

HAOS

Nașterea
unei noi
științe

Traducere din engleză de
Anca Bărbulescu

James Gleick

COLECTIA
DE ȘTIINȚĂ

PUBLICA

CUPRINS

Prolog	15
Efectul Fluturului	27
Edward Lorenz și vremea lui de jucărie. Computerul se comportă aberant. Prognozele pe termen lung sunt sortite eșecului. Ordine deghizată în dezordine. O lume neliniară. „Nu înțelegeam deloc.”	
Revoluție	55
O revoluție a perspectivei. Pendule, bile spațiale și balansoare pentru copii. Inventarea potcoavei. Un mister rezolvat: Marea Pată Roșie de pe Jupiter.	
Suișurile și coborâșurile vieții	87
Reprezentarea matematică a populațiilor de faună sălbatică. Știința neliniară, „studiul animalelor care nu sunt elefanți”. Bifurcații ca de fulger și o plimbare pe Spree. Un film despre haos și un îndemn mesianic.	
Geometria naturii	117
Descoperire despre prețurile la bumbac. Un refugiat din Bourbaki. Erori de transmisie și țărături neregulate. Noi dimensiuni. Monștrii geometriei fractale. Cutremure în schizosferă. De la nori la vase de sânge. Pubelele științei. „A ve-dea lumea într-un grăunte de nisip.”	

Atractori stranii	167	Haos și mai departe	393
O problemă pentru Dumnezeu. Tranziții în laborator. Cilindri rotativi și un punct de cotitură. Ideea lui David Ruelle despre turbulență. Bucle în spațiul fazelor. Foitaje și cârnați. O hartă a astronomului. „Artificii sau galaxii.”		Noi convingeri, noi definiții. Al doilea Principiu, puzzle-ul fulgului de zăpadă și zarurile măsluite. Posibilitate și necesitate.	
Universalitate	211	Postfață	413
Un nou început la Los Alamos. Grupul de renormalizare. Decodarea culorii. Dezvoltarea experimentelor numerice. Inovația lui Mitchell Feigenbaum. O teorie universală. Scrisori de respingere. Întâlnire în Como. Nori și tablouri.		Note despre surse și lecturi suplimentare	
Experimentatorul	253	Mulțumiri	
Helium într-o cutie mică. „Învăltorare nesolidă a solidului.” Curgere și formă în natură. Triumful delicat al lui Albert Libchaber. Experimentul și teoria sunt în acord. De la o dimensiune la o multitudine de dimensiuni.		465	
Imagini ale haosului	285		
Suprafața plană complexă. Surpriză în metoda lui Newton. Setul Mandelbrot: muguri și filamente. Arta și comerțul se întâlnesc cu știința. Limite ale bazinelor fractale. Jocul haosului.			
Colectivul sistemelor dinamice	319		
Santa Cruz și anii 1960. Computerul analog. Asta a fost știință? „O viziune pe termen lung.” Măsurarea imprevizibilității. Teoria informației. De la scara microscopică la cea macroscopică. Robinetul care picură. Sprijin audiovizual. Sfârșitul unei ere.			
Ritmuri interioare	359		
O neînțelegere despre modele. Corpul complex. Inima dinamică. Resetarea ceasului biologic. Aritmie fatală. Embrioni de pui și pulsuri anormale. Haosul văzut ca sănătate.			



Prolog

POLIȚIA DIN ORĂȘELUL Los Alamos¹, New Mexico, s-a agitat pentru scurtă vreme în 1974, când un bărbat a fost văzut furișându-se la adăpostul întunericului, noapte de noapte, cu scânteia roșie a țigării plutind pe străduțe lăturalnice. Se plimba ore în șir, fără țintă, sub lumina stelelor care ciocănea prin aerul subțiat al podișurilor înalte din jur. Nu numai poliția se mira. La Laboratorul Național din vecinătate, niște fizicieni aflaseră că un coleg nou-venit experimenta cu zile de 26 de ore, ceea ce însemna că programul lui de activitate ba se sincroniza, ba se defaza față de al lor. Situația era destul de stranie, chiar și pentru Divizia Teoretică.

În cele trei decenii de când J. Robert Oppenheimer alesese peisajul nepământean din New Mexico pentru proiectul bombei atomice, Laboratorul Național Los Alamos se întinsese pe aria pustie a unui platou, cu acceleratoare de particule și lasere în gaz și centrale chimice, cu mii de oameni de știință, administratori și tehnicieni și cu una dintre cele mai mari concentrații de supercomputere din lume. Unii dintre oamenii de știință mai în vârstă își aminteau clădirile de lemn ridicate în grabă pe buza podișului în anii 1940, dar pentru mare parte a personalului de la Los Alamos (tineri îmbrăcați

ca în facultate, cu pantaloni reiați și cămăși comode), primii fâuritori de bombe nu erau altceva decât niște stafii. Miezul de gândire pură al laboratorului era Divizia Teoretică, sau Divizia T, așa cum cea de calcul era Divizia C, iar cea dedicată armelor era Divizia X. În Divizia T lucrau peste o sută de fizicieni și matematicieni, bine plătiți și liberi de presiunile academice ale predării și publicării. Erau oameni de știință cu experiență în performanță și în excentricitate. Erau greu de surprins.

