

DĂ OARE DUMNEZEU
CU ZARUL?

Ian Stewart (născut în 1945), membru al Societății Regale din Marea Britanie, profesor la Universitatea din Warwick și autor a peste 170 de articole științifice, este unul dintre matematicienii care s-au adresat constant publicului larg, fiind răsplătit cu Medalia Faraday și cu Medalia de Aur a Institutului de Matematică pentru cele peste douăzeci de cărți de popularizare a științei. Dintre lucrările lui Ian Stewart, la Editura Humanitas au apărut *Doar șase numere*, *De ce frumusețea este adevărul* și *Îmblânzirea infinitului*.

IAN STEWART

DĂ OARE DUMNEZEU
CU ZARUL?

NOUA MATEMATICĂ A HAOSULUI

Traducere din engleză de
Alexandru Gica

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Redactor: Vlad Zografi
Coperta: Ioana Nedelcu
Tehnoredactor: Manuela Măxineanu
Corector: Cecilia Laslo
DTP: Corina Roncea, Dan Dulgheru

Tipărit la Proeditură și Tipografie

Ian Stewart

Does God Play Dice? The New Mathematics of Chaos

Copyright © Ian Stewart, 1989, 1997

All rights reserved.

First published in Great Britain in the English language by Penguin Books Ltd.

© HUMANITAS, 2015, pentru prezenta versiune românească

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Stewart, Ian

Dă oare Dumnezeu cu zarul?: Noua matematică a haosului / Ian Stewart;

trad.: Alexandru Gica. – București: Humanitas, 2015

ISBN 978-973-50-4753-5

I. Gica, Alexandru (trad.)

51-7

EDITURA HUMANITAS

Piața Presei Libere 1, 013701 București, România

tel. 021/408 83 50, fax 021/408 83 51

www.humanitas.ro

Comenzi online: www.libhumanitas.ro

Comenzi prin e-mail: vanzari@libhumanitas.ro

Comenzi telefonice: 0372 743 382; 0723 684 194

Prefață la ediția a doua

Prima ediție a cărții *Dă oare Dumnezeu cu zarul?*, apărută în 1989, n-a avut prefață. Treceam printr-o perioadă în care nu scriam prefețe, fiindcă îmi închipuiam că nimeni nu le citește, așa că am început cartea cu un prolog. Prologul a rămas, dar acum există și o prefață. Ar fi fost exagerat să fie două prologuri. Dacă aveți cumva prima ediție și vă întrebați dacă noua ediție e suficient de diferită pentru a merita s-o cumpărați, trebuie fie să citiți această prefață, fie să răsfoiți capitolele 14–17, unde se găsesc lucrurile noi. Dacă n-o faceți, cumpărați-o oricum. Vă puteți hotărî pe urmă acasă dacă citiți prefața sau nu.

„Haosul“ nu e doar un cuvânt la modă pentru „aleator“. În sensul care predomină azi în știință, e un concept cu totul nou și diferit. Haosul apare atunci când un sistem determinist (adică nealeator) se comportă într-o manieră aparent aleatoare. Poate suna paradoxal, dar „aparent“ ascunde multe dificultăți. Marea descoperire a ultimului deceniu este că haosul e la fel de des întâlnit ca tipurile tradiționale de comportament regulat precum stările staționare sau ciclurile periodice. Privind în urmă, nu găsim nimic cu adevărat surprinzător legat de haos. Din perspectiva actuală, e ușor de înțeles cum apare haosul și de ce e frecvent întâlnit. Și totuși, multă lume, printre care și oameni de știință, vorbește despre haos ca despre ceva straniu și exotic. Îmi cer scuze, nu e cazul. Haosul este la fel de comun precum ciclurile periodice. De secole ne-am obișnuit cu ciclurile

periodice, pe când haosul l-am descoperit de curând și încă nu ne-am obișnuit cu el. Nici aceasta nu e o surpriză, haosul este mult mai subtil și mai complicat.

