

GÖDEL, ESCHER, BACH

Brilianta Ghirlandă Eternă

Douglas R. Hofstadter (n. 1945) este profesor de științe cognitive și literatură comparată la Universitatea din Indiana și, în cadrul aceleiași instituții, director al FARG (Fluid Analogies Research Group) la Centrul de Cercetare a Conceptelor și Cognitionii. În 1965, Hofstadter a absolvit Facultatea de Matematică din cadrul Universității Stanford și, zece ani mai târziu, și-a susținut lucrarea de doctorat în fizica stării solide la Universitatea din Oregon.

Pasiunea din tinerețe pentru teoria numerelor și logică, la care se adaugă fascinația continuă pentru mintea umană – de la natura conștiinței la mecanismele creativității și până la studiul analogiilor și conceptelor fluide – l-au condus la scrierea cărții care i-a adus celebritatea: *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*, distinsă cu Premiul Pulitzer și cu American Book Award în 1980. Câteva decenii mai târziu, Hofstadter a redeschis dezbaterile asupra problemelor conștiinței în *I Am a Strange Loop* (pentru care a primit Los Angeles Times Book Prize) și *The Mind's I*, volum scris în colaborare cu Daniel C. Dennett.

Hofstadter a manifestat dintotdeauna un adânc interes pentru studiul limbilor și în special pentru potențialul creativ al constrângerilor și analogiilor impuse de traducerea unui text, un interes pe care l-a exploatat în *Le Ton beau de Marot: In Praise of the Music of Language*, precum și în traducerea a două romane în engleză: *Eugene Onegin* de Aleksandr Pușkin și *That Mad Ache*, titlul anagramatic pentru *La Chamade* de Françoise Sagan.

Între 1981 și 1983, Hofstadter a colaborat cu revista *Scientific American*, unde a preluat de la Martin Gardner rubrica „Mathematical Games” și a reinventat-o, din nou anagramatic, ca „Metamagical Themas”. Seria de articole explorând teme extrem de variate precum studiile lui Frédéric Chopin, dilema prizonierului, limbajul informatic Lisp, testul Turing și multe altele a fost ulterior publicată în volum.

Cărți reprezentative: *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid* (1979), *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern* (1985), *Fluid Concepts and Creative Analogies: Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought* (1995), *Le Ton beau de Marot: In Praise of the Music of Language* (1997), *I Am a Strange Loop* (2007), *Surfaces and Essences: Analogy as the Fuel and Fire of Thinking* (2013).

DOUGLAS R. HOFSTADTER

GÖDEL, ESCHER, BACH

Brilianta Ghirlandă Eternă

Traducere din engleză
de Corina Tiron

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

Lui M. și D.

CUPRINS

Prezentare	9
Listă de ilustrații	15
Prefață la a douăzecea ediție aniversară a lui <i>GEB</i>	19
Cuvinte de mulțumire	45

PARTEA I: GEB

Introducere: ofrandă muzico-logică	51
<i>Invențiune la trei voci</i>	77
Capitolul I: Enigma MU	81
<i>Invențiune la două voci</i>	91
Capitolul II: Sens și formă în matematică	94
<i>Sonată pentru Ahile solo</i>	109
Capitolul III: Figură și fundal	112
<i>Contracrostipunctus</i>	123
Capitolul IV: Consistență, completitudine și geometrie	130
<i>Mic labirint armonic</i>	151
Capitolul V: Structuri și procese recursive	172
<i>Canon prin augmentare intervalică</i>	198
Capitolul VI: Locația sensului	203
<i>Fantezie cromatică și fugioso</i>	222
Capitolul VII: Calculul propozițional	226
<i>Canon cancricans</i>	244
Capitolul VIII: Teoria numerelor tipografică	249
<i>Ofrandă Mu</i>	275
Capitolul IX: Mumon și Gödel	289