Dar Mitchell Feigenbaum era un caz neobișnuit. Publicase un singur articol toată viața lui și nu lucra la nimic care să pară cât de cât promițător. Părul îi era o coamă dezordonată, împinsă pe spate de pe fruntea lată, ca la busturile compozitorilor germani. Ochii îi erau surprinzători și pasionali. Când vorbea (mereu repede), tindea să sară peste articole și pronume într-un stil oarecum central-european, deși se născuse în Brooklyn. Lucra obsesiv. Când nu putea să lucreze, se plimba și gândea, zi sau noapte, dar cel mai bine noaptea. Ziua de 24 de ore i se părea o constrângere prea strictă. Dar experimentul lui în domeniul cvasiperiodicității personale s-a încheiat când a decis că nu mai suporta să se trezească la apusul soarelui, ceea ce se întâmpla, inevitabil, o dată la câteva zile.

La vârsta de 29 de ani, devenise deja un savant printre savanți, consultant ad-hoc căutat de oamenii de știință când voiau să discute cu el câte o problemă deosebit de spinosă - asta dacă reușeau să dea de el. Într-o seară a sosit la lucru chiar când pleca directorul laboratorului, Harold Agnew. Acesta era un om important, fusese învățăcelul lui Oppenheimer însuși. Survolase Hiroshima într-o aeronavă tehnică ce însoțise bombardierul *Enola Gay*, pentru a fotografia „livrarea” primului produs al laboratorului.

— Înțeleg că ești foarte deștept², i-a spus el lui Feigenbaum. Dacă ești așa de deștept, de ce nu rezolvi problema fuziunii cu laser?^{*}

Până și prietenii lui se întrebau dacă Feigenbaum avea să producă vreodată o inovație proprie. Oricât de dispus ar fi fost să facă numere de magie spontană cu întrebările lor, nu părea interesat să își dedice propriile studii vreunei probleme cu aplicabilitate practică. Se gândea la turbulențele lichidelor și gazelor. Se gândea la timp - oare luneca înainte uniform sau în salturi mărunte, ca un șir de fotograme cosmice? Se gândea la capacitatea ochiului de a vedea culori și forme consistente într-un univers care, după cum fizicienii deja știau, era un caleidoscop cuantic în continuă schimbare. Se gândea la nori și îi urmărea prin hublourile avioanelor (până în 1975, când i-au fost suspendate privilegiile de călătorie în scopuri științifice pe motiv de utilizare abuzivă) sau de pe traseele de drumetrie de pe înălțimile de deasupra laboratorului.

În orașelele de munte din vestul Statelor Unite, norii rareori seamănă cu pâcla joasă, cenușie și aproximativă care umple aerul din Est. La Los Alamos, la adăpostul unei căldări vulcanice uriașe, norii se revarsă pe cer, în formațiuni aleatorii, ce-i drept, dar în același timp nonaleatorii: se ridică în rânduri uniforme de dinți de fierăstrău sau se rostogolesc în vălurile regulate, ca materia cenușie. Într-o după-amiază furtunoasă, când cerul scânteiază și tremură de electricitatea gata să se dezlănțuie, norii ies în evidență de la aproape 50 de kilometri: filtrează și reflectă lumina, până când tot cerul începe să semene cu un spectacol pus în scenă ca reproș subtil adus fizicienilor. Norii reprezentau o fațetă a naturii pe care

^{*} Sursă experimentală de energie nucleară, încă neproductivă, în care un laser supraîncălzește o capsulă microscopică de combustibil din tritium și deuteriu pentru a genera fuziunea nucleară (n.t.).

fizica o ignorase aproape în totalitate, una în același timp incertă și detaliată, structurată și imprevizibilă. La astfel de lucruri se gândea Feigenbaum, liniștit și neproductiv.

Pentru un fizician, crearea fuziunii cu laser era o problemă legitimă; determinarea vitezei de rotație, a culorii și aromei particulelor mici era o problemă legitimă; datarea nașterii Universului era o problemă legitimă. Înțelegerea norilor era treabă de meteorolog. La fel ca alți fizicieni, Feigenbaum evalua astfel de probleme cu un vocabular de mascul dur, fără efuziuni. De pildă, spunea despre un lucru că era evident, în sensul că rezultatul putea fi înțeles de orice fizician bine pregătit, după suficientă gândire și calcul. Ne-evidente erau cercetările care meritau respect și premii Nobel. Pentru problemele cele mai grele, care refuzau să cedeze înainte să sondezi îndelung măruntaiele Universului, fizicienii rezervau atribute ca „profund”. În 1974, deși puțini dintre colegii lui știa, Feigenbaum lucra la o problemă profundă: haosul.