Noțiunea de haos a parcurs un drum lung din 1989. S-a transformat în presa populară în ceva numit „teoria haosului“. Cred că e o greșeală să privești haosul ca pe o teorie în sine, dar apreciez faptul că jurnaliștii caută o exprimare atrăgătoare pentru a rezuma lucrurile. Și, în fond, cum să-l numești? Uneori folosesc și eu exprimarea asta, dar o fac referindu-mă la imaginea populară despre haos, pentru a o deosebi de cea a oamenilor de știință. Totuși, haosul *nu este* o teorie. E un concept care nu poate fi separat de restul dinamicii. E o idee care transgresează toate granițele domeniilor tradiționale ale științei. E o piesă lipsă dintr-un puzzle vast. E o unificare amplă a ordinii și dezordinii. Dar, indiferent ce ar fi, are rost să izolezi haosul ca o teorie de sine stătătoare în aceeași măsură în care are rost să izolezi „teoria scheletului“ de zoologie.

Există într-adevăr o nouă teorie numită teoria sistemelor neliniare, teoria sistemelor dinamice sau dinamică neliniară; nouă nu în sensul că nimic de felul acesta n-ar fi existat înainte, ci în sensul că „a decolat“ și merită să fie considerată o teorie de sine stătătoare. Deseori asta e ceea ce înțeleg oamenii atunci când spun „teoria haosului“. De fapt, există cel puțin două sensuri ale cuvântului „teorie“. Un sens e folosit în expresii precum „teoria cuantică“ sau „teoria relativității“ – un enunț privind comportamentul naturii. Utilitatea unei asemenea teorii depinde de măsura în care se potrivește cu natura. Teoria sistemelor neliniare este o teorie în celălalt sens: un corp coerent de cunoștințe matematice având o identitate clară și coerentă. Ca atare, corectitudinea ei nu intră în discuție: când matematica e greșită, erorile sunt în general evidente. Marea întrebare este: conduce oare noțiunea de haos la noi descoperiri științifice? (Dacă nu, atunci trebuie să renunțăm la dinamica neliniară.) Poate teoria

haosului în sens matematic să devină baza unor noi teorii în sens științific?

În acest punct haosul devine un subiect controversat, fiindcă problema nu mai e doar aceea de a verifica matematica și a ne asigura că nu apar erori. În mod asemănător, analiza e o teorie matematică acceptată, dar de aici nu rezultă că orice aplicație a analizei matematice în știință trebuie să fie valabilă. Dacă folosești ecuații diferențiale greșite ca să descrii mișcarea Lunii, atunci, chiar dacă aplici corect analiza matematică, ceea ce obții e absurd. Același lucru e valabil dacă modelul tău teoretic generează haos: legătura modelului cu haosul poate fi impecabilă, dar ce putem spune despre legătura dintre realitate și model?

Dă oare Dumnezeu cu zarul? urmărește două scopuri. Unul este acela de a explica noțiunea matematică de haos și de a arăta de ce este deopotrivă naturală și inevitabilă. Celălalt scop e să răspundă la întrebarea: apare haosul în lumea reală? Pentru ca această întrebare să aibă sens, ea trebuie reformulată. Nici un fel de matematică *nu apare* în lumea reală. Ceea ce face matematica este să modeleze lumea reală într-o manieră utilă. Geometria cercului ne ajută să înțelegem de ce roțile rulează lin, dar nu vei găsi un cerc matematic veritabil într-o mașină. Poți găsi două oi, două mere sau două rafturi în lumea reală, dar nu vei întâlni niciodată numărul doi ca atare. Așadar, întrebarea ar trebui să fie: „Noțiunea matematică de haos modelează oare lumea reală într-o manieră utilă? Ne ajută ea să înțelegem ceva din lucrurile pe care le vedem?”