PARTEA a II-a: BGE

<i>Preludiu...</i>	317
Capitolul X: Niveluri de descriere și sisteme informatice	326
... <i>Furnugă</i>	352

Capitolul XI: Creier și gândire	377
<i>Suită engleză, franceză, germană</i>	406
Capitolul XII: Minte și gândire	409
<i>Arie cu diverse variații</i>	431
Capitolul XIII: Buclă, Muclă și Guclă	446
<i>Arie pe coarda G</i>	470
Capitolul XIV: Despre propoziții formal indecidabile din TNT și sisteme înrudite	477
<i>Cantatatata... aniversară</i>	499
Capitolul XV: Ieșire din sistem	503
<i>Gânduri edificatoare ale unui fumător de tutun</i>	518
Capitolul XVI: Auto-ref și auto-rep	533
<i>Magnificrab, în realitate</i>	585
Capitolul XVII: Church, Turing, Tarski și alții	595
<i>SHRDLU, jucăria mea rămâne</i>	621
Capitolul XVIII: Inteligența artificială: în retrospectivă	628
<i>Contrafactus</i>	666
Capitolul XIX: Inteligența artificială: în perspectivă	674
<i>Canonul Leneșului</i>	714
Capitolul XX: Bucle Stranii sau Ierarhii Întortocheate	717
<i>Ricercar la șase voci</i>	753
Note	775
Bibliografie	779
Surse iconografice	791
Indice	793

PREZENTARE

Partea I: GEB

Introducere: ofrandă muzico-logică. Cartea se deschide cu istoria *Ofrandei muzicale* a lui Bach.

În cursul unei vizite inopinate la curtea regelui Frederic cel Mare al Prusiei, compozitorului i s-a cerut să improvizeze pe o temă aleasă de rege. Improvizațiile sale au constituit baza acestei mari opere. *Ofrandă muzicală* și istoria ei alcătuiesc tema pe marginea căreia „improvizez“ pe parcursul întregii cărți, compunând astfel un fel de „Ofrandă meta-muzicală“. Auto-referențialitatea și jocul între diferite niveluri în opera lui Bach sunt aduse în discuție; se trece apoi la o dezbateră a ideilor paralele reprezentate în gravurile lui Escher și, ulterior, în Teorema lui Gödel. O succintă istorie a logicii și paradoxului este prezentată ca preambul la Teorema lui Gödel, ceea ce conduce, mai departe, la o discuție despre raționamentul mecanic și computere și la o dezbateră asupra posibilității de a crea Inteligența Artificială. Introducerea se încheie cu o explicație referitoare la originile cărții – în particular, cum și de ce au apărut dialogurile.

Invențiune la trei voci. Bach a scris cincisprezece invențiuni la trei voci. În acest dialog la trei voci, Țestoasa și Ahile – principalii protagoniști ficționali din dialoguri – sunt „inventati“ de Zenon (cum, de fapt, au și fost în realitate, pentru a ilustra paradoxurile mișcării). Foarte scurt, el urmărește să deschidă apetitul pentru dialogurile care urmează.

Capitolul I: Enigma MU. Cititorul face cunoștință cu un sistem formal simplu (sistemul MIU) și este invitat să dezlege o enigmă pentru a se familiariza cu sistemele formale în general. Sunt introduse un număr de noțiuni fundamentale: șir, teoremă, axiomă, regula de inferență, derivare, sistem formal, procedură de decizie, operarea dinăuntru/din afara sistemului.

Invențiune la două voci. Bach a scris de asemenea cincisprezece invențiuni la două voci. Acest dialog la două voci nu a fost scris de mine, ci de Lewis Carroll în 1895. Carroll a împrumutat personajele Ahile și Țestoasa de la Zenon, iar eu, la rândul meu, le-am împrumutat de la Carroll. Subiectul dialogului este raportul între raționament, raționament despre raționament, raționament despre raționament despre raționament etc. Într-un anume fel, el face o analogie la paradoxurile lui Zenon despre imposibilitatea mișcării, părând să demonstreze, prin metoda regresului infinit, că raționamentul este imposibil. El însuși este un paradox foarte frumos și voi face referire la el de mai multe ori în carte.