UNDE ÎNCEPE HAOSUL SE termină știința clasică. De când există fizicieni care cercetează legile naturii, lumea suferă de o ignoranță specială cu privire la dezordinea din atmosferă, din marea agitată, din fluctuațiile faunei sălbatice, din oscilațiile inimii și ale creierului. Latura aceasta neregulată a naturii, fața ei discontinuă și inconstantă au rămas pentru știință niște mistere sau, mai rău, niște monstruoziități.

Dar în anii 1970, câțiva oameni de știință din SUA și din Europa au început să găsească o cale de a străbate dezordinea. Matematicieni, fizicieni, biologi, chimiști, toți căutau legături între diverse tipuri de neregularități. Fiziologii au descoperit o ordine neașteptată în haosul care se dezvoltă în inima umană, principala cauză a deceselor subite și inexplicabile. Ecologii explorau proliferarea și declinul populațiilor

de fluturi din care se dezvoltă omida păroasă a stejarului. Economiiștii dezgropaseră date vechi despre prețurile acțiunilor și încercau un nou tip de analiză. Revelațiile rezultate au dus direct la lumea naturală – formele norilor, căile fulgerului, împletirea microscopică a vaselor de sânge, roiurile de stele din galaxii.

Când a început să se gândească la haos în Los Alamos, Mitchell Feigenbaum era unul dintre foarte puținii oameni de știință care se dedicau subiectului, risipiți prin lume aproape fără să știe unii de ceilalți. Un matematician din Berkeley, California, formase un mic grup dedicat realizării unui nou studiu al „sistemelor dinamice”. Un biolog expert în populații de la Universitatea Princeton se pregătea să publice un apel înflăcărat care chema toți oamenii de știință să analizeze comportamentul surprinzător de complex ascuns în unele modele simple. Un geometru care lucra la IBM căuta un cuvânt nou care să descrie o familie de forme – zigzagate, încâlcite, bifurcate, contorsionate, fracturate – pe care le considera principiul organizator al naturii. Un fizician-matematician francez tocmai formulase afirmația disputată că turbulența fluidelor ar fi avut de-a face cu o abstracțiune bizară și infinit de încurcată pe care o numea „attractor straniu”.

Un deceniu mai târziu, haosul a devenit denumirea prescurtată a unei mișcări în rapidă dezvoltare, care reinventează textura lumii științifice acceptate. Conferințele și revistele despre haos abundă. Administratorii de programe guvernamentale³ care se ocupă de finanțarea pentru armată, CIA și Departamentul pentru Energie al SUA investesc sume tot mai mari în studiul haosului și înființează organisme noi care să se ocupe de fonduri. În orice universitate importantă, în orice centru de cercetare corporatist important, unii teoreticieni se aliază mai întâi cu haosul și de-abia în al

doilea rând cu specialitățile lor nominale. La Los Alamos s-a înființat un Centru pentru Studii Neliniare, pentru coordonarea cercetărilor despre haos și subiecte conexe; au apărut instituții similare în campusurile de pe întreg cuprinsul țării.

Haosul a generat metode informatice speciale și tipuri specifice de reprezentări grafice, imagini care surprind o structură fantastică și delicată care stă la baza complexității. Noua știință a dat naștere unui limbaj propriu, un jargon elegant cu *fractali* și bifurcații, intermitențe și periodicități, *difeomorfisme de tip „prosop împăturit”* și *funcții de tip „tăietel neted”*. Acestea sunt noile elemente ale mișcării⁴, așa cum, în fizica tradițională, quarcurile și gluonii sunt noile elemente ale materiei. Unii fizicieni consideră că haosul este o știință a procesului, nu a stării⁵, care ține de „a deveni”, nu de „a fi”.

Acum, că îl analizează știința, haosul pare să se găsească pretutindeni. O coloană de fum de țigară în urcare se răsfiră în vârtejuri incontroleabile. Un steag pocnește în vânt. Un robinet stricat picură ba într-un ritm uniform, ba la întâmplare. Haosul apare în comportamentul fenomenelor meteorologice, în comportamentul unui avion în zbor, în comportamentul mașinilor⁶ care se aglomerează pe o autostradă, în comportamentul țigăii care curge prin conducte subterane. Indiferent de mediu, comportamentul se supune acelorași legi recent descoperite. Revelația aceasta⁷ a început să schimbe procesul de luare a deciziilor în privința asigurărilor, perspectiva astronomilor asupra sistemului solar, discursul teoreticienilor politici despre tensiunile care duc la conflicte armate.