Dacă răsfoiești revistele științifice, e absolut limpede că răspunsul este „da”. În 1995, am fost în Utah la o conferință despre aplicațiile sistemelor dinamice, conferință organizată de Societatea pentru Matematică Industrială și Aplicată (SIAM). SIAM este primul corp profesional al celor care practică matematica aplicată în țara cea mai avansată tehnologic din lume, și nu vreun grup de excentrici. La conferință au participat timp de patru zile aproximativ 500 de matematicieni și au fost

vreo 200 de comunicări (în sesiuni paralele). Aproape jumătate din aceste comunicări au fost despre haos sau probleme legate de haos, cum ar fi noile metode de analiză a datelor. Prin urmare, dacă cineva vă spune că haosul nu-i decât o șmecherie publicitară, să știți că se înșală; e pe afiș de prea multă vreme și a pătruns prea adânc în conștiința științifică pentru a fi vorba de așa ceva. Desigur, acest nivel de activitate nu garantează că orice aplicație a haosului propusă este și corectă. Presupunerea că, odată ce teoria haosului a fost „demonstrată“ într-un domeniu, ea trebuie acceptată peste tot – cred că acesta e motivul pentru care unii critici sunt atât de vehemenți – decurge din confuzia între cele două sensuri ale cuvântului „teorie“, despre care tocmai am vorbit. Fiecare aplicație în parte trebuie să-și dovedească utilitatea în cadrul propriului ei domeniu științific.

Această nouă ediție a cărții de față se deosebește de precedentă în primul rând prin prezentarea unor noi aplicații. Am lăsat ediția întâi practic neschimbată: de atunci, nu s-a întâmplat nimic deosebit care să impună modificări importante. Au apărut trei capitole noi, care au fost introduse la sfârșitul cărții. Primul este despre predicția în sistemele haotice, care e posibilă, în funcție de ce anume dorim să prezicem; se vorbește acolo și despre teme înrudite. Am inclus și câteva noi aplicații, de la pulsațiile stelelor variabile la controlul calității în producția de arcuri. Al doilea capitol nou este despre controlul sistemelor haotice, o posibilă sursă de aplicații practice și un studiu de caz privind avantajul de a învăța să te folosești de haos, în loc să-i negi existența. Între aplicațiile prezentate aici se numără dirijarea mai economică a sateliților artificiali și crearea unor stimuloare cardiace inteligente.

Al treilea capitol nou e mult mai speculativ. Este o încercare de a arăta că noțiunea de haos poate conduce spre un nou răspuns la celebra întrebare a lui Einstein din titlul acestei cărți. Pe Einstein îl nemulțumea mecanica cuantică, despre care se crede îndeobște că e în chip ineluctabil probabilistă. Este oare

posibil ca văditul caracter aleator al lumii cuantice să fie de fapt un haos determinist? Ar fi urmat oare fizica alt curs dacă haosul ar fi fost descoperit înaintea mecanicii cuantice? În 1989 nu erau prea multe de spus în această privință, dar astăzi sunt. Există chiar o propunere explicită în literatura științifică – speculativă, dar întemeiată pe descoperiri solide, unele dintre ele noi. E o poveste fascinantă, iar toate ingredientele ei țin de știința de calitate, doar amestecul general e speculativ. Și, dacă nu speculezi, nu acumulezi.

Am adus de asemenea la zi capitolele din prima ediție. Este absolut sigur că cel puțin unele cazuri de turbulență în fluide se datorează haosului. Sunt câteva rezultate noi privind dinamica sistemului solar, care se pare că nu va supraviețui în forma actuală mai mult de aproximativ un miliard de ani. Universul e mai agregat la scară mare decât ne-am închipuit. Cel puțin în anumite ecosisteme, prezența haosului e aproape o certitudine. Geometria fractală a fost deja folosită în scopuri comerciale. Tehnica matematică a progresat în așa măsură, încât putem demonstra cu toată rigoarea că modelul propus de meteorologul Edward Lorenz conduce la haos. E o veste proastă pentru partizanii ideii că apariția haosului s-ar datora erorilor calculatoarelor, dar una bună pentru fundamentele logice ale dinamicii neliniare.

