

CRISTACHE LILIANA

Doctorand al Universității „Al. I. Cuza”, Iași

IREVERSIBILITATEA FIZICII SI COSMOLOGIA IRREVERSIBILITY IN PHYSICS AND COSMOLOGY

Abstract

The problem of irreversibility has been studied by philosophers and scientists. This paper explores the origins of thermodynamics and opposition reversible-irreversible. The structure of complex system is fundamentally determinate by the irreversibility. With helps to the cosmology ,we hope to describe the structure of our universe. Thus the black holes is very important objects in cosmology, because the cosmologists hopes to get an explanation about the structure and origin of our universe. Here the irreversibility brings a new view about the lost information in the black holes. This view depends to the topology of space-time.

Thus the concept of irreversibility has many significations and reveal other and other difficulties of the universe view.

1 .Conceptul de ireversibilitate

Opoziția reversibilitate – ireversibilitate a apărut în discursul științific odată cu fundamentarea termodinamicii și evidențierea consecințelor pe care le au principiile sale. De aceea, semnificația termenului de ireversibilitate este impregnată de sugestiile care vin din orizontul teoretic și conceptual al fizicii.

La o primă examinare, ireversibilitatea desemnează proprietatea unei transformări sau a unui proces de a nu se putea produce decât într-un singur sens, iar reversibilitatea reprezintă acea calitate atribuită transformărilor, proceselor de a se putea produce atât într-un sens, cât și în celălalt, trecând prin aceleași stări intermediare.

Astfel, un proces este considerat *reversibil* dacă se poate produce în ambele sensuri și dacă, după revenirea sistemului în starea inițială, nici în sistem și nici în mediul exterior nu se produc schimbări remanente. În principiu, procesele pur mecanice, care decurg fără frecări și fără ciocniri inelastice, sunt reversibile, adică se pot produce atât într-un sens cât și în

celălalt, singurul rezultat al procesului fiind revenirea sistemului la starea inițială. Astfel de procese, în care intervin forțe de frecare mici și pot fi neglijate într-o primă aproximare, sunt de exemplu, oscilațiile unui pendul; ciocnirea practic perfect elastică a două bile suspendate ca pendule; căderea unei mingi elastice pe o podea rigidă etc. Legile dinamicii ilustrează ideea că traiectoria dinamică a unui sistem este reversibilă. De exemplu, dacă vom considera mișcarea unei mingi perfect elastice care sare pe sol, putem admite inversiunea instantanee a vitezei mobilului care revine la poziția inițială cu restaurarea a ceea ce a produs mișcarea între momentul inițial și momentul inversiunii. Prin urmare, dinamica definește ca echivalente matematice transformările $t \rightarrow t$ adică inversiunea sensului scurgerii timpului și $v \rightarrow v$ inversiunea vitezelor. Structura ecuațiilor dinamice implică ideea că, dacă vitezele tuturor punctelor unui sistem s-au inversat instantaneu, totul se petrece ca și cum sistemul „s-ar reîntoarce în timp”.

De asemenea, ecuațiile de bază ale mecanicii cuantice sunt perfect reversibile

temporal. Singura trăsătură ireversibilă a teoriei cuantice este ceea ce poartă numele de *colaps al funcției de undă* sau *reducere a vectorului de stare* și care intervine doar atunci când „se face o măsurare”sau „ se face o observație”.

Însă cele mai multe procese din natură sunt *ireversibile*, adică se desfășoară într-un anumit sens și nu se pot desfășura de la sine în sensul opus. Astfel, procesele mecanice în care forțele de frecare nu pot fi neglijate sunt procese ireversibile, în care energia mecanică se transformă în mod spontan în energie termică, preluată sau absorbită de diferite corpuri. Se spune că energia mecanică este disipată,transformată în căldură prin intermediul forțelor de frecare. De asemenea, există nenumărate fenomene fizice a căror evoluție nu poate fi descrisă și explicată cu ajutorul legilor dinamicii,precum dinamica unui sistem de trei corpuri, turbulența și conducția căldurii la fluide, vibrațiile mecanice și fenomenele de încovoiere,circuitele electrice etc.

Dar conceptul de ireversibilitate implică nu doar acceptarea unui sens strict al timpului în acele domenii care descriu comportamentul unor sisteme complexe,ci este deseori legat de noțiunea de entropie, de opoziția ordine-dezordine și de necesitatea unor nuanțări ale raportului causal. Demersul nostru va urmări modul în care se constituie aceste legături și legitimitatea invocării lor, pentru că, așa cum s-ar exprima Mario Bunge, „sub umbrela” conceptului de ireversibilitate sunt aruncate de-a valma numeroase idei.

2. Originile și constituirea termodinamicii

Idealul matematizării naturii prezent în perioada cuprinsă între Galilei și Newton, a presupus construirea unor modele teoretice sau experimentale ca o nouă metodă de abstractizare și de generalizare. Realitatea este asimilată ca o relație între particule sau corpuri în mișcare, iar această relație se va exprima prin legile mișcării identificate de statică și de dinamică. Analiza este redusă la condițiile cele mai simple și realizată printr-

un proces de modelare și idealizare, eliminându-se orice element sensibil și calitativ. Mănuirea unor cazuri limită ale realității și examinarea consecințelor posibile ce decurg din acestea au permis o tratare matematică a fenomenelor fizice fără investigarea cauzelor reale ale acestora. Prin urmare, Galileo Galilei va fi preocupat îndeosebi de o descriere cantitativă a mișcării corpurilor(cinematică) evitând să investigheze cauza mișcării (explicație care ține de dinamică) simțind că nu dispune încă de mijloacele necesare.

Momentul acesta nu pare potrivit să cercetezi cauza accelerației într-o mișcare naturală, un subiect asupra căruia au fost exprimate diferite păreri de diferiți filosofi,unii explicând-o prin atracția către centru, alții prin respingerea dintre părțile foarte mici ale corpului, iar alții atribuind-o unor anumite tensiuni din mediul înconjurător, care se strâng în spatele corpului care cade și îl împinge dintr-o poziție în alta. Desigur, toate aceste fantezii,ca și altele, ar trebui examinate, dar de fapt nu merită. În acest moment scopul autorului este doar să cerceteze și să demonstreze unele dintre proprietățile mișcării accelerate(indiferent care ar fi cauza acestei accelerații).[subl .n.]¹

Galileo

Galilei,*Dialoguri privind două noi științe*

Conform lui Galilei, din definiția mișcării uniform accelerate decurge că un obiect care pornește din repaus va parcurge o distanță proporțională cu pătratul timpului scurs. Confirmarea experimentală o obține prin aproximativ o sută de încercări de rostogolire a unei bile de bronz șlefuit pe un plan înclinat. Întrucât Galilei nu putea măsura cu precizie mare intervale de timp foarte mici, el nu a putut studia direct căderea liberă verticală a unui corp. De aceea, a trebuit să facă abstracție de efectul gravitației folosind un plan înclinat cu pantă lină pentru a micșora viteza coborârii unei

¹ Apud J.T.Cushing-*Concepte filosofice în fizică*,Editura Tehnica București, 2000, p.55

bile. Fizicianul italian nu dispunea de un aparat matematic care să permită reprezentarea intuițiilor sale, de aceea din perspectiva cunoștințelor actuale, este uimitor pasul pe care Galilei îl face formulând legea inerției și legea căderii libere a corpurilor doar cu ajutorul geometriei și a limbajului obișnuit. Așa cum reiese din lucrarea *Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*, Galileo s-a gândit că, dacă ar putea înțelege de ce cad obiectele pe pământ, atunci ar înțelege și ce anume menține luna pe cer.

Ceea ce face ca pământul să se miște [pe o orbită în jurul soarelui] este ceva cu totul asemănător cu ceea ce pune în mișcare pe Marte și Jupiter(...). Dacă [cineva] mi-ar destăinui care este puterea care cauzează mișcarea unuia dintre aceste corpuri, aș putea promite că pot să-i explic și de ce se mișcă pământul însuși. Mai mult chiar, aș putea face acest lucru dacă el mi-ar putea spune ce anume face ca lucrurile de pe pământ să se miște în jos.