Haosul încalcă liniile de demarcație între disciplinele științifice separate. Pentru că este o știință a naturii globale a sistemelor, ea unește gânditori din domenii odinioară foarte îndepărtate. „Acum cincisprezece ani⁸, știința se îndrepta

spre o criză a specializării tot mai pronunțată”, remarca un oficial al Marinei responsabil cu finanțarea științifică, în fața unui public format din matematicieni, biologi, fizicieni și medici. „Specializarea aceasta s-a răsturnat dramatic din cauza haosului.” Haosul pune probleme care sfidează metodele de lucru acceptate în știință. Face afirmații ferme despre comportamentul universal al complexității. Primii teoreticieni ai haosului, oamenii de știință care au plantat germele acestei discipline, aveau în comun anumite înclinații. Aveau ochiul format pentru tipare repetitive, mai ales cele manifestate la scări diferite în același timp. Aveau un gust dezvoltat pentru lucrurile aleatorii și complexe, pentru contururi neregulate și salturi bruște. Adepții haosului – pentru că uneori ei înșiși se numesc adepți, credincioși sau propovăduitori – speculează despre determinism și liber-arbitru, despre evoluție, despre natura inteligenței conștiente. Consideră că inversează tendința științei către reduționism, către analiza sistemelor în funcție de părțile care le compun: quarcuri, cromozomi sau neuroni. Ei sunt convinși că se află în căutarea întregului.

Cei mai împătimiți susținători ai noii științe merg chiar până într-acolo încât afirmă că știința secolului XX va rămâne în istorie pentru doar trei lucruri⁹: relativitatea, mecanica cuantică și haosul. Haosul, susțin ei, a devenit a treia mare revoluție¹⁰ a secolului în domeniul științelor fizice. La fel ca primele două, ea demolează preceptele fizicii newtoniene. În cuvintele unui fizician, aceasta sună astfel: „Relativitatea a eliminat¹¹ iluzia newtoniană a spațiului absolut și a timpului absolut; teoria cuantică a eliminat visul newtonian despre un proces de măsurare controlabil; iar haosul elimină fantezia laplaciană a previzibilității deterministe.” Dintre cele trei, revoluția haosului se aplică Universului pe care îl vedem și

il atingem, obiectelor la scară umană. Experiența de zi cu zi și imaginile reale ale lumii au devenit ținte legitime pentru îndoială. De mult exista o impresie, nu întotdeauna exprimată deschis, că fizica teoretică s-a îndepărtat mult de intuiția umană în ce privește Universul. Dacă afirmația aceasta se va dovedi a fi o erezie cu rezultate utile sau doar o erezie – nu știe nimeni. Dar unii dintre cei care au considerat că fizica s-a zidit singură într-o fundătură privesc acum haosul ca pe o cale de ieșire.

În sânul fizicii înseși, studiul haosului s-a născut dintr-un colț obscur. În mare parte a secolului XX, principalul subiect de interes a fost fizica particulelor, care explorează părțile componente ale materiei la niveluri de energie tot mai ridicate, la scară tot mai mică și la intervale de timp tot mai scurte. Din fizica particulelor au decurs teoriile despre forțele fundamentale ale naturii și originea Universului. Dar unii fizicieni tineri nu mai erau mulțumiți de direcția pe care o luase cea mai prestigioasă dintre științe. Progresele începeau să pară lente, denumirea noilor particule – inutilă, corpusul teoriei – greoi. Odată cu intrarea în scenă a haosului, oamenii de știință mai tineri considerau că asistă la zorii unei schimbări de direcție pentru întreaga fizică. Domeniul, considerau ei, era dominat de prea multă vreme de abstracțiunile scânteietoare ale particulelor de mare energie și ale mecanicii cuantice.

Cosmologul¹² Stephen Hawking, deținător al Catedrei Newton de la Universitatea Cambridge, vorbea în numele majorității fizicienilor când își rezuma știința într-o prelegere din 1980 cu titlul „Se întrevide oare sfârșitul fizicii teoretice?”:

„Cunoaștem deja legile fizice care guvernează tot ce întâlnim în viața de zi cu zi. [...] Este o dovadă a progresului nostru în fizica teoretică faptul că, în prezent, avem nevoie de

mașini enorme și sume astronomice pentru efectuarea unui experiment ale cărui rezultate să nu le putem preconiza.”

Însă Hawking recunoștea că înțelegerea legilor naturii pe baza fizicii particulelor lăsa fără răspuns întrebarea: cum se pot aplica legile acestea unui sistem care să nu fie de o simplitate elementară? Previzibilitatea înseamnă un lucru într-o cameră cu fum în care se ciocnesc două particule la capătul unei curse în jurul unui accelerator. Dar înseamnă cu totul altceva în cel mai simplu recipient cu lichid în fierbere, în fenomenele meteorologice ale planetei sau în creierul uman.

