



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

CONSECINȚE ALE ANALIZEI MECANICII SISTEMELOR COMPLEXE PRIN TEORIA HAOSULUI

George MAHALU, Radu PENTIUC, Cornel TURCU, Valentin POPA

CONSEQUENCES OF COMPLEX SYSTEMS MECHANICS ANALYSIS BY CHAOS THEORY

This paper presents issues characterized by evolving entropic systems, from studies made by Boltzmann and Poincare and continuing with research and results of modern theories developed by Kolmogorov, Popper and Prigogine. In the second part of the paper there are reflections of the authors about own definitions of the space and time entities in the frame of the complex systems.

Keywords: time arrow, dynamic system, chaos, entropic system

Cuvinte cheie: săgeata timpului, sistem dinamic, haos, sistem entropic

1. Introducere

Începând cu studiile lui Boltzmann, lumea sistemelor dinamice a cunoscut o abordare diferită față de tendințele evolutiv-descriptive de până atunci. Boltzmann a redus pentru întâia dată conceptul aparentei ireversibilități, înlocuindu-l cu cel al eternei invariante a legilor dinamicii. Efortul lui Boltzmann în fizică echivalează cu cel al lui Darwin în biologie, dând sens timpului de evoluție la nivelul fundamental al descrierii. Din nefericire, Boltzmann a trebuit să renunțe la ideile sale de evoluție entropică în urma obiecțiilor – de neînlăturat la acea dată – ale lui Bergson, Smoluchowski și Loschmidt. Chiar Poincaré se referă la problema simetriei din ecuația lui Boltzmann[1], afirmând că dintr-o

teorie total simetrică în raport cu timpul (dinamica) nu poate fi dedusă, fără introducerea unor elemente străine, ireversibilitatea.

2. Teoriile clasice

Poincaré a făcut apel la o teoremă pe care îl însuși o demonstrase (teorema de recurență), care afirma că orice sistem dinamic ajunge inevitabil, după un timp suficient de lung (numit timp Poincaré) să treacă prin stări oricât de apropiate de starea inițială. Rezulta, astfel, că orice sistem se poate întoarce din starea de echilibru spre starea inițială în mod spontan.

Cea de-a doua obiecție importantă la teoria lui Boltzmann recurge la experimentul mental al inversării vitezelor componentelor de sistem [2]. Astfel, sistemul va trebui să revină, de-a lungul aceluiași traiectorii parcurse însă în sens invers, la starea sa inițială, oricare ar fi fost aceea.

Ambele obiecții enunțate impun ideea că ireversibilitatea este doar aparentă, iar teza lui Smoluchowski precum că "toate procesele s-ar dovedi ireversibile dacă timpul alocat observării lor ar fi nelimitat" a fost acceptată de majoritatea fizicienilor.

Abia după anii 1970, studiile efectuate de o serie de cercetători precum Ilya Prigogine, Isabelle Stengers, au arătat că în cazul sistemelor haotice existența orizontului temporal măsurat prin timpul Lyapunov anulează întregul suport al obiecțiilor formulate mai sus. Cum timpul Poincaré e cu mult mai mare decât timpul Lyapunov, nu se mai poate vorbi de revenirea unei traiectorii la starea inițială a sistemului. Un atare act s-ar situa dincolo de orizontul temporal, atunci când noțiunea de traiectorie clasică și-ar pierde sensul¹ [3].

În cadrul teoriilor dezvoltate de către Prigogine, sunt reluate ideile lui Boltzmann relativ la despicarea ecuației cinetice în două componente: una ce ține cont de traiectoriile clasice ale moleculelor, fără a lua în considerare mecanismele de interacțiune dintre acestea, și cealaltă ce depinde de ciocnirile ce se petrec pe durata pe care sunt făcute observațiile. Boltzmann consideră că proprietățile de simetrie ale termenului de ciocniri diferă esențial de cele ale termenului de traiectorii. Acesta din urmă posedă simetria clasică a ecuațiilor dinamice, care face ca inversarea vitezelor să forțeze sistemul să se întoarcă în timp. În contrast cu toate acestea, după inversare ciocnirile

¹ Toate aceste concepte revoluționare au stat la baza cercetărilor făcute de către Ilya Prigogine asupra sistemelor departe de echilibru, cercetări încununată cu premiul Nobel pentru chimie în anul 1977.

continuă să ducă sistemul spre starea de echilibru, la fel ca în momentele anterioare inversării vitezelor. Astfel, bilanțul statistic al efectelor comportamentale rămâne același, deoarece contribuția termenului de ciocniri este invariantă în raport cu inversarea vitezelor [4]. Se afirmă astăzi că simetria termenului de ciocniri constituie elementul străin dinamicii clasice prin care sistemul este condus irevocabil spre echilibru. Este vorba deci de elementul la care făcea referire Poincaré în critica sa.