În fine, a apărut acum un partener al teoriei haosului, cunoscut sub numele de teoria complexității. Teoria haosului ne spune că sisteme simple pot avea un comportament complex; teoria complexității ne spune că sisteme complexe pot avea un comportament „emergent“ simplu. Astăzi, nici o prezentare exhaustivă a haosului nu poate ocoli teoria complexității, iar eu vorbesc despre ea în ultimul capitol. Teoria complexității e într-adevăr controversată, dar aduce cu sine o adiere de aer proaspăt într-un maldăr de teorii liniare îmbăcsite, pretențioase și demodate. Sunt absolut convins că în următoarele decenii tipul de gândire către care teoria complexității se îndreaptă

acum băjbâind se va dovedi de o importanță fundamentală în aproape toate domeniile activității științifice. Nu cred că teoria complexității deține deocamdată răspunsurile, dar cred că ea oferă o perspectivă mai interesantă asupra întrebărilor, care, la rândul ei, conduce spre noi abordări pentru găsirea răspunsurilor.

Nu încerc să vă *vând* haosul. Nu sunt profetul unei noi religii în căutare de adepți. Departe de mine gândul de a obține *credința* voastră. Ce încerc să fac e să vă prezint, cât mai accesibil cu putință, informația de care aveți nevoie pentru a vă face o idee despre realizările haosului din prezent și potențialul lui în viitor. M-am străduit să vă previn de fiecare dată când mă lansez în speculații. În rest, prezint idei sau rezultate publicate în literatura serioasă științifică și matematică. Ceea ce nu înseamnă neapărat că ar fi corecte, ci doar că sunt respectabile...

Îmi dau perfect seama de ce oamenii nu citesc prefețe. Ei trec mai departe, nu-i așa? Și nici n-am apucat să vă vorbesc despre toate acele noi aplicații ale haosului pe care lipsa de spațiu m-a împiedicat să le prezint – haosul din miezul topit al Pământului, din aurora boreală, din structura de profunzime a spațiului-timp, din coloniile de furnici, din teoria codurilor și din comunicații, din vocile cântăreților de operă...

Cred că e cazul să mă opresc.

Ian Stewart,
Coventry, ianuarie 1996

PROLOG

Mecanism de ceasornic sau haos?

Tu crezi într-un Dumnezeu care dă cu zarul, eu cred în lege și ordine desăvârșite.

Albert Einstein,
scrisoare către Max Born

Se spune că istoria e ciclică. Dar, ca o scară în spirală, atunci când cursul evenimentelor a încheiat un ciclu, ajunge la un nou nivel. „Pendularea“ schimbărilor culturale nu repetă pur și simplu iarăși și iarăși aceleași evenimente. Indiferent că această idee e adevărată sau falsă, ea slujește ca metaforă pentru a ne concentra atenția. Subiectul cărții de față reprezintă un astfel de ciclu în spirală: haosul lasă locul ordinii, care, la rândul ei, dă naștere unor noi forme de haos. Dar, în această pendulare, nu căutăm să distrugem haosul, ci să-l îmblânzim.

În trecutul îndepărtat al speciei noastre, natura era considerată o ființă capricioasă, iar absența regularităților în lumea naturală era pusă pe seama capriciilor acelor divinități puternice și de neînțeles care o guvernau. Haosul domnea, iar legea era de neînchipuit.

În cursul mileniilor, omenirea a înțeles treptat că natura prezintă multe regularități care pot fi consemnate, analizate, precise și exploatate. În secolul XVIII, știința izbutise în asemenea măsură să dezvăluie legile naturii, încât mulți credeau că mai rămăseseră puține lucruri de descoperit. Legi imuabile dictau precis și pentru totdeauna mișcarea oricărei particule din univers: sarcina oamenilor de știință era să lămurească implicațiile acelor legi asupra oricărui fenomen particular de interes. Haosul lăsa loc unei lumi asemenea unui mecanism de ceasornic.