Fizica lui Hawking, care a adunat eficient premii Nobel și finanțări generoase pentru experimente, a fost numită de mulți revoluționară. Uneori părea la un pas de a pune mâna pe Sfântul Graal al științei: Marea Teorie Unificată, sau „Teoria Tuturor Lucrurilor”. Fizica urmărise dezvoltarea energiei și a materiei în toată istoria universului, cu excepția acelei prime clipiri. Dar oare fizica particulelor din perioada postbelică chiar a fost revoluționară? Sau doar a pus în practică un cadru de referință stabilit de Einstein, Bohr și ceilalți părinți ai relativității și mecanicii cuantice? Într-adevăr, reușitele fizicii, de la bomba atomică la tranzistor, au schimbat fața lumii în secolul XX. Dar aria de studiu a fizicii particulelor, dimpotrivă, pare să se fi îngustat. De două generații nu a mai apărut în domeniu o idee teoretică nouă care să schimbe perspectiva nonspecialiștilor asupra lumii.

Fizica descrisă de Hawking își putea îndeplini misiunea fără să răspundă la unele dintre întrebările fundamentale despre natură. Cum apare viața? Ce sunt turbulențele? În primul și în primul rând, într-un Univers dominat de entropie, care se îndreaptă inexorabil către o dezordine tot mai mare, cum apare ordinea? În același timp, obiectele din experiența de zi cu zi, ca fluidele și sistemele mecanice, au ajuns să pară

atât de elementare și de banale, încât fizicienii aveau tendința firească de a presupune că erau bine înțelese. Nu era cazul.

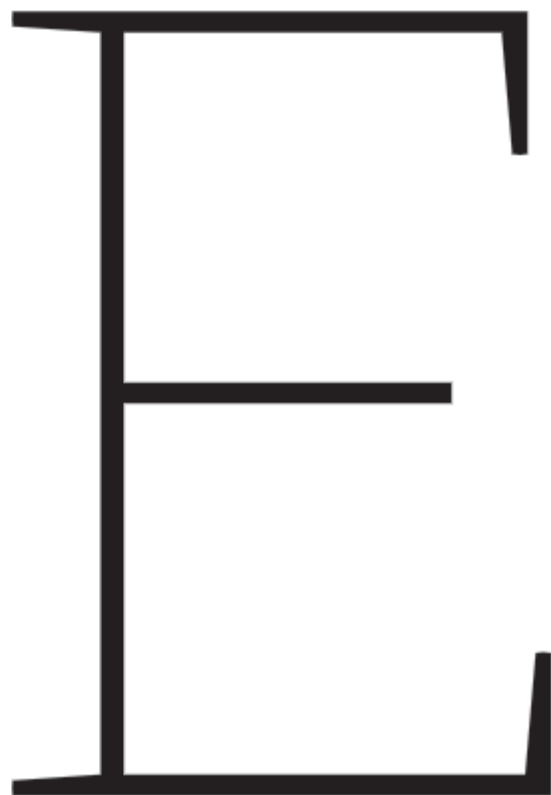
Pe măsură ce revoluția haosului progresează, cei mai buni fizicieni se apleacă din nou, fără a o considera o înjosire, asupra fenomenelor la scară umană. Studiază nu doar galaxii, ci și nori. Efectuează studii informatice profitabile nu doar pe sisteme Cray*, ci și pe Macintosh. Revistele de prestigiu publică articole despre dinamica bizară a unei mingi care ricoșează de pe o masă alături de texte despre fizica cuantică. Acum este un lucru recunoscut că cele mai simple sisteme creează probleme de predictibilitate extraordinar de spinoase. Însă, în aceleași sisteme, apare spontan ordinea – haosul și ordinea conviețuiesc. Numai un nou tip de știință putea spera să arunce o punte peste prăpastia enormă dintre a înțelege ce face un lucru – o singură moleculă de apă, o singură celulă de țesut cardiac, un singur neuron – și ce face același lucru împreună cu milioane de altele la fel.

Priviți două rotoacoale de spumă care plutesc alături la baza unei cascade. În ce măsură puteți ghici cât de aproape se aflau unul de altul înainte de cădere? Zero. Din perspectiva fizicii standard, era ca și cum Dumnezeu ar fi tras sub masă moleculele de apă din ele și le-ar fi amestecat personal. Pe vremuri, când vedeau rezultate complexe, fizicienii căutau cauze la fel de complexe. Când vedeau o relație aleatoare între ce se întâmplă într-un sistem și ce produce acesta, presupuneau că urma să fie nevoie să introducă factorul aleatoriu în orice teorie realistă, adăugând artificial un zgomot sau o eroare. Studiul modern al haosului a început în deceniul 1960, când lumea a început să înțeleagă tot

* Producător de supercomputere ale căror sisteme ating viteze de zeci de petaflops (de la FLOPS, operații în virgulă mobilă pe secundă) – de până la 10^{15} ori mai rapide decât un computer de uz personal (n.t.).

mai clar că ecuațiile matematice foarte simple puteau crea modele ale unor sisteme cu nimic mai puțin violente decât o cascadă. Diferențele minuscule din datele de intrare puteau deveni rapid deosebiri enorme în datele de ieșire – fenomen numit „dependența sensibilă de condițiile inițiale”. În studiul fenomenelor meteorologice, de pildă, conceptul se traduce prin „efectul fluturelui”, al cărui nume este o glumă doar pe jumătate: ideea că un fluture care agită aerul astăzi la Beijing poate schimba starea sistemelor de furtună de luna viitoare de la New York.