3. Un nou punct de vedere

Simulările făcute pe calculator în ultimii ani confirmă pe deplin teza lui Boltzmann, tranșând astfel problema filosofică ce trena de un secol. Cu toate abordările moderne ale lui Kolmogorov, Popper sau Prigogine asupra mecanismelor evolutive a sistemelor dinamice, problema naturii timpului și a săgeții sale a rămas la fel de obscură ca până la ei. E uimitor că deși ideile și conceptele fizice și filosofice au evoluat extrem de mult pe parcursul secolului trecut, percepția timpului ca entitate filosofică dar și ca parametru fizic de evoluție, a rămas aceeași în esență, neafectată de marile revoluții științifice ale termodinamicii, relativității și mecanicii cuantice.

În continuare propunem o abordare originală a ideii de timp sistemic, pe cât de simplă pe atât de lucrativă în explicarea unor teorii fizice și eliminarea unor paradoxuri mai mult sau mai puțin celebre. Mai mult, prezenta abordare dă o explicație rațională săgeții timpului și caracterului entropic al sistemelor fizice.

În concepția noastră, noțiunea de timp capătă o conotație convențională. Altfel spus, timpul este convenție umană, instanțiată prin seturi de marcheri ce jalonează succesiunea evenimentelor fizice ce se desfășoară în cadrul sistemului considerat. Ceea ce în traseul rutier este reprezentat prin borna kilometrică, în succesiunea temporală se marchează prin clic-ul "bătut" de secundarul cronometrului. Așa încât, la fel cum spațiul este doar o construcție a interdistanțelor între corpurile materiale - marcând rețeaua succesiunilor lor, timpul se dovedește rezultatul convenției prin care evenimentele se succed și interrelaționează. Distanțele dintre marcherii de timp le vom numi durate.

În urma unei astfel de definiri, timpul pierde calitatea intrinsecă a mărimii fizice pe care o consideram până acum, devenind doar cadrul abstract în care se dezvoltă modelul reprezentativ al evoluției sistemului considerat.

O primă caracteristică ce se desprinde din noua abordare este aceea că timpul este atașat sistemului, și nu intrinsec acestuia, așa cum se întâmplă cu orice convenție. O astfel de viziune explică mai bine modul în care trebuie înțeleasă noțiunea de timp în teoria relativității.

Problema întoarcerii în timp, ca și cea a deplasării în viitor, devine astfel un non sens. Nu ne putem pune problema unei “deplasări” într-o convenție.

Rezultă că tot ce poate fi realizat fizic este un deplasament de la un marker de timp la altul, într-o succesiune continuă și consecventă ce impune săgeata timpului ca direcție de evoluție a demersului. Întoarcerea în timp ar trebui să însemne întoarcerea la un marker (reper) vizitat anterior. Dar la acel marker se ajunge venind dinspre un altul (situat în “viitor”) decât cel considerat într-un caz anterior (situat în “trecut”). În consecință, tot ce s-a schimbat este succesiunea parcurgerii markerilor de timp. **Parcurgerea păstrează invariantă săgeata timpului.** Această ultimă afirmație constituie esența întregii abordări.

Evident, se poate pune întrebarea de ce nu facem același lucru cu noțiunea de spațiu ? Răspunsul este cât se poate de simplu: “Ba o facem”. Spațiul este privit în același mod. Iar inexistența unei săgeți a spațiului nu este decât o aparență. De fapt, săgeata există și ea este orientată de la “trecutul” spațial către “viitorul” spațial. Doar că nu știm s-o recunoaștem, nesusizând că mișcarea fizică se face strict doar în sensul indicat de nodurile constituite de markerii spațiali vizitați în succesiune, indiferent unde sunt aceștia poziționați în relațiile de distanță dintre ei.

Și acum, toate neînțelegerile datorate asimetriei modului în care spațiul și timpul au fost considerate, dispar. Spațiul și timpul reprezintă aceeași entitate: o convenție materializată prin prezența unei rețele de markeri. Dând diverse semnificații acestor markeri, redefinim rețeaua ca fiind una temporală, una spațială sau una de o altă natură. Posibilitățile de definire devin nelimitate, ele ținând acum doar de imaginația noastră, în abilitatea de a crea noi modele și în puterea noastră de abstractizare.