Lumea însă a evoluat, iar odată cu ea și perspectiva noastră asupra universului. Astăzi, nici măcar ceasurile noastre nu mai sunt mecanice – și atunci, de ce ar fi lumea noastră așa? Odată cu apariția mecanicii cuantice, lumea de tip mecanism de ceasornic s-a transformat într-o loterie cosmică. Evenimente fundamentale precum dezintegrarea unui atom radioactiv sunt guvernate de întâmplare, nu de legi. În ciuda succesului spectaculos al mecanicii cuantice, trăsăturile ei probabiliste nu i-au încântat pe toți. Celebra obiecție a lui Albert Einstein, într-o scrisoare către Max Born, e citată ca motto al acestui capitol. Einstein se referea la mecanica cuantică, dar filozofia sa surprinde atitudinea unei întregi epoci a mecanicii clasice în care nedeterminarea cuantică e inoperantă. Metafora zarului ca simbol al întâmplării se aplică pretutindeni. Lasă oare loc determinismul întâmplării?

Rămâne de văzut dacă Einstein avea dreptate în privința mecanicii cuantice. Știm însă că lumea mecanicii clasice e mai misterioasă decât și-a închipuit până și Einstein. Însăși distincția subliniată de Einstein dintre caracterul aleator al întâmplării și determinismul legii e pusă sub semnul întrebării. Poate că Dumnezeu dă cu zarul și, în același timp, creează un univers al ordinii și legii.

Ciclul s-a închis, dar la un nivel mai înalt: începem să descoperim că sisteme supuse unor legi imuabile și precise nu se comportă mereu într-un mod predictibil și regulat. Legi simple pot să nu conducă la un comportament simplu. Legi deterministe pot conduce la un comportament ce pare aleator. Ordinea poate naște propriul ei tip de haos. Problema nu este atât *dacă* Dumnezeu dă cu zarul, ci *cum* dă Dumnezeu cu zarul.

Aceasta e o descoperire spectaculoasă, ale cărei consecințe încă nu și-au produs impactul deplin asupra gândirii noastre științifice. Noțiunile de predicție și de experiment repetabil apar altfel din perspectiva haosului. Ceea ce credeam că e sim-

plu devine complicat, iar în privința măsurătorii, a predictibilității și a testării sau infirmării teoriilor apar noi întrebări tulburătoare.

În compensație, ceea ce se credea a fi complicat poate deveni simplu. Fenomene care par întâmplătoare și lipsite de structură ar putea fi guvernate de legi simple. Haosul determinist are propriile sale legi și inspiră noi tehnici experimentale. Nu este penurie de neregularități în natură; unele dintre ele s-ar putea dovedi că sunt manifestări fizice ale matematicii haosului. Curgerea turbulentă a fluidelor, inversarea câmpului magnetic terestru, neregularitățile bătăilor inimii, tiparele convecției heliului lichid, salturile corpurilor cerești, golurile din centura de asteroizi, creșterea populației de insecte, picurarea apei dintr-un robinet, evoluția unei reacții chimice, metabolismul celulelor, schimbările meteorologice, propagarea impulsurilor nervoase, oscilațiile circuitelor electrice, legănarea unui vas ancorat, ricoșeurile unei bile de biliard, ciocnirile atomilor dintr-un gaz, incertitudinea care stă la baza mecanicii cuantice – iată câteva dintre problemele la care a fost aplicată matematica haosului.

Este o lume cu totul nouă, un nou tip de matematică, un mare pas înainte în înțelegerea neregularităților din natură. Suntem martori la nașterea acestei matematici. Doar viitorul ne-o va dezvălui pe deplin.

Cuprins

<i>Prefață la ediția a doua</i>	5
Prolog: Mecanism de ceasornic sau haos?	11
1. Haos din ordine.	15
2. Ecuații pentru orice	34
3. Legile erorii	57
4. Ultimul spirit universal.	72
5. Pendulul în sens unic	91
6. Atractorii stranii.	118
7. Uzina Meteo.	154
8. Rețetă pentru haos	179
9. Întruparea haosului.	203
10. Smochinii și valorile proprii.	233
11. Textura realității	257
12. Întoarcerea la Hyperion	290
13. Dezechilibrul naturii.	321
14. Dincolo de fluture.	355
15. Visul lui von Neumann.	393
16. Haosul și mecanica cuantică.	419
17. Adio, Deep Thought	458
Epilog: Să joci zaruri cu Divinitatea	495
Lecturi suplimentare.	497
Sursele ilustrațiilor	507