Când au început să facă retrospectiva genealogică a noii lor științe, exploratorii haosului au descoperit multe piste intelectuale din trecut. Dar una ieșea în evidență de departe. Pentru tinerii fizicieni și matematicieni care formau vârful de lance al revoluției, un punct de pornire a fost Efectul Fluturelui.



Efectul Fluturelui

*Fizicienilor le place să creadă că nu trebuie decât să întrebă: „Acestea fiind condițiile inițiale, ce se va întâmpla în continuare?”**

Richard P. Feynman

SOARELE STRĂLUCEA PE UN CER care nu văzuse niciodată nori. Vânturile suflau peste un sol neted ca sticla. Noaptea nu se lăsa niciodată, toamna nu făcea loc iernii. Nu ploua. Vremea simulată¹ din noul computer al lui Edward Lorenz se schimba încet, dar sigur, lunecând printr-un anotimp mijlociu, la miezul zilei, mereu uscat, de parcă lumea s-ar fi prefăcut în Camelot sau într-o versiune remarcabil de ștearsă a sudului Californiei.

Pe fereastră, Lorenz vedea vremea reală, ceața de dimineața devreme care se târa prin campusul Institutului Tehnologic Massachusetts sau norii joși care pluteau peste acoperișuri venind dinspre Atlantic. În modelul din computerul lui nu se formau niciodată nori sau ceață. Echipamentul (un Royal McBee^{**}) era un hățiș de cabluri și lămpi care ocupa o parte foarte mare a biroului lui Lorenz, făcea un zgomot surprinzător și enervant și se strica aproximativ săptămânal. Nu avea nici viteza, nici memoria necesare pentru a rula o simulare realistă a atmosferei și oceanelor planetei. Și totuși, în 1960, Lorenz a creat o jucărie meteo care a reușit să îi fascineze pe

* Richard P. Feynman, *Despre caracterul legilor fizicii*, traducere de Valentin Stoica, Editura Pergament, București, 2006, p. 102 (n.t.).

** Divizia (defunctă) de producție și vânzare de computere a fabricantului american de mașini de scris Royal Typewriters (n.t.).

colegii lui. Din minut în minut, mașina marca trecerea unei zile imprimând un șir de cifre pe o pagină. Dacă știai să le citești, vedeai în ele un vânt predominant vestic care tindea ba spre nord, ba spre sud, ba iar spre nord. Cicloane digitale se răsuceau lent pe un glob idealizat. I s-a dus vestea prin campus și ceilalți meteorologi au început să se adune cot la cot cu masteranzii și să parieze pe cum avea să fie vremea lui Lorenz. În mod interesant, nimic nu se întâmpla la fel de două ori.

Lui Lorenz îi plăceau fenomenele meteorologice – ceea ce nu este nici pe departe de la sine înțeles pentru un meteorolog cercetător. Îl încânta caracterul lor schimbător. Aprecia tiparele care se formează și dispar în atmosferă, familiile de curenți slabi și de cicloane, mereu supuse unor reguli matematice, dar niciodată repetate. Când privea norii, i se părea că vede în ei un fel de structură. Inițial, se temuse că studiul științei meteorologice avea să fie ca și cum ai dezasambla cu șurubelnița o jucărie cu arc. Acum se întreba dacă știința avea să reușească măcar să îi deslușească magia. Vremea avea o aromă a ei, imposibil de exprimat în medii. *Media maximelor de temperatură diurne din iulie în Cambridge, Massachusetts, este de 23,8 grade Celsius. Media anuală a numărului de zile ploioase din Riyadh, Arabia Saudită, este de zece.* Acestea erau statistici. Esența era felul cum se schimbau cu timpul tiparele atmosferice; pe ea încerca să o surprindă Lorenz cu al lui Royal McBee.

Era zeul universului electronic, liber să aleagă legile naturii după bunul plac. După o perioadă deloc divină de încercare și eroare, a selectat douăsprezece. Erau reguli numerice² – ecuații care exprimau relațiile dintre temperatură și presiune, dintre presiune și viteza vântului. Lorenz își dădea seama că puneă în aplicare legile lui Newton – instrumente

adecvate pentru o zeitate-ceasornicar, capabilă să creeze o lume și să o pună în mișcare pentru eternitate. Mulțumită determinismului legii fizice, nu avea să mai fie necesară nicio intervenție. Cei care creau astfel de modele considerau un fapt de la sine înțeles acela că, din prezent în viitor, legile mișcării asigură o punte a certitudinii matematice. Dacă înțelege regulile, înțelege Universul. Aceasta era filosofia din spatele creării de modele meteorologice informatice.