Capitolul II: Sens și formă în matematică. Se prezintă un nou sistem formal (sistemul pg), încă și mai simplu decât sistemul MIU din Capitolul I. Deși pare la prima vedere să nu aibă sens, se va descoperi curând că simbolurile lui posedă un înțeles grație formei teoremelor în care apar. Această revelație reprezintă primul pas important către înțelegerea sensului: relația lui profundă cu noțiunea de izomorfism. În continuare sunt analizate o serie de probleme referitoare la sens, cum ar fi adevărul, demonstrația, manipularea simbolurilor și conceptul dificil de definit de „formă“.

Sonată pentru Ahile solo. Dialogul imită sonatele pentru vioară solo ale lui Bach. Mai precis, Ahile este singurul care vorbește, dialogul reprezentând transcrierea exclusivă a replicilor lui Ahile dintr-o conversație telefonică cu Testoasa, aflată la capătul celălalt al firului. Conversația lor se învârtă în jurul noțiunilor de „figură“ și „fundal“ în diferite contexte, cum ar fi arta lui Escher. Dialogul însuși pune în scenă distincția respectivă, dacă se consideră că replicile lui Ahile alcătuiesc „figura“, iar cele ale Testoasei – care se deduc implicit din replicile lui Ahile – alcătuiesc „fundalul“.

Capitolul III: Figură și fundal. Distincția dintre figură și fundal în artă este comparată cu distincția dintre teoreme și non-teoreme în sistemele formale. Întrebarea „Conține o figură în mod necesar aceleași informații ca fundalul său?“ introduce distincția dintre mulțimi recursiv enumerabile și mulțimi recursive.

Contracrostipunctus. Dialogul ocupă un loc central în carte, pentru că el conține o serie de parafraze la construcția auto-referențială a lui Gödel și la Teorema lui a Incompletitudinii. Una dintre parafrazele Teoremei afirmă că „Pentru fiecare fonograf există un disc pe care nu îl va putea reda“. Titlul dialogului se obține prin încrucișarea a două cuvinte: „acrostih“ și „contrapunctus“, cuvânt latin utilizat de Bach referitor la nenumăratele fugi și canoane incluse în *Arta fugii*. Se fac referințe explicite la *Arta fugii*. Dialogul însuși ascunde câteva tertipururi sub formă de acrostihuri.

Capitolul IV: Consistență, completitudine și geometrie. Dialogul precedent este explicat în contextul problemelor discutate până la acest moment. Se revine astfel la întrebările cum și când simbolurile dintr-un sistem formal capătă un sens. Se prezintă istoria geometriilor euclidiană și non-euclidiană ca ilustrare a noțiunii eluzive de „termeni primitivi“. Aceasta introduce câteva idei despre consistența unor geometrii diferite și posibil „rivale“. Discuția urmărește clarificarea termenilor primitivi și analizează relația între termeni primitivi, percepție și procesele gândirii.

Mic labirint armonic. Dialogul se bazează pe compoziția pentru orgă de Bach cu același titlu. Este o introducere ludică la noțiunea de structuri recursive – altfel spus, imbricate. Dialogul este construit după modelul poveștii în povești. Povestea cadru are un sfârșit deschis, lăsându-i cititorului incertitudinea dată de absența unei rezolvări. Una dintre poveștile imbricate are ca subiect modulația în muzică – mai precis, o compoziție pentru orgă care se termină într-o tonalitate greșită, lăsându-i auditorului incertitudinea dată de absența unei rezolvări.

Capitolul V: Structuri și procese recursive. Noțiunea de recursivitate este prezentată în mai multe contexte diferite: compoziții muzicale, construcții lingvistice, structuri geometrice, funcții matematice, teorii din domeniul fizicii, programe informatice și altele.