Galileo Galilei, *Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*²

Pentru aceasta avea nevoie de instrumentul matematic al calculului infinitezimal. Această realizare intelectuală va fi înfăptuită mai târziu de Newton și va reprezenta baza formală pentru a preciza identitatea de natură dintre forțele motrice ce acționează asupra astrelor și gravitație.

Aceeași strategie de a face abstracție de cauza forțelor studiate, îl va călăuzi mai târziu și pe I. Newton când va deduce legile atracției universale considerând aceste forțe ca fiind matematice, iar nu fizice. În lucrarea sa, sugestiv intitulată *Principiile matematice ale filosofiei naturale*, el atrage atenția cititorilor săi că va folosi cuvântul *atracție* pentru a exprima tendința corpurilor de a se apropia unele de altele necercetând natura acestor forțe. Enumeră totuși două cauze posibile ale acestei tendințe : acțiunea

corpurilor care se caută reciproc sau acțiunea Eterului, a aerului sau a oricărui alt mediu, care împinge unul spre altul corpurile ce plutesc în el. Nu insistă asupra căutării cauzei, pentru că ar însemna să elaboreze ipoteze care nu o legătură fermă cu fenomenele, ori o asemenea atitudine nu și are locul în filosofia experimentală. Interesul lui Newton este canalizat nu spre natura sau calitățile acestor forțe, ci spre cantitățile și proporțiile lor matematice. Abia într-un stadiu ulterior, consideră el, se va putea „coborî” la fizică pentru a compara aceste relații și proporții cu fenomenele, iar în final, în stadiul filosofic, se va putea raționa asupra cauzelor acestor legi.

Formulând legea gravitației universale, expusă în cartea a treia din *Principia*, Newton afirmă că, în univers, două corpuri se atrag cu o forță direct proporțională cu produsul celor două mase și invers proporțională cu pătratul distanței care le separă. Astfel, printr-o singură lege se explica comportamentul unui obiect care cade pe Pământ, acela al planetelor în jurul Soarelui sau fenomenul mareelor. În *Scolia generală* adăugată la ediția a doua de la *Principia*, revenind asupra temei gravitației, Newton arată că a explicat doar fenomenele în care este prezentă forța gravitației, dar nu a stabilit cauza acestei forțe, întrucât „eu nu inventez ipoteze”.

Așa cum arată P. Rossi³, astronomia planetară și mecanica terestră erau considerate în secolul al XVII-lea macroștiințe, întrucât acestea se ocupau de proprietăți și procese observabile și măsurabile. În schimb, optica, magnetismul, teoriile asupra căldurii, transformările chimice postulau existența unor entități declarate inobservabile. În cercetarea acestor procese, metaforele și analogiile își găsesc un loc privilegiat, întrucât, așa cum evidențiază Robert Hook, unul dintre oamenii de știință

² G. Galilei-*Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*,

³ Paolo Rossi –*Nașterea științei moderne în Europa*, trad. D. Cojocaru, ed. Polirom, Iași, 2004, p. 159

ai secolului al XVII-lea, "trebuie să se instituie analogii între efectele produse de entități ipotetice și efectele produse de cauze accesibile simțurilor"⁴

Concepția generală despre lume a lui Newton formează un sistem în care se afirmă unitatea fundamentală a materiei constituită din componente dure și individuale între care acționează forțe de atracție și de respingere. Astfel, teza continuumului sau a unui spațiu complet ocupat de materie, avansată de Descartes, este respinsă ca o imposibilitate fizică și astronomică ce anulează existența mișcării. Concomitent se afirmă existența în univers a unui eter conceput ca o substanță foarte puțin densă și elastică, ca un gaz rarefiat ale cărui componente sunt situate în vid. Structura granulară a materiei justifică proprietățile esențiale cu care aceasta este înzestrată: întindere, duritate, impenetrabilitate, mobilitate, la care Newton adaugă și inerția.

Știm din experiență că cele mai multe corpuri sunt dure: or, duritatea întregului decurge din duritatea părților, astfel că admitem această calitate nu numai în corpurile în care simțurile noastre ne fac s-o percepem, dar deducem de aici, pe bună dreptate că particulele nedivizate ale tuturor corpurilor trebuie să fie dure.

În același fel conchidem că toate corpurile sunt impenetrabile(...)

Întrucât toate corpurile pe care le cunoaștem sunt mobile și înzestrate cu o anumită forță (pe care o numim forță de inerție) prin care perseverează în mișcare sau în repaus(...). Întinderea, duritatea, impenetrabilitatea, mobilitatea și inerția întregului provin deci din aceleași proprietăți ale părților: de unde conchidem că toate particulele tuturor corpurilor sunt întinse, dure, impenetrabile, mobile și

*înzestrate cu forță de inerție. Acesta este fundamentul întregii Fizici.*⁵

Prin urmare, metodele de cercetare a fenomenelor naturii urmează disjuncția ce caracterizează domeniile studiate. Urmînd sugestia lui P. Rossi, distingem macro-științe și micro-științe. Macro-științele se ocupă de fenomene și procese ce pot fi observate și măsurate. În acest context, se elimină circumstanțele perturbatoare ca fiind irelevante, se aplică criterii precise, logice, matematice și se propun legi care vizează corpurile materiale și mișcările lor în timp și spațiu. Micro-științele însă abordau domeniul inaccesibil simțurilor, iar metoda preponderentă era bazată pe analogie și imaginarea unor modele. Dezbaterile pe tema alcătuirii materiei constituie cadrul utilizării acestor metode. Optica, magnetismul, teoriile asupra căldurii, transformările chimice, structura internă a organismelor vii se configurează ca domenii în care se experimentează trecerea de la analogia efectelor la analogia cauzelor.

În ceea ce-l privește pe Newton, el a manifestat explicit o intenție de a lua distanță față de fizica lui Descartes. În primul rând, principiile filosofiei newtoniene au caracter matematic și nu speculativ. Deși creator al calculului infinitezimal, el nu s-a folosit de acesta în *Principia*, dar așa cum arată unii comentatori (Whiteside, 1961⁶; Westfall, 1980⁷), în spatele construcției bazate pe geometria euclidiană transpar structuri de gândire caracteristice calculului infinitezimal. Totodată, lumea lui

⁵ I. Newton- *Principiile matematice ale filosofiei naturale*, trad. Victor Marian, text revizuit de Victor Vîlcovici, Ed. Academiei, 1956

⁶ S. Whiteside- *Patterns of Mathematical Thought in the Later Seventeenth Century* în *Archive for the History of Exact Sciences*, I, pp. 179-388

⁷ R.S. Westfall- *Never at rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, p. 442

⁴ *Idem*, p. 161

Newton nu este alcătuită din două elemente precum la Descartes (întinderea și mișcarea), ci din trei: materia, mișcarea și spațiul. Dacă pentru Descartes, legile naturii sunt suficiente pentru a face ca părțile Haosului să se aranjeze într-o frumoasă ordine, căpătând forma unei lumi cât se poate de perfecte, pentru Newton lumea nu se poate să fi ieșit din Haos doar prin lucrarea legilor naturii. Ea nu poate fi decât opera unei Ființe Atotputernice și inteligente, care după ce a introdus ordinea în lume trebuie să intervină periodic, deoarece forța activă scade în mod constant în universul material și are nevoie de noi impulsuri. În legătură cu această idee va fi formulată critica virulentă a lui Leibniz, care nu putea accepta imaginea unui Dumnezeu care intervenea precum un ceasornicar nepriceput pentru a întoarce roțile ceasului care înceta să mai meargă.