De fapt, dacă filosofii secolului al XVIII-lea și-ar fi imaginat propriul creator ca pe un nonintervenționist binevoitor, mulțumit să rămână în culise, acela ar fi fost cineva ca Lorenz. Era un meteorolog bizar. Avea figura brăzdată de riduri a unui fermier yankeu, cu ochi surprinzător de sclipitori, care dădeau impresia că râde chiar și când nu râdea. Rareori vorbea despre sine sau despre munca lui, dar asculta. Adesea se pierdea pe un tărâm al calculelor sau al visurilor inaccesibil colegilor lui. Cei mai apropiați prieteni erau de părere că Lorenz își petrecea mare parte a timpului într-un spațiu nepământean îndepărtat.

În copilărie fusese pasionat de meteorologie, cel puțin în măsura în care nota atent temperaturile maxime și minime zilnice înregistrate de termometrul de lângă locuința părinților lui din West Hartford, Connecticut. Dar își petrecea timpul mai mult în casă, jucându-se cu enigme matematice din culegeri, decât afară, cu ochii pe termometru. Uneori rezolva probleme distractive împreună cu tatăl lui. O dată au descoperit împreună una deosebit de dificilă, care s-a dovedit nerezolvabilă. Situația era acceptabilă, i-a spus tatăl lui: poți încerca să rezolvi o problemă și dovedind că nu există soluție. Lui Lorenz i-a plăcut ideea, pentru că dintotdeauna îl atrăsese puritatea matematicii³, iar în 1938, când a absolvit cursurile universitare de la Dartmouth College, a considerat

că matematica era chemarea lui. Dar împrejurările i-au stat în cale, sub forma celui de-al Doilea Război Mondial, care l-a obligat să lucreze ca meteorolog în Corpul Aerian al Armatei. După război, Lorenz a hotărât să rămână la meteorologie și să îi cerceteze latura teoretică, forțând limitele matematicii. A devenit celebru prin lucrările despre probleme ortodoxe, precum circulația atmosferică generală. Între timp a continuat să se gândească la prognozare.

Pentru majoritatea meteorologilor serioși, prognozarea nu se putea numi știință. Era o muncă de improvizație, făcută de tehnicieni care aveau nevoie de o minimă intuiție pentru a citi vremea zilei următoare în instrumente și în nori. Se făcea pe ghicite. În centre ca MIT, meteorologia prefera problemele la care existau soluții. Lorenz înțelegea caracterul dezordonat al prognozelor meteorologice cum nu se poate mai bine, pentru că îl testase la prima mână pentru binele piloților militari, dar își păstra interesul pentru problemă – un interes matematic.

Pe lângă faptul că meteorologii priveau de sus prognozaarea, în anii 1960 aproape toți oamenii de știință serioși tratau computerele cu neîncredere. Noile calculatoare cu pretenții nu semănau deloc a instrumente pentru știința teoretică. Așadar, crearea de modele meteorologice numerice era un fel de problemă-bastard. Dar îi venise vremea. Prognozarea meteorologică aștepta de două secole o mașinărie capabilă să repete mii de calcule, iar și iar, prin forță brută. Numai un computer putea fructifica promisiunea newtoniană, cum că lumea se desfășura după linii deterministe, legată de reguli ca planetele, previzibilă ca eclipsele și marea. Teoretic, computerul le permitea meteorologilor să facă ceea ce reușiseră astronomii cu creionul și rigla de calcul: să afle viitorul Universului pornind de la condițiile inițiale și

legile fizice care îi ghidează evoluția. Ecuațiile care descriu mișcarea aerului și a apei erau la fel de cunoscute ca acelea care descriu mișcarea planetelor. Astronomii nu atinseseră perfecțiunea și nici nu aveau să o atingă vreodată, într-un sistem solar influențat de gravitațiile a nouă planete, o mulțime de sateliți și mii de asteroizi, dar calculele mișcărilor planetare erau atât de precise, încât oamenii uitau că erau simple prognoze. Când un astronom spunea „Cometa Halley va reveni în 76 de ani”, afirmația părea un fapt, nu o profeție. Prognozarea numerică deterministă prefigura cu precizie cursul navelor spațiale și al rachetelor. De ce nu și pe al vântului și al norilor?