Canon prin augmentare intervalică. Ahile și Testoasa încearcă să dea un răspuns la întrebarea „Care dintre următoarele conține mai multe informații: un disc sau fonograful care îl redă?“. Se ajunge la această întrebare ciudată în momentul în care Testoasa descrie un disc particular care, atunci când este redat de diferite fonografe, produce două melodii diferite: B-A-C-H și C-A-G-E. În final, se va dovedi că melodiile sunt, într-un mod straniu, „aceleași“.

Capitolul VI: Locația sensului. O discuție amplă despre distribuția sensului între mesajul codificat, decodor și receptor. Printre exemplele prezentate se numără lanțurile de ADN, inscripțiile nedescifrate de pe tăblițele antice, precum și discuri pentru fonografe lansate în spațiu. Se postulează relația între inteligență și sensul „absolut“.

Fantezie cromatică și fugioso. Un scurt dialog care nu mai păstrează aproape nici o asemănare, cu excepția titlului, cu *Fantezie cromatică și fugă* de Bach. Se dezbate modul corect de

manipulare a propozițiilor pentru a conserva adevărul – și, în particular, întrebarea referitoare la existența unor reguli pentru utilizarea cuvântului „și“. Dialogul se aseamănă destul de mult cu dialogul lui Lewis Carroll.

Capitolul VII: Calculul Propozițional. Este sugerată teza conform căreia cuvinte cum ar fi „și“ pot fi guvernate de reguli formale. Sunt aduse în discuție încă o dată noțiunile de izomorfism și dobândirea automată de sens de către simbolurile dintr-un astfel de sistem. Toate exemplele din capitol sunt „zentagme“ – propoziții extrase din kōan-uri zen. Aceasta este o alegere intenționată, chiar dacă într-o măsură ironică, din moment ce kōan-urile zen sunt povești deliberat ilogice.

Canon cancricans. Un dialog bazat pe o bucată cu același nume din *Ofrandă muzicală*. Titlul face trimitere la ideea că (după cât se pare) crabii merg cu spatele. Crabul își face pentru prima dată apariția în acest dialog. Este probabil unul dintre cele mai dense dialoguri din carte din punctul de vedere al trucurilor formale și al jocului între niveluri. Gödel, Escher și Bach sunt adânc întrețesuți în textura dialogului.

Capitolul VIII: Teoria numerelor tipografică. Se prezintă o extensie a Calculului Propozițional, numită „TNT“. În TNT, raționamentul aritmetic operează prin intermediul manipulării de simboluri. Se trec în revistă diferențele între raționamentul formal și gândirea umană.

Ofrandă Mu. Dialogul anunță câteva noi teme ale cărții. Chiar dacă, la o primă vedere, el pare să trateze numai budismul zen și kōan-uri, dialogul nu este de fapt decât o dezbateră deghizată despre teoremitatea și non-teoremitatea, adevărul și falsitatea, șirurilor din teoria numerelor. Se fac, în trecere, câteva referințe și la biologia moleculară – în special, la Codul Genetic. Nu există nici o legătură cu *Ofrandă muzicală*, cu excepția titlului și a jocurilor auto-referențiale.

Capitolul IX: Mumon și Gödel. Se face o încercare de a analiza ideile propuse de budismul zen. Călugărul zen Mumon, renumit pentru comentariile sale la nenumărate kōan-uri, este o figură centrală a capitolului. S-ar putea spune că ideile zen prezintă o oarecare asemănare metaforică cu câteva idei contemporane din filozofia matematicii. După această digresiune „zenică“, se introduce ideea fundamentală a lui Gödel, numerația Gödel, căreia i se face o primă analiză.

