor, Poincaré descoperise un fenomen pe care îl numim acum „haos“. Din cauza haosului, nu există nici o formulă de care s-ar putea folosi demonul lui Laplace pentru a vedea oricât de departe în viitor.

Putem căpăta o oarecare înțelegere a acestui haos planetar dacă privim niște instantanee dintr-o animație computerizată pentru $n = 4$ corpuri gravitaționale (Fig. 1)¹⁹.

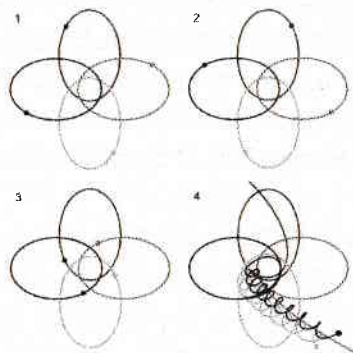


FIG. 1. Instantanee ale orbitelor a patru corpuri gravitaționale. O perioadă foarte lungă, ilustrată de instantaneele 1-3,

corpurile orbitează unele în jurul celorlalte pe trasee aproximativ eliptice. Dar brusc, aparent din senin, obiectele intră pe o spirală care se pierde în infinitul spațiului. Această animație merită din plin urmărită (vezi nota 19 de final).

Acest exemplu a fost conceput pentru a ilustra explicit și spectaculos ceea ce Poincaré a înțeles prin analiză matematică. Pentru o perioadă de timp limitată, orbitele celor patru corpuri seamănă cu niște elipse și, pe baza datelor din această perioadă limitată, un sistem AI ar conchide probabil că mișcarea va continua pe termen nedefinit pe aceste orbite aproape eliptice. Dar, foarte brusc și fără nici un avertisment, planetele decid să o ia la sănătoasa în spațiu! Formula simplă a orbitelor aproximativ eliptice care descrie mișcarea celor patru corpuri în prima perioadă eșuează complet în perioada ulterioară.

Fig. 1 ilustrează o caracteristică a sistemelor haotice care este adevărată și pentru vreme și, poate, pentru economie și multe alte sisteme. La fel ca momentul „Michael Fish“ descris în introducere, sistemul pare predictibil la un nivel rezonabil până când, din senin, se comportă într-un mod total neprevăzut.

Ar putea Pământul să fie ejectat în acest fel din sistemul solar? Dacă s-ar întâmpla asta, atunci încălzirea globală, crizele financiare și orice altceva discutat în această carte ar deveni irelevant. Cum putem afla? Printr-un model computerizat al sistemului solar și simularea evoluției acestuia.

Dar ne putem baza pe un model computerizat pentru prezicerea unui astfel de eveniment? Poate că, la fel ca prognoza meteo a lui Michael Fish, modelul ne va spune să nu ne facem griji. Poate că modelul ar prezice că Pământul din simulare va continua să orbiteze periodic în jurul Soarelui, iar noi să ne trezim că Pământul real este aruncat în afara sistemului solar după cinci ani.

Modul de abordare a acestei preocupări legitime este de a înțelege care sunt principalele incertitudini în ce privește prezicerea orbitelor viitoare ale planetelor. În cazul de față, cea mai mare incertitudine se leagă de poziția exactă a planetelor. Pentru a ocoli această problemă, putem rula simularea de câteva sute de ori, fiecare simulare plecând de la poziții inițiale ale planetelor foarte ușor diferite, în concordanță cu incertitudinea. Acesta este un exemplu de prognoză de ansamblu, o noțiune cu care ne vom întâlni des în această carte.

Putem să ne liniștim. Cercetătorii de la Universitatea Princeton au rulat un astfel de ansamblu²⁰, iar în nici unul dintre membrii ansamblului Pământul nu a fost aruncat din sistemul solar în următoarele miliarde de ani. Putem deci să asociem acestui eveniment de criză potențială o probabilitate foarte apropiată (dar nu riguros identică) cu zero. Singurul eveniment de criză remarcabil din aceste ansambluri este că, în cam 1 la sută din membrii ansamblului, orbita lui Mercur devine suficient de excentrică pentru a intra în coliziune cu Venus peste câteva miliarde de ani.

Iată primul exemplu de aplicație a metodei prognozei de ansamblu. Aceasta ne permite să concluzionăm că este extrem de improbabil ca Pământul să fie aruncat în afara sistemului solar. Totuși, astfel de prognoze de ansamblu arată că șansele ca Pământul să fie lovit de un asteroid minor, care ar putea distruge cu ușurință un oraș mare ca Londra, nu sunt complet neglijabile. De aceea monitorizăm amenințarea provenită de la asteroizi cât mai atent cu putință²¹.

După moartea lui Henri Poincaré, un matematician de la Harvard pe nume George Birkhoff a preluat onoarea de a fi principalul expert în problema gravitației unui număr n de corpuri cerești. În anii 1930, Birkhoff a preluat un student

strălucit, Ed Lorenz, care își începea studiile postuniversitare după ce terminase matematica la o facultate învecinată din Ivy League, în New England. Problema la care a lucrat Lorenz sub coordonarea lui Birkhoff nu a fost cea a gravitației unui număr de n corpuri, ci așa numita geometrie Riemanniană. Se pare, totuși, că tânărul Lorenz preluase ceva din gândirea lui Birkhoff, întrucât la începutul anilor 1960 Lorenz urma să facă una dintre cele mai mari descoperiri din teoria haosului și, așa spune, din știință în general. Lorenz a descoperit geometria fractală a haosului.

Planurile lui Lorenz de a deveni matematician au fost năruite de izbucnirea celui de-Al Doilea Război Mondial și, drept rezultat, a fost nevoit să decidă cum își putea folosi cel mai bine talentul matematic în slujba efortului de război. Cum meteorologia îl fascinase încă de copil, Lorenz s-a înscris la un curs de meteorologie și a fost trimis apoi ca meteorolog în operațiunile militare din zona Pacificului.

După război, Lorenz avea posibilitatea să își continue studiile de matematică la Harvard. Dar activitatea din timpul războiului îi resuscitase interesul față de meteorologie, astfel încât a schimbat domeniul și a ales un doctorat la Institutul Tehnologic Massachusetts (cunoscut îndeobște drept MIT) în domeniul noilor modele fizice de prognoză meteo care începeau să fie dezvoltate în perioada imediat următoare războiului. În 1956, după doctoratul de la MIT și o perioadă post-doctorală la Universitatea California, lui Lorenz i s-a oferit un post permanent la MIT. Între altele, era responsabil de coordonarea unui grup de cercetători care explorau posibilitatea de a face prognoze meteo pe interval de aproximativ o lună.

În acea perioadă nu se înțelegea mai nimic din ce înseamnă o prognoză pe mai mult de una sau două zile. Unii dintre principalii statisticieni ai vremii i-au spus lui Lorenz că