În secțiunea finală din lucrarea *Optica*, Newton abordează o serie de probleme care țin de aspectele inobservabile ale materiei. De exemplu, în *Queries* (chestiuni sau întrebări) apare ideea posibilității ca între particulele corpurilor să opereze o forță asemănătoare gravitației care justifică poziția și mișcarea corpurilor din univers. Gânditorii anteriori lui Newton au încercat să explice coeziunea atomilor care formează corpurile prin imaginarea unor cârlige, a unor calități oculte sau prin repausul relativ. Ideea avansată de Newton apelează la existența unei forțe care este foarte puternică în contactul imediat, la distanțe mici produce efecte chimice, iar la depărtare nu produce nici un efect perceptibil prin simțuri. Această forță este fie gravitația, fie se aseamănă foarte mult cu aceasta.

Această imagine construită de Newton, a unui univers în care pe lângă principiul inerției există și principii active precum forța gravitației, a coeziunii între particulele care se mișcă în vid, va fi cadrul de cercetare a fenomenelor și proceselor naturii, va constitui Fizica pentru următoarele secole. Potrivit canoanelor fizicii newtoniene, atât masa,

impulsul, momentul de rotație, energia, cât și spațiul rămăneau invariante la anumite transformări și simetrii, ceea ce le conferea o valoare universală. De aici și convingerea, consolidată timp de două secole, în imuabilitatea, permanența, legilor în care intrau aceste mărimi.

La sfârșitul secolului al XVIII-lea, căldura, care rezulta ca urmare a frecării sau ciocnirii corpurilor, era tratată ca o substanță și a fost numită *caloric* de către chimistul francez Lavoisier. Concepută ca substanță, căldura nu putea fi nici creată, nici distrusă și se credea că este lipsită de greutate și autorepulsivă. Totodată, se presupunea că este atrasă de materie, în interiorul căreia putea pătrunde și ocupa spațiile dintre particule. Frecarea era capabilă să scoată acest caloric latent, rezultând încălzirea constatată experimental.

Benjamin Thomson (conte Rumford în Germania) este cel care, în ultima decadă a secolului al XVIII-lea, va propune un alt mod de a considera natura căldurii bazat pe efectele constatate practic. Fiind însărcinat de Electorul Bavariei să perforoze tunuri, el constată că acest proces implică un enorm consum de energie mecanică însoțit de o degajare de căldură. Arătând că există o legătură directă între pierderea de energie mecanică și căldura produsă, a propus considerarea căldurii nu ca o substanță, ci ca o mișcare neregulată a particulelor mici din care e constituit corpul. Această mișcare rezultă din ciocnirile repetate dintre particule. Această nouă viziune asupra căldurii înțeleasă ca o formă de energie și nu ca o substanță, chiar bazată pe observații experimentale, nu se va impune ușor, pentru că teoria caloricului era larg acceptată de oamenii de știință din secolul al XVIII-lea. Ulterior, revoluția industrială va impune, ca o necesitate fundamentată pe considerente experimentale, ideea că întotdeauna căldura produsă trebuie să fie exact proporțională cu energia cinetică pierdută.

Principiul echivalenței între energie și căldură a fost enunțat de Julius Robert von Mayer, care a dat și o valoare precisă pentru

constanta de proporționalitate dintre lucru mecanic și căldură, pe baza diferenței dintre căldurile specifice ale unui gaz perfect. Dar nu este lipsit de importanță să subliniem faptul că, primul om de știință care a avansat ideea conservării energiei a fost G.L. Leibniz. El distingea *vis viva* (adică ceea ce se numește astăzi energie cinetică) de *vis mortua* (forța obișnuită). Considerând cazul ciocnirii a două corpuri moi sau neelastice, arată că ele nu-și pierd forța vie (energia cinetică) decât aparent, deoarece „forțele nu au fost distruse, ci împrăștiate, în cele mai mici părți. Nu este o pierdere, ci totul se întâmplă ca și când cineva ar vrea să schimbe o monedă în piese mai mici.” Prin urmare, dacă se consideră mișcarea totală a corpurilor, ele par să piardă energia cinetică, dar, de fapt, aceasta se transferă părților din care se constituie corpurile, în virtutea faptului că „ciocnirea puternică creează o agitație interioară”. Explicit, Leibniz susține că „*vis vivae* este conservată în lume”.⁸

Considerațiile lui Leibniz, deși aveau la bază principiul metafizic al egalității dintre cauză și efect și nu se bazau pe experimente (cum de altfel singur precizează), vor fi preluate și sistematizate de Johannes Bernoulli, care introduce termenul de „energie”, de Leonhard Euler și, ulterior de Daniel Bernoulli. Acesta din urmă, va afirma, în 1738, ideea că, gazele sunt formate din molecule elastice, care se ciocnesc cu viteze mari și ricoșează în conformitate cu legile mecanicii. Originea presiunii este explicată prin efectul mecanic al ciocnirii moleculelor de gaz în mișcare când se lovesc de un solid. Astfel, procesele fizice regulate, descrise de variabile continue, precum densitatea, viteza sau presiunea sunt, la nivel microscopic, rezultate din extrem de complexe mișcări ale unui număr imens de particule. Deși concepția lui D. Bernoulli putea justifica

proprietăți importante ale gazelor, precum compresibilitatea, tendința la expansiune, creșterea temperaturii în timpul compresiei și scăderea ei în timpul expansiunii, tendința către uniformitate spațială, va trebui să se ajungă în secolul al XIX-lea pentru a se constitui teoria cinetică a gazelor. Acest domeniu se va naște ca o necesitate de a fundamenta un prototip de construcție matematică pentru comportamentul unor sisteme complexe, precum gazele.

O contribuție decisivă la constituirea viitoarei discipline a termodinamicii o va avea inginerul francez Sadi Carnot. Pentru a demonstra că puterea motrică a căldurii este o funcție universală de temperatură, el a creat procesul numit astăzi ciclul Carnot. Aspectul fundamental care reiese din acest ciclu este acela că sunt necesare cel puțin două surse de căldură, la temperaturi diferite, pentru a se obține lucru mecanic și, date fiind temperaturile, există un lucru mecanic de valoare maximă ce poate fi obținut. Astfel, se poate stabili teoretic randamentul mașinilor termice și refrigeratoarelor, întrucât ciclul Carnot reprezintă modelul pentru o instalație care extrage lucru mecanic din căldură sau produce lucru mecanic pentru a reduce căldura.

Obiectul de cercetare al termodinamicii, beneficiind de contribuțiile lui S. Carnot și de experiențele lui J.P. Joule, se va constitui cu scopul de a studia consecințele celor două mari principii, conservarea energiei (primul principiu) și existența proceselor ireversibile (al doilea principiu).

Primul principiu pornește de la ideea că în orice sistem fizic există două feluri de energie: mecanică și termică. Suma lor poate să se schimbe. Cantitatea de căldură Q și lucrul mecanic L reprezintă energie schimbată (algebric) de sistem cu mediul exterior (cu alte sisteme) și deci nu sunt funcții de stare ale sistemului, ci funcții de proces sau de transformare, adică depind de felul procesului de schimb de energie. În toate fenomenele fizice nu intervine decât cantitatea de căldură absorbită sau cedată de

⁸ C. Cercignani-Ludwig Boltzmann-omul care a crezut în atomi, Ed. Tehnică, București, 2000, p. 76

un sistem și **nu conținut** de un sistem, la fel cum nu intervine decât lucrul mecanic **efectuat** de sistem sau primit de sistem și **nu conținut** de un sistem. Primul principiu stabilește că:

Schimbul total de energie este egal cu lucrul mecanic realizat de sistem plus căldura adăugată sistemului.

Al doilea principiu arată că nu toate procesele compatibile cu primul principiu al termodinamicii pot avea loc efectiv. În timp ce primul principiu stabilește **echivalența cantitativă** dintre căldură și lucrul mecanic, principiul al doilea stabilește o **diferență calitativă** între ele, exprimând ireversibilitatea proceselor din natură, cu alte cuvinte, indicând sensul desfășurării lor. Deși se poate realiza lucru mecanic pentru a încălzi un sistem, nu este întotdeauna suficient să se adauge căldură pentru a crește energia mecanică a respectivului sistem. Sunt necesare cel puțin două surse de temperaturi diferite, așa cum arată ciclul Carnot, de care am amintit. În esență, al doilea principiu stabilește că niciodată căldura nu poate trece de la un corp mai rece la unul mai cald fără ca o oarecare altă transformare să aibă loc simultan.

Geneza noii discipline va fi marcată de contribuțiile lui **R. Clausius** în Germania și a lui **William Thomson, lord Kelvin** în Marea Britanie. Înainte de 1850 se găseau în literatura științifică menționări despre ceva care este pierdut când căldura este folosită la producerea de lucru mecanic. În 1852, lordul Kelvin a afirmat existența „unei tendințe universale în natură către disiparea energiei mecanice.” Preluând ideea, mai târziu, H. von Helmholtz va descrie „moartea termică” a universului, ca urmare a transformării întregii energii în căldură⁹. Clausius a fost primul care a formulat al doilea principiu al termodinamicii și a utilizat noțiunea de *entropie*, după ce teoria cinetică ajunsese în

acel stadiu în care energia termică era explicit recunoscută ca fiind dată de energia cinetică a mișcării aleatoare a moleculelor. Principiul al doilea în formularea lui Clausius din 1850 stabilea:

Căldura nu poate trece de la sine de la un corp rece la un corp cald.

Deci într-un sistem de două corpuri de temperaturi diferite, puse în contact termic, în mod spontan (de la sine) căldura va trece de la corpul cald la corpul rece pînă se obține echilibrul termic (egalizarea temperaturilor).

O altă formulare a principiului II dată de lord Kelvin este legată de funcționarea mașinilor termice.

Este imposibil de transformat în lucru mecanic căldura primită de la un corp, fără a produce vreun alt efect, afară de răcirea aceluia corp.

Principiul al doilea al termodinamicii, care se poate aplica proceselor ireversibile mai este numit și *principiul entropiei*. Primul care a utilizat acest termen a fost Clausius, iar inițiativa de a da un nume pentru acea funcție extensivă de stare care anterior fusese reprezentată doar ca o formulă matematică, va avea un impact deosebit asupra cercetării proceselor ireversibile. Noțiunea de *entropie* își are originea în cuvântul grecesc *ἐντροπή*, care are multiple semnificații, dintre care cele de *schimbare, mutație*, sau *evoluție* corespund cel mai bine intenției lui Clausius și contextului fizic, dar și celui chimic, biologic și cosmologic.

Odată cu introducerea conceptului de entropie, se va marca și o diferență nuanțată între procesele fizice reversibile și cele ireversibile. Nu se poate spune că descrierea dinamică a unui sistem este un caz particular al descrierii termodinamice, care ne-ar oferi o perspectivă mai amplă sau mai profundă. Cele două descrieri sunt ireconciliabile, dar complementare, adaptate nivelului ontologic cercetat. Proprietățile materiei reprezentată ca un continuu sunt descrise cu ajutorul unor mărimi precum densitatea, viteza, presiunea (unui

⁹ Cercignani C. *Ludwig Boltzmann, omul care a crezut în atomi*
Ed. Tehnica, București, 2000, 101-102

gaz), temperatura, mărimi a căror evoluție temporală este stabilită de legi fundamentale ireversibile ce implică disiparea și creșterea entropiei. Dar aceeași materie poate fi concepută ca fiind formată dintr-un număr extrem de mare de particule, care se mișcă după legile cu simetrie temporală ale mecanicii. Trecerea de la un nivel ontologic la altul este însoțită de ruperea simetriei temporale și conduce de la mișcarea microscopică reversibilă la fenomenele macroscopice ireversibile.

Dacă se consideră un sistem fizic izolat, mărimi caracteristice celor două descrieri, de exemplu energia și entropia, se comportă diferit. Energia are tendința să se conserve, în timp ce entropia are proprietatea de a crește. Competiția dintre factorul energetic și cel entropic este reglată de temperatură. La temperatură joasă este dominantă energia; se formează structurile ordonate, asemenea cristalelor. La temperatură înaltă, devine dominantă entropia, ca în starea lichidă și cea gazoasă. Entropia maximă corespunde unei stări de echilibru a sistemului, iar la nivel molecular, unei tendințe spontane de creștere a gradului de dezordine, o astfel de stare fiind mai probabilă decât o stare de ordine. Factorul fizic responsabil de trecerea de la starea de ordine la o stare de dezordine, în cadrul sistemului, este agitația termică a moleculelor, mișcarea browniană.

Ludwig Boltzmann a fost primul fizician care a încercat să interpreteze în termeni de probabilitate creșterea ireversibilă a entropiei într-un sistem. Însă trecerea de la descrierea dinamică la cea termodinamică a comportamentului unui sistem fizic a făcut să iasă în evidență o serie de paradoxuri ce au devenit tot atâtea obiecții la interpretarea lui Boltzmann.

Influența ideilor lui Boltzmann în teoriile ce vor fi elaborate în cursul secolului al XX-lea este incontestabilă. De la sugerarea unei legături între mișcarea browniană și mișcările moleculare (legătura care va fi prelucrată de Einstein și va reprezenta punctul de pornire în stabilirea

unei structuri atomice a materiei), până la aplicații în noi domenii precum teoria electronilor sau radiația corpului negru.

Opera lui Plank poate fi considerată placa turnantă care face legătura între ideile lui Boltzmann și mecanica cuantică ce se va constitui la începutul secolului XX. Deși Boltzmann împărțise deja energia într-un număr de „cuante” notat cu ϵ , Plank este cel care va obține cunoscuta formulă $\epsilon = h\nu$. Iar pasul următor îl va face Einstein, care introducând noțiunea de *cuantă de lumină* (foton, abia după 1926) va explica efectul fotoelectric și va deschide drumul mecanicii cuantice.

3. *Termodinamica sistemelor complexe*

În prezent, termodinamica este capabilă să explice comportarea sistemelor în trei situații:

echilibru (termodinamica clasică), stare spre care evoluează un sistem închis;

sisteme aflate la o anumită distanță de echilibru și care revin la echilibru;

sisteme deschise care schimbă energie și/sau substanță cu mediul, aflate departe de echilibru.

A treia clasă include sistemele organizate nevii (ex. celulele de convecție sau Benard, tornadele, laserii) și sistemele vii, de la celule la ecosisteme. Acest tip de sisteme este cunoscut astăzi sub numele de *structuri disipative*, nume dat de I. Prigojine¹⁰, care împreună cu școala sa de la Bruxelles, le-a studiat și pus în evidență caracteristicile. Structurile disipative depind de fluxurile exterioare de energie pentru a-și menține organizarea, ceea ce va conduce la creșterea entropiei sistemului „global” în care este inclusă structura.

Așa cum arătam în capitolul precedent, încă din secolul al XIX-lea a fost avansată ideea „morții termice a universului” ca o consecință a manifestării celui de-al doilea principiu al termodinamicii. Boltzmann însuși a arătat că, aparenta contradicție între

¹⁰ I. Prigojine; I. Stengers-*Noua alianță*. ed. Politică, București, 1984

moartea termică a universului și existența vieții, a sistemelor care cunosc o evoluție în timp, poate fi soluționată prin ideea că, acestea din urmă, se află angajate într-o competiție pentru entropie, care devine disponibilă datorită „transferului de energie de la soarele fierbinte la pământul rece”¹¹ Ideea lui Boltzmann va fi explorată ulterior de Schrödinger, care explică în lucrarea *Ce este viața?*, modalitatea prin care un organism se menține la un înalt nivel de ordine absorbind continuu entropie negativă din mediu. Atât la nivelul sistemelor fizice și chimice departe de echilibru, cât și la nivelul sistemelor vii apare un comportament specific ce constă în rezistența la acțiunea gradientilor, ca răspuns la încercările de a scoate sistemul din starea de echilibru. Ca urmare a evidențierii acestor caracteristici, Schneider și Kay propun un principiu al doilea al termodinamicii reformulat astfel:

*Odată ce un sistem a fost scos din echilibru, el va utiliza toate posibilitățile pentru a contracara gradientii aplicați. Dacă se cresc gradientii aplicați, va crește și abilitatea sistemului de a se opune unei și mai mari îndepărtări de echilibru.*¹²

Prin urmare, sistemele complexe, inclusiv cele biologice, se disting prin capacitatea de a dezvolta comportamente organizate consumând energie de înaltă calitate și menținându-și structurile. Aceste sisteme vii funcționează în cadrul unui suprasistem care impune constrângeri. Dacă nu sunt respectate restricțiile impuse, sistemul va fi eliminat. Genele joacă un rol decisiv în restrângerea opțiunilor și transmiterea procesului de autoorganizare reușit. Potrivit sugestiei lui Prigojine, condițiile în care se formează structurile disipative influențează decisiv mecanismul de selecție al autoorganizării. Câmpurile externe, cum ar fi câmpul

gravitațional și cel magnetic devin condiții la care reacționează sistemul viu ca un întreg și dezvoltă noi posibilități de răspuns.

Dar în afară de mecanismele de autoorganizare sensibile la fluctuații externe, sistemele vii mai au o caracteristică specifică, ce ne interesează din perspectiva conceptului de ireversibilitate. Este vorba de evoluția în timp a organismelor, evoluție care imprimă un sens determinat istoriei acestuia, fapt ce influențează decisiv cantitatea de informație și modul cum este ea gestionată. În timp ce dintr-un sistem închis nu se pierde nici o informație, iar comportamentul este, până la urmă reversibil, în sistemele deschise, ireversibile, informația este pierdută în mediu și apare imposibilitatea de a reconstitui informația sau ordinea inițială pe baza stării finale. Ce explicație există pentru această caracteristică? Pentru a construi o explicație trebuie să plecăm de la necesitatea de a modifica o serie de obiceiuri cognitive care își au originea în contactul nostru perceptiv cu realitatea. Teoriile științifice, precum teoria cuantică și teoria relativității, ne-au convins de limitele organelor perceptive cu care ne-a înzestrat selecția naturală. Aceste teorii studiază obiecte care se află cu mult dincolo de pragul accesului nostru direct. Totodată, ele au proclamat necesitatea unei logici noi și a unui limbaj nou. Renunțarea la reprezentarea lumii noastre ca o colecție de entități separate plasate pe un fundal static al spațiului și timpului ar conduce la înlocuirea ei cu imaginea universului văzut ca o rețea de relații între procese. Particulele elementare din care se compun obiectele macroscopice nu sunt obiecte statice, ci procese care transportă câțiva biți de informație. Astfel informația ne apare ca fiind decisiv legată de timp și de energie. Când privim obiectele din jurul nostru, ceea ce vedem este o consecință a interacțiunii fotonilor cu ochii noștri. Cu cât obiectul este mai depărtat, cu atât mai mult le-a luat fotonilor să ajungă la organul receptor al văzului. Altfel spus, ceea ce vedem nu sunt obiecte, ci procese prin care informația

¹¹ Citat în M. Murphy; L. O'Neill (ed.) - *Ce este viața? Următorii 50 de ani*, ed. Tehnică, București, 1999, p. 141

¹² *Idem*, p. 140

despre obiect ajunge la noi. Tendința de a plasa obiectele în spațiu trebuie înlocuită cu aceea de a considera relațiile informaționale ca evoluând în timp. Ceea ce vedem este o parte din istoria lumii. John D Barrow¹³, preluând modelul creat de fizicianul Daniel Spreng, ne avertizează că, o modificare a unuia dintre parametrii timp, informație și energie este echivalentă cu o combinație de modificări a celorlalți doi parametri. Modelul are forma unui triunghi. În vârfurile triunghiului sunt plasați, pe rând, cei trei parametri (I, t, E) cu valoare zero. Dacă avem mult timp la dispoziție, acțiunea se va plasa la baza triunghiului și nu avem nevoie de multă informație pentru că obținem efectul dorit printr-o strategie de tipul încercare-eroare (se irosește multă energie). Dar dacă timpul este prețios, cum este cazul societății contemporane, calea cea mai rapidă și cu cost minim de energie de a realiza o acțiune implică și multă informație.

Cercetările din ultimii ani au condus la o reunire a biologilor și fizicienilor, care încearcă deopotrivă să abordeze problematica sistemelor deschise aflate departe de echilibru, fie că acestea sunt structuri chimice decisive pentru descifrarea limitei viu-neviu, fie că sunt organisme sau ecosisteme, fie că este vorba de funcționarea creierului și explicarea conștiinței. Ființele vii, inclusiv creierul omenesc privit ca sistem, tind să rămână în stări coordonate nestabile ce se mențin lângă instabilitate, unde este posibilă apariția de noi stări, ca un răspuns flexibil. Pentru mulți biologi, sursa organizării biologice nu este deschiderea sistemului, ci prezența programului genetic ce determină controlul asupra organismului. Structurile biologice sunt multifuncționale : același set de componente se poate autoorganiza pentru diferite funcții, sau comportamente diferite se pot autoorganiza pentru aceeași funcție. De aceea se

¹³ J.D Barrow-*Despre imposibilitate*, ed. Tehnică, București, 1999, p. 133-134

sugerează că, deși legile fizicii și chimiei sunt respectate în biologie și chiar au condus la o mai bună înțelegere a bazei biomoleculare, ele reprezintă totuși un cadru conceptual prea strâmt care trebuie depășit.¹⁴

4. Termodinamica găurilor negre

Nu numai chimia și biologia au beneficiat de fertilitatea conceptelor din termodinamică : ireversibilitate, ordine/dezordine, entropie, echilibru, și un domeniu vechi, dar care a cunoscut în secolul al XX-lea o revigorare conceptuală și metodologică remarcabile. Este vorba de cosmologie.

Termenul de gaură neagră desemnează un obiect cosmic ce are un rol deosebit de important în înțelegerea structurii și originii universului. Acest concept a fost introdus de John Wheeler în 1969.¹⁵ Studiul găurilor negre a condus la o situație destul de rară în istoria științelor, și anume la situația în care teoria este elaborată detaliat ca un model matematic, înainte de a testa experimental corectitudinea sa. Un alt exemplu remarcabil, în acest sens, este teoria relativității generalizate, care deși formulată complet în 1915, nu exista nici un rezultat bazat pe observație care să o susțină. Prima confirmare experimentală a fost dată de rezultatele înregistrate în cursul expediției de observare a eclipsei din 1919, expediție condusă de sir Arthur Eddington și care a arătat că se pot observa efectele gravitației asupra luminii. Curbura Weyl a spațiu-

¹⁴ O discuție a problemelor sinergeticii ca un câmp multidisciplinar nou ce își propune să înțeleagă cum se formează pattern-urile în sistemele deschise departe de echilibru apare la J.A.Scott Kelso; H.Haken-*Ne așteptăm la noi legi în organism: sinergetica creierului și comportamentul*; în *Ce este viața-următorii 50 de ani* (ed.)-Michael P.Murphy și Luke A.J. O'Neill, Ed. Tehnică, București, 1999, pp.117-136
¹⁵ S.Hawking-*Scurtă istorie a timpului*, Ed.Humanitas, 2001, p.101

timpului ¹⁶se manifestă ca o distorsiune a imaginii unei stele îndepărtate, datorită efectului de curbare a razelor de lumină de către câmpul gravitațional al Soarelui. În prezent, acest efect de curbare a razelor de lumină, descris matematic de Einstein și confirmat experimental, reprezintă un adevărat instrument de observație în astronomie permițând estimarea masei unei galaxii, de exemplu.

O confirmare a existenței găurilor negre a fost făcută în 1963, de către astronomul Maarten Schmidt, de la Observatorul Palomar din California, care a măsurat deplasarea spre roșu a unui obiect, care s-a dovedit a fi un quasar. A urmat descoperirea în 1967 a unui pulsar care era format din stele neutronice rotative ce emiteau impulsuri de unde radio. Aceste stele se aflau aproape de acea densitate limită, dincolo de care se transformă în găuri negre. Ulterior, astronomii au descoperit și studiat sisteme în care o stea vizibilă se deplasează pe orbită în jurul unui obiect nevăzut, dar care exercită forță de gravitație. Acest companion putea fi o gaură neagră. De asemenea, au apărut, în timp, dovezi că și în centrul galaxiilor, inclusiv a noastră, se află imense găuri negre care își fac simțită prezența prin influența asupra vitezei de rotație a galaxiei.

În general, se consideră că o gaură neagră apare prin colapsul unei stele ce își epuizează combustibilul, adică atomii de hidrogen fuzionează formând heliu până se ajunge la o limită critică de densitate, iar câmpul gravitațional la suprafața sa devine atât de puternic, încât curbează conurile de lumină. Astfel, lumina nu mai poate „evada” de pe suprafața stelei și apare o gaură neagră. Întrucât lumina, conform teoriei relativității, are o viteză finită și reprezintă limita ce poate fi atinsă în

¹⁶ Tensorul de curbura Riemann care descrie curbura spațiu-timpului are două componente: curbura Weyl și curbura Ricci. Curbura Weyl măsoară efectul de maree, determinat de gravitație.

universul nostru, înseamnă că nici o altă informație nu mai poate fi transmisă de pe suprafața găurii negre.

Cercetarea acestor obiecte cosmice, considerate un fel de „microscop de putere infinită, prin care avem acces la fizica ce operează la scara Planck”¹⁷, a progresat foarte mult prin contribuția unor fizicieni și cosmologi care au descoperit că studiul acestor obiecte poate facilita elaborarea unei teorii cuantice a gravitației. Stephen Hawking și Roger Penrose au definit gaura neagră ca un set de evenimente din care nu mai era posibilă ieșirea luminii sau informației „Limita găurii negre, orizontul evenimentului, este formată din traiectoriile în spațiu-timp ale razelor de lumină care nu mai pot ieși din gaura neagră, rămânând pentru totdeauna la marginea ei”¹⁸. Orizontul nu este suprafața găurii negre, ci frontiera regiunii din care lumina mai poate ieși afară spre univers.

Interesant este faptul că o serie de concepte și descrieri teoretice din termodinamică și-au găsit aplicabilitatea în studiul găurilor negre. Acestea se comportă într-un mod ireversibil, deoarece tot ceea ce este absorbit de gaura neagră nu mai poate ieși. De aici reiese și o consecință pentru orizontul găurii negre (așa cum a arătat S. Hawking), în sensul că aria orizontului nu poate să scadă în timp. Analogia cu evoluția entropiei, care nici ea nu poate să descrească, l-a condus pe Bekenstein la convingerea că gaura neagră are în mod real entropie ce poate fi măsurată prin cantitatea de informație prinsă în capcană dincolo de orizont. Fizicienii au căutat ieșirea dintr-o contradicție ce apărea când se lua în considerare entropia unei găuri negre. Entropia fiind asociată cu temperatura,

¹⁷ Lee Smolin-*Spațiu, timp, univers*, ed. Humanitas, București, 2002, p. 88. Scara Planck este definită prin unitățile Planck: timpul Planck de 10^{-33} dintr-o secundă și dimensiunea Planck de 10^{-33} dintr-un centimetru.

¹⁸ S. Hawking-*op.cit.*, p. 120

atunci era imposibil ca găurile negre să aibă temperatură zero. Soluția a fost găsită de Hawking și reprezintă a treia lege a sa, care ne arată că temperatura T a unei găuri negre este invers proporțională cu masa ei:

$$T = \frac{k}{m}^{19}$$

Radiația emisă de o gaură neagră transportă energie, dar și masă (conform relației lui Einstein $E=mc^2$). Procesul prin care o gaură neagră radiază energie și masă, numit *evaporarea găurii negre*, are drept consecință faptul că, pe măsură ce pierde masă, ea devine tot mai fierbinte.

S-a ridicat întrebarea *Ce se întâmplă cu informația prinsă în capcană în interiorul găurii negre?* Întrucât cantitatea de informație este proporțională cu aria orizontului, pe măsură ce scade aria înseamnă că scade și volumul de informație? Unde se duce informația codată în fotoni? Este ea pierdută ireversibil?

Un răspuns a fost dat anul acesta de către S. Hawking la cea de-a 17-a Conferință Internațională a Teoriei Relativității și Gravităției desfășurată la Dublin. La această Conferință, Hawking a arătat că, în teoria clasică a găurilor negre pierderea informației nu a constituit o problemă, deoarece se credea că informația era capturată în interiorul găurii negre și nu mai era accesibilă, era pierdută pentru totdeauna. Situația s-a schimbat odată cu luarea în considerare a radiației găurii negre. O modalitate de răspuns ar fi posibilă dacă radiația găurii negre nu ar fi doar energie termică, ci ar avea subtile corelații. Nimeni nu a găsit un mecanism care să explice aceste corelații, dar mulți fizicieni cred că ele trebuie să existe.

Concluzia pe care Hawking a anunțat-o este că a găsit o cale de a demonstra că informația nu se pierde, ci se păstrează, dar înțelegerea modului cum se realizează acest lucru ține de topologia spațiu-timpului și de efectele gravitației cuantice. Probabil când vom avea o teorie a gravitației cuantice vom

înțelege mai bine acest proces. În orice caz, Hawking a arătat și că ipoteza pe care a făcut-o împreună cu J. Hartle referitor la posibilitatea ca informația captată într-o gaură neagră să treacă într-un univers paralel, nu este o supoziție care să fie susținută ferm de calcule matematice consistente cu teoriile cunoscute.²⁰

Un alt motiv pentru care găurile negre sunt obiecte cosmice deosebit de interesante pentru cosmologi, este analogia care se face între acestea și singularitatea inițială din care a luat naștere universul. Există o puternică așteptare printre cosmologi și astrofizicieni potrivit căreia, dacă s-ar putea înțelege o gaură neagră ca un sistem pur cuantic, atunci natura informației închisă într-o gaură neagră poate fi un bun test pentru o teorie unificată a teoriei cuantice și a gravitației. Lee Smolin, unul dintre actorii principali implicați în scenariul dramatic al obținerii teoriei unificate, arată că principiul holografic va juca un rol important în constituirea fundalului noii teorii. Aplicând acest principiu în teoria cuantică cu bucle, a pornit de la supoziția că entropia unei găuri negre este proporțională cu aria orizontului.

$$S = \frac{1}{4} A/h G$$

unde A este suprafața orizontului, iar G constanta gravitațională.

Astfel, orizontul este „ceva asemănător unui cip de memorie, cu un bit de informație codificat în fiecare pixel, fiecare pixel ocupând o regiune cu laturile de două lungimi Planck.”²¹ A dezvoltat o metodă pentru studiul geometriei cuantice a unei frontiere sau a unui ecran și rezultatul obținut a confirmat ideea conținută în mărginirea Bekenstein²²: informația

²⁰ O relatare a „discursului” lui Hawking se poate găsi pe site-ul <http://www.dcu.ie/~nolanb/gr17.htm>

²¹ L.Smolin-*op.cit.*, p.227

²² Mărginirea Bekenstein spune că, dacă vom considera un sistem fizic pe care îl numim Obiect, acesta se află în interiorul unei regiuni cu o frontieră finită, numită

¹⁹ S.Hawking-www.hep-th/9409195

codificată în geometria frontierei era totdeauna mai mică decât un anumit număr înmulțit cu aria totală. Principiul holografic spune că cea mai succintă descriere dată unei părți a lumii care se află de cealaltă parte a unei suprafețe este, de fapt, o descriere a modului cum evoluează imaginea sa pe acea suprafață. Prin urmare, lumea nu este constituită din obiecte plasate în anumite regiuni din spațiu, ci din procese prin care informația este transmisă dintr-o parte a lumii în alta. Spațiul este o sumă de arii care canalizează informația de la un observator la altul. Iar timpul este o rețea de relații între seturi de evenimente din istoria lumii. Vedem astfel cum cele mai recente cercetări din fizica teoretică vin să confirme o veche intuiție a lui Leibniz, care definea timpul ca o „ordine a succesiunilor”, iar spațiul ca o „ordine a coexistențelor”²³