Partea a II-a: BGE

Preludiu... Dialogul se atașează următorului. Ambele sunt modelate după preludii și fugi din *Clavecinul bine temperat* de Bach. Ahile și Țestoasa îi aduc un cadou Crabului, care mai are încă un invitat: Furnicarul. Cadoul se dovedește a fi o înregistrare după *C.b.t.*, iar Crabul pune imediat discul. În timp ce ascultă un preludiu, discută cu toții despre structura preludiilor și a fugilor, ceea ce îl determină pe Ahile să afle cum trebuie ascultată o fugă: ca un întreg sau ca sumă a părților sale? În spatele întrebării se ascunde dezbateră despre holism și reducționism, care va fi discutată în *Furnugă*.

Capitolul X: Niveluri de descriere și sisteme informatice. Se discută diferitele niveluri de la care se pot considera un tablou, o tablă de șah și un sistem informatic. Ultimul dintre ele este apoi examinat în detaliu, ceea ce implică descrierea limbajelor mașină, limbajelor de asamblare, limbajelor de compilare, sistemelor de operare etc. De aici se trece la sisteme mixte de alte tipuri, cum ar fi echipele sportive, nucleele, atomii, starea vremii etc. Se pune întrebarea cât de multe niveluri intermediare există – sau dacă ele există într-adevăr.

...*Furnugă*. Imitație a unei fugi muzicale: fiecare voce își face intrarea rostind aceleași cuvinte.

Tema – holism versus reductionism – este introdusă într-o imagine recursivă compusă din cuvinte compuse din cuvinte mai mici etc. Cuvintele care apar la toate cele patru niveluri ale acestui desen ciudat sunt „HOLISM“, „REDUCTIONISM“ și „MU“. Discuția deviază înspre un prieten al Furnicarului – Moșu’ Roy de Furnicari, o colonie de furnici înzestrată cu conștiință. Diferitele niveluri ale proceselor lui de gândire constituie tema de discuție. Nenumărate trucuri proprii fugilor sunt utilizate în dialog. Ca un indiciu pentru cititor, se fac mai multe referințe la trucuri paralele în fuga de pe discul audiat de cele patru personaje. În încheierea *Furnugii*, temele *Preludiului* reapar, modificate însă considerabil.

Capitolul XI: Creier și gândire. Tema capitolului este următoarea întrebare: „Cum apar gândurile din hardware-ul creierului?“ Se oferă pentru început o prezentare a structurii la scară largă și la scară redusă a creierului. Se analizează apoi în detaliu câteva ipoteze despre raportul între concepte și activitatea neuronală.

Suită engleză, franceză, germană. Un interludiu constând în poemul fără sens intitulat „Jabberwocky“ al lui Lewis Carroll, însoțit de două traduceri: una în franceză și cealaltă în germană, ambele datând din secolul al XVIII-lea.

Capitolul XII: Minte și gândire. Poemele precedente introduc în forță întrebarea dacă între limbaje sau chiar între minți se poate stabili o „corespondență“. Ce face posibilă comunicarea între un creier fizic și altul? Ce au creierul uman în comun? O analogie geografică este folosită pentru a sugera un răspuns. Se ridică întrebarea „Poate fi un creier înțeles, într-un sens obiectiv, de către cineva din afară?“.

Arie cu diverse variații. Un dialog a cărui formă se bazează pe *Variațiile Goldberg* ale lui Bach și al cărui conținut tratează probleme din teoria numerelor cum ar fi conjectura lui Goldbach. Scopul principal al acestui hibrid este de a arăta cum subtilitățile din teoria numerelor apar datorită faptului că există multiple și diverse variații pe tema căutării într-un spațiu infinit. Unele dintre ele conduc la căutări infinite, altele la căutări finite, în timp ce altele oscilează undeva la mijloc.

Capitolul XIII: Buclă, Muclă și Guclă. Acestea sunt numele a trei limbaje informatice. Programele în limbaj Buclă nu pot executa decât căutări predictibile finite, în timp ce programele în Muclă pot executa căutări impredictibile sau chiar infinite. Scopul capitolului este de a-l ajuta pe cititor să își formeze o idee despre funcțiile primitive recursive și general recursive din teoria numerelor