Vremea era mult mai complicată, dar guvernată de aceleași legi. Poate că un computer suficient de puternic putea fi inteligența supremă imaginată de Laplace, filosoful și matematicianul din secolul al XVIII-lea care s-a molipsit ca nimeni altul de febra newtoniană: „Inteligența aceasta”, scria Laplace, „ar cuprinde⁴ în aceeași formulă atât mișcările celor mai mari corpuri din Univers, cât și pe cele ale celui mai mărunț atom; pentru ea nimic nu ar fi nesigur, iar viitorul, ca și trecutul, i-ar fi întru totul vizibil.” În vremurile noastre, marcate de relativitatea lui Einstein și de incertitudinea lui Heisenberg, Laplace pare aproape bufon cu optimismul său, dar mare parte din știința modernă i-a luat visul drept țel. Implicit, misiunea multor oameni de știință ai secolului XX – biologi, neurologi, economiști – a fost să descompună Universurile în cei mai simpli atomi, care să se supună regulilor științifice. În toate științele acestea s-a aplicat un fel de determinism newtonian. Părinții informaticii moderne nu l-au uitat nicicând pe Laplace, iar istoria informaticii și cea a prognozării s-au împletit încă de când John von Neumann și-a proiectat primele mașini de calcul, la Institutul pentru

Studii Avansate din Princeton, New Jersey, în anii 1950. Von Neumann și-a dat seama că modelele meteorologice puteau fi o problemă ideală pentru un computer.

A existat dintotdeauna un compromis mărunț, atât de mărunț, încât oamenii de știință care lucrau cu el tindeau să uite că era acolo, ascuns într-un colț al filosofiilor lor, ca o factură neplătită. Măsurătorile nu puteau fi perfecte. Oamenii de știință raliați sub stindardul lui Newton fluturau, de fapt, un alt steag, pe care scria ceva de genul: dată fiind cunoașterea aproximativă a condițiilor inițiale ale unui sistem și înțelegerea legilor naturale, se poate calcula comportamentul aproximativ al sistemului. Afirmatia aceasta stătea la temelia filosofică a științei. După cum îi plăcea unui teoretician să le spună studenților lui: „Idea fundamentală⁵ a științei occidentale este că nu este nevoie să luăm în considerare căderea unei frunze pe o planetă din altă galaxie când încercăm să explicăm deplasarea unei bile de biliard pe o masă de pe Pământ. Influențele foarte mărunte pot fi neglijate. Lucrurile converg în oarecare măsură în funcționarea lor, iar influențele arbitrar de mici nu explodează în efecte arbitrar de mari.” Din punctul de vedere clasic, credința în aproximare și convergență era absolut justificată. Funcționa. O eroare minusculă în determinarea poziției cometei Halley în 1910 nu avea să producă altceva decât o eroare minusculă în prognoza sosirii ei în 1986, iar eroarea avea să rămână mică timp de milioane de ani. Și computerele se bazează pe aceeași presupunere când ghidează navele spațiale: datele de intrare aproximativ precise dau rezultate aproximativ precise. Și experții în prognoze economice se bazează pe aceeași ipoteză, deși succesul lor este mai puțin evident. La fel și pionierii prognozelor meteorologice globale.

Cu computerul lui primitiv, Lorenz sublimase vremea până la scheletul ei elementar. Și totuși, rând pe rând, vânturile și temperaturile din paginile lui cu rezultate păreau să se comporte după reguli pământene, ușor de recunoscut. Se potriveau cu prețioasa lui intuiție despre vreme, cu impresia lui că aceasta se repeta, manifestând tipare familiare de-a lungul timpului, cu creșteri și scăderi de tensiune, cu deplasări spre nord și spre sud ale curenților de aer. Lorenz a descoperit că, atunci când o linie trecea de la un punct înalt la unul scăzut fără vreo neregularitate, avea să urmeze o dublă neregularitate. „Acesta este genul de regulă⁶ utilizabilă în prognoze”, spunea el. Dar repetițiile nu erau niciodată absolut precise. Existau tipare, dar cu turbulențe. O ordine dezordonată.

Pentru a evidenția tiparele, Lorenz a creat un tip de grafică primitivă. În loc de obișnuitele șiruri de digiți, punea mașina să imprime un anumit număr de spații, urmate de litera *a*. Alegea o variabilă - de exemplu direcția curentului de aer. Treptat, literele *a* se înșiruiau pe rola de hârtie, unduind într-o linie șerpuită, formând un lanț lung de dealuri și văi care reprezentau deviațiile spre nord și spre sud ale vântului dinspre vest pe un continent. Ordinea, ciclurile ușor de recunoscut care se repetau iar și iar, dar niciodată de două ori la fel, aveau în ele o fascinație hipnotică. Încetul cu încetul, sistemul părea că își dezvăluie secretele sub ochii celui care formula prognoza.

Într-o zi din iarna lui 1961, când a vrut să analizeze mai amănunțit o secvență anume, Lorenz s-a folosit de o scurtătură. În loc să ia de la capăt tot procesul, a început de la mijlocul seriei. Pentru a-i da mașinii condițiile inițiale, a introdus numerele copiate direct din rezultatele imprimare mai devreme. Apoi s-a dus pe coridor, să mai scape de zgomot și