Aplicate în cosmologie, aceste date recente sugerează că există limite de care se leagă toate problemele majore nerezolvate din cosmologie. Una din ele se referă la imposibilitatea de a deține o informație completă asupra universului indiferent dacă el este finit sau infinit. Nu vom putea niciodată depăși frontiera trasată de viteza limită a luminii. Universul vizibil reprezintă regiunea din care lumina a avut timp să ajungă până la noi. Deci există o relație între aria universului vizibil și vârsta universului. Observațiile făcute de satelitul COBE, ne spun ceva despre structura conului nostru de lumină când universul vizibil era cam de o mie de ori mai mic decât este astăzi, la circa 300 de ani după ce a început expansiunea. J. Barrow²⁴ consideră că dacă am putea vreodată să detectăm neutrini din universul timpuriu, atunci ne vom plasa la vârsta de o

Ecran. Vrând să cunoaștem obiectul constatăm că există o limită a informației pe care o putem avea făcând observații prin Ecranul care –l înconjoară. Această cantitate de informație trebuie să fie mai mică decât un sfert din aria Ecranului în unități Planck.

²⁴ J.D. Barrow-op.cit.

secundă a universului. Dar ca să ajungem la momentul zero al originii universului ar trebui să fim capabili să detectăm radiația gravitațională. Deocamdată, ceea ce înțelegem este că expansiunea acționează ca un filtru cosmologic, pentru că împinge informația asupra structurii inițiale a universului dincolo de orizontul nostru vizibil.

De asemenea, a fost formulată și ipoteza că expansiunea are tendința de a fi autoreproductibilă, în sensul că dă naștere unor universuri –bulă având valori diferite ale constantelor naturale. Datorită unor mici fluctuații, care au fost amplificate de instabilitatea gravitațională, încep să se distingă, universuri-bulă care vor avea istorii distincte în timp. Ulterior, apariția vieții și a inteligenței vor fi condiționate de anumite valori ale constantelor fizice.²⁵ Articolele publicate de J. Garriga și A. Vilenkin²⁶ M. Tegmark²⁷ pledează pentru consistența matematică a ideii că pot exista universuri paralele. Aceste universuri se pot afla la distanțe infinite de depărtate, în sensul că nu vom putea ajunge niciodată acolo, deoarece spațiul dintre bula noastră și „vecinele” sale se extinde mai repede decât ne putem deplasa prin el. O altă interpretare dată lumilor paralele este legată de colapsul funcției de undă din mecanica cuantică. În 1957, Hugh Everett a arătat că realitatea clasică se dezintegrează treptat în suprapunerile mai multor realități. Interpretarea lumilor multiple a fost

²⁵ Andrei Linde-*Inflation, Quantum Cosmology and the Anthropic Principle*, în *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos*, J.D. Barrow, P.C.W. Davies, C.L. Harper (ed.) Cambridge University Press, 2003; disponibil on-line la arXiv: hep-th/0211048

²⁶ J. Garriga; A. Vilenkin –*Many worlds in one*, în *Physical Review* vol. D64, nr 043511, 26 iulie 2001. Disponibil on –line la arXiv/org/abs/gr-qc/0102010 (2001)

²⁷ M. Tegmark-*Universuri paralele*, *Scientific American* nr 6, mai, 2003

completată cu o teorie care să explice de ce ceea ce observăm corespunde răspunsurilor la anumite întrebări și nu unui număr infinit de alte întrebări. Lumea pe care o cunoaștem din experiența nemijlocită este decoerentă, în sensul că o infinitate de lumi consistente în acest moment nu vor mai fi semăna cu lumea noastră în următoarele cinci minute. Aceasta implică o dependență a realității de context. Nu putem vorbi cu sens despre un obiect fără a specifica mai întâi întrebările care se pun despre acel obiect. Lumea conține multe istorii diferite, fiecare putând fi adusă în existență de setul potrivit de întrebări. Noi, observatorii nu putem trăi decât într-una dintre aceste istorii, dar toate celelalte sunt posibile. În concluzie, nu putem ști dacă universul este sau nu infinit, dacă are o origine în timp, dacă entropia lui crește așa cum crește entropia sistemelor mici, dacă este deschis sau închis. Probabil va trebui să ne obișnuim cu ideea că unele întrebări ale noastre nu vor primi răspuns niciodată.

5. Aspecte filosofice ale ireversibilității

În dezbaterea problemei privind legătura care există între ireversibilitate – reversibilitate și „săgeata timpului” vom evidenția și câteva sugestii date de M. Bunge²⁸. Enunțul că „timpul este asimetric sau anizotrop”, deși este acceptat, necesită clarificări. Pornind de la conceptele de evenimente, cadre de referință și scale cronometrice, Bunge enunță axiomele unei teorii a timpului, care determină conceptul de timp local ca fiind ancorat în schimbarea reală și relativ la un cadru oarecare. Prin urmare, funcția timpului local este importantă în evenimente, dar este aceeași, indiferent că avem de-a face cu evenimente reversibile (mecanica particulelor sau termostatică) ori evenimente ireversibile (termodinamică). Pentru a conferi un sens timpului putem adăuga o convenție care să lege ordinea evenimentelor de

direcționalitatea duratei, dar această convenție este arbitrară. Bunge conchide că „natura ne spune că timpul curge, dar nu și încotro”. Inversarea timpului se referă la inversarea variabilei-timp, deci este o operație matematică și examinează posibilitatea ca aceasta să aibă și o semnificație fizică. Inversarea lui t într-un enunț de lege $L(t)$, cum ar fi o ecuație de mișcare sau o ecuație a câmpului duce la două posibilități :sau $L(-t)=L(t)$ sau egalitatea nu are loc. Dacă un enunț de lege nu poate fi T-invariant, atunci se referă la procese ireversibile, dar dacă este T-invariant, atunci el poate sau nu să vizeze procese reversibile, depinzând și de formulele însoțitoare. Bunge ne reamintește că „legile determină procesele numai în mod parțial”. Un proces este exprimat printr-un set de legi, care este însoțit de anumite constrângeri, de condiții de frontieră (care sunt atât de importante în fizica câmpului, în mecanica cuantică) și ele sunt, de fapt, o reprezentare schematică a procesului și a mediului în care se desfășoară. Ideea că reversibilitatea ar fi mai fundamentală decât ireversibilitatea sau aceea că, pe durată lungă, toate procesele se dovedesc a fi reversibile și că ireversibilitatea rezultă ca o iluzie din imposibilitatea de a urmări procesul un timp destul de îndelungat trebuie socotite eronate. În concluzie, Bunge consideră că :

-asimetria timpului este independentă de cauzalitate, de invarianța la inversarea timpului și de ireversibilitate.

-T-invarianța este o proprietate a anumitor enunțuri de legi care conțin variabila timp.

-T-invarianța implică inversarea procesului, dar nu și inversarea direcției timpului.

-ireversibilitatea se referă la procese, nu și la legile lor.

-Dacă un proces este reversibil, atunci legile lui sunt T-invariante, dar nu și invers.

O tratare filosofică a problemelor legate de ireversibilitate găsim și la

²⁸ M. Bunge-*Știință și filosofie*, ed. Politică, București, 1984, p. 178-190

H.Reichenbach²⁹.Definirea asimetriei temporale și legătura ei cu cauzalitatea va constitui punctul de plecare al unor argumentări pe linia de gândire deschisă de Reichenbach sau pe alte coordonate.

Definirea timpului conduce la analogia cu o dreaptă pe care punctele sunt ordonate serial.Pentru a folosi indicațiile *la stînga* sau *la dreapta* trebuie mai întîi să alegem un punct pe care îl marcăm pe diagramă și, în mod convențional, alegem ce parte va fi *la stînga* și care *la dreapta*.După această operație, nu vom observa nici o deosebire structurală între relația *la stînga* și relația *la dreapta*.Și timpul poate fi considerat ca o serie ordonată de momente, dar de această dată concepem și un sens al lui.Astfel relația *mai devreme decît* este considerată de aceeași natură cu relația *mai mic decît* și diferă structural de relația *mai târziu decît*.

Observăm că Reichenbach pleacă de la o spațializare a timpului și de la ordonarea evenimentelor în timp prin plasarea lor pe o axă reprezentată ca o dreaptă.Apoi, pentru a defini viitorul și trecutul se folosește de punctul de vedere al statisticii termodinamice.Potrivit acesteia, o stare ordonată a sistemului este mai puțin probabilă decît o stare dezordonată.Astfel, viitorul este considerat ca fiind sensul temporal în care entropia crește la majoritatea sistemelor izolate.

Stabilirea semnificației conceptului de *viitor* și a celui de *trecut* are legătură cu experiența empirică datorită căreia omul a fost confruntat cu stări neașteptate de ordine, ceea ce l-a făcut să caute și să presupună cauze ale acestei ordini în trecut.Exemplul dat de Reichenbach cu urmele pașilor pe nisip este ilustrativ pentru schema logică a raționamentului cauzal.Dacă pe nisip, a cărui suprafață netedă este socotită o stare neordonată, se văd urme de picior omenesc (stare puternic ordonată),concluzia care decurge este că,

²⁹ H.Reichenbach-*The Direction of Time*,University of California Press,Berkeley,1956

mai devreme în raport cu momentul prezent, un om a mers pe nisip.Dacă sistemul nu a fost izolat în trecut, prezența urmei de picior este o consecință a interacțiunii din trecut dintre piciorul omenesc și suprafața netedă a nisipului.Starea de ordine este efectul unei interacțiuni plasate în trecut.La întrebarea de ce putem cunoaște trecutul, dar nu și viitorul, Reichenbach răspunde:"Afirmția că, deși trecutul poate fi înregistrat, viitorul nu poate fi, se traduce în afirmația statistică :*Stările izolate de ordine sunt întotdeauna stări de postinteracțiune, niciodată stări de preinteracțiune*".³⁰ De asemenea, atunci când două evenimente plasate în puncte diferite ale spațiului nu pot fi explicate printr-o legătură cauzală,atunci aceste evenimente sunt legate de un al treilea eveniment „cauza lor comună”.Această structură se numește „asimetrie de bifurcație”,ce are forma de V (timpul curge în sus).

Aceste argumentări nu au întrunit adeziunea altor filosofi.Dimpotrivă,unii au arătat că oamenii derivă ireversibilitatea din cauzalitate și nu invers (Mackie³¹) ;Earman³² leagă asimetria timpului de asimetria cauzală și susține că entropia nu are vreo relevanță în această problemă;von Wright ³³ sugerează că orientarea temporală a cauzalității își are originea în abilitatea noastră de a mînuși viitorul.

6. Concluzii

Din analiza tuturor datelor care provin din domenii diferite ale științei putem constata că noțiunea de ireversibilitate și-a dovedit puterea euristică prin complexe valențe pe care le-a dobîndit. Astfel, în

³⁰ Citat în C.Cercignani,op.cit,p.137

³¹ J.L.Mackie-*Causation:the cement of the univers*,Oxford University Press,1974

³² J.Earman-The problem of the direction of time în *Philosophy of Science*,41,pp.15-47

³³ G.h.von Wright,*Explanation and understanding*,Cornell University Press,Ithaca,NY,1971

termodinamică, ireversibilitatea proceselor ce părea să conducă la paradoxuri fizice s-a transformat într-o viziune complementară a realității ce poate fi descrisă la nivel microscopic de legi invariante la inversiunea timpului sau la nivel macroscopic, unde structurile disipative sunt guvernate de legi ireversibile.

Problemele legate de „săgeata timpului” ne forțează să reconsiderăm comportamentul structurilor complexe chimice și biologice, care au capacitate de autoorganizare și evoluează în timp ireversibil, ca un răspuns la modificarea condițiilor de mediu. Sensibile la mici fluctuații, sistemele vii dezvoltă un mecanism de selecție și de transmitere a programului de autoorganizare care a trecut proba restricțiilor impuse de mediu. Există speranțe legate de înțelegerea în viitor a presiunilor selective în dezvoltare și a apariției vieții. În orice caz, cartea unui fizician, specialist în fizică cuantică, Erwin Schrodinger a declanșat cercetările de biologie moleculară și de studiere a ecosistemelor prin fructificarea unor sugestii venite din termodinamică. De asemenea, cosmologii pot prelua sugestii venite din biologie, dacă se poate gândi universul ca fiind capabil de auto-reproductibilitate și creștere. Astfel dacă urmăm definiția dată de biologi vieții (proces ce posedă reproducere, variație și ereditate) am putea vorbi de un univers ce se comportă ca un organism viu.

Totodată, conceptul de ireversibilitate se leagă de cauzalitate în măsura în care gândim că un fapt prezent este o consecință a unei interacțiuni anterioare plasate în trecut. Dar așa cum ne dezvoltă fizica cuantică și cosmologia, lumea trebuie reprezentată ca o rețea dinamică de relații între procese. Conceptele de spațiu și timp trebuie reconsiderate și din perspectiva informației pe care suntem capabili să o extragem consumând timp și energie. Dar această informație este limitată de aria ecranelor care înconjoară obiectele din realitate, precum și de viteza limită a

lumini. Aceasta din urmă împarte universul în părți care sunt în afara contactului cauzal una cu alta. Putem aduna informații doar din regiunea din interiorul orizontului pe care lumina îl definește pentru noi.

Așadar, de la nivelul particulelor cuantice și până la cel al universului în ansamblul său, conceptul de ireversibilitate însoțește constant efortul de a descifra mesajul existenței. Dacă vom avea în viitor o teorie a gravitației cuantice, ea va unifica într-o reprezentare adecvată nivelul microcosmic și cel macrocosmic și se va contura în jurul ideii de proces și de informații schimbate între ele și modificate în cadrul lor.

BIBLIOGRAFIE

- BARROW J.D.-*Despre imposibilitate*, ed. Tehnică, București, 1999
BUNGE M.-*Știință și filosofie*, ed. Politică, București, 1984
CERCIGNANI Carlo-*Ludwig Boltzmann, omul care a crezut în atomi*, ed. Tehnică, București, 2000
CUSHING James T.-*Concepte filosofice în fizică*, ed. Tehnică, București, 2000
EARMAN J.-*The problem of the direction of time*, în *Philosophy of Science*, 41.
HAWKING S.-*Scurtă istorie a timpului*, ed. Humanitas, București, 2001
MACKIE J.L.-*Causation: the cement of the univers*, Oxford University Press, 1974
MURPHY M., O'NEILL L.-*Ce este viața? Următorii 50 de ani*, ed. Tehnică București, 1999
NEWTON Isaac-*Principiile matematice ale filosofiei naturale*, ed. Academiei, 1956
PRIGOGINE Ilya, STENGERS Isabelle-*Noua Alianță*, ed. Politică, București, 1984
REICHENBACH H.-*The Direction of Time*, University California Press, Berkeley, 1956
ROSSI Paolo- *Nașterea științei moderne*, ed. Polirom, Iasi, 2004
SMOLIN L.-*Spațiu, timp, univers*, ed. Humanitas, București, 2002

Analele Universității Dunărea de Jos

TEGMARK M.- *Universuri
paralele*, Scientific American, nr.6, mai, 2003
WHITESIDE S.-*Patterns of Mathematical
Thought in the Seventeenth Century în
Archive for the History of Exact Sciences, I.*
WESTFALL R.S.-*Never a rest: A Biografy
of Isaac Newton*, Cambridge University
Press, Cambridge, 1980

Filosofie

VonWRIGHT G.H.-*Explanation and
understanding*, Cornell University
Press, Ithaca, NY, 1971

Surse on-line:
www.dcu.ie/~nolanb/gr17.htm
www.hep-th/9409195
arXiv.org/abs/gr-qc/0102010