Obiecția că “ne putem întoarce la o bornă kilometrică vizitată anterior dar nu și la un moment trăit anterior” constituie de fapt un mare neadevăr. Nu ne putem întoarce la o bornă kilometrică vizitată anterior pentru simplul motiv că aceasta nu mai există în momentul “întoarcerii” noastre. Borna la care revenim este de fapt alta pentru că între timp s-au mai desprins câțiva atomi din structura ei datorită unor pale de vânt,

au mai apărut alții noi veniți odată cu acea pală sau cu alta, s-a mai modificat ceva în structura moleculară a ansamblului datorită efectelor produse de dezintegrarea spontană și/sau stimulată a unor atomi componenți iar centrul de masă, înclinarea, poziția în câmpul magnetic terestru etc., etc., etc. ale structurii fizice constituită de bornă, s-au modificat datorită trecerii unui camion greu sau a unei unde seismice de mică amplitudine sau... ce ne-am putea imagina că s-ar mai putea petrece. Deci, e sigur că nu ne vom întoarce niciodată la aceeași bornă pe care am vizitat-o anterior, așa cum nu ne vom mai întoarce niciodată la un moment anterior din viața noastră.

Evoluția entropică devine în felul acesta lege supremă, verificată de fapt extrem de bine de termodinamica modernă. Mai mult chiar, imaginea propusă asupra timpului și spațiului deschide noi căi de abordare a întregii fizici, pentru că indiferent de natura fenomenelor studiate de acestea, spațiul și timpul au constituit și constituie liantul modelelor descriptive. Fizica dezvoltată aici, pe Terra, se caracterizează tocmai prin această construcție rațională ce folosește ca suport cadru noțiunile de spațiu și timp. Probabil că există și alte modalități principiale de descriere a fenomenelor, deci o altă fizică poate fi posibilă. Dar cât timp vom fi consecvenți în a considera spațiul și timpul ca fiind parametri ce leagă între ele toate celelalte entități declarate a fi mărimi fizice, modul de descriere a fenomenelor din jurul nostru va fi tributar modelelor evolutive bazate pe aceștia.

Problema tratată de Boltzmann își găsește acum răspunsul într-un mod total neașteptat de acesta. Putem spune că săgeata timpului se datorează pur și simplu modului în care a fost definită noțiunea de timp. La momentul inversării vitezelor nu se produce o întoarcere evolutivă ci doar o continuare a procesului de evoluție în același sens de parcurgere urmat și până atunci. Revenirea unei molecule din punctul A în punctul B nu are loc niciodată pe aceeași traiectorie deoarece traiectoria individuală nu există în realitate. Între drumul urmat de particulă în spațiul stărilor la trecerea din A în B și cel de revenire de la B către A există diferențe, poate inobservabile uneori, dar suficient de mari ca după scurgerea timpului Lyapunov ele să determine un destin impredictibil pentru sistem.

Cât despre revenirea sistemului oricât de aproape de starea sa inițială, prognozată de Poincaré prin celebra sa teoremă, ea se va înfăptui după un timp Poincare, mai mare decât timpul Lyapunov, adică atunci când orice posibilitate predictivă se va fi epuizat de mult. În sensul acesta, Boltzmann a avut dreptate iar sistemelor dinamice li s-a asociat în mod inexorabil un sens evolutiv cu caracter entropic.

4. Concluzii

■ Modelele prin care comportamentele haotice pot fi formalizate matematic, au preocupat și preocupă deopotrivă fizicieni, ingineri, biologi, analiști economici, sociologi etc.

■ Sistemele complexe cu comportament haotic sunt sensibile la modificarea fină a condițiilor inițiale, fapt care conduce la existența unui orizont de predictibilitate limitat și a unor manifestări tipice, caracterizate uneori de fenomene ce implică prezența haosului și a comportamentului fractal.

■ Ori de câte ori intervine în discuție un sistem complex precum unul fizic, biologic, social sau de altă natură, procesele predictive se lovesc de aspectele specifice atractorilor stranii și evoluțiilor entropice.

■ O abordare nouă a unor astfel de tipuri de manifestare necesită modificarea percepției fizice asupra noțiunilor elementare de spațiu și timp. În această lucrare este prezentată tocmai o astfel de abordare.

Notă: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul “Progres și dezvoltare prin cercetare și inovare post-doctorală în inginerie și științe aplicate – PriDE – Contract nr. POSDRU/89/1.5/S/57083”, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ott, Ed., *Chaos in Dynamical Systems*, Cambridge CB2-2RU, UK, 2002.
[2] Erdi, P., *Complexity Explained*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
[3] Cvitanović, Pr., ș.a., *Chaos Book*, v. 11.8, August 2006.
[4] Coulhon, Th., Koskela, P., *Geometric interpretations of L_p -Poincaré inequalities on graphs with polynomial volume growth*, Research through the European Commission (IHP Network “Harmonic Analysis and Related Problems” 2002-2006, Contract HPRN-CT-2001-00273-HARP).

Conf.Dr.Ing. George MAHALU,
Prof.Dr.Ing. Radu PENTIUC
Prof.Dr.Ing. Cornel TURCU
Prof.Dr.Ing. Valentin POPA
Universitatea “Ștefan cel Mare” Suceava
membri AGIR
e-mail: mahalu@eed.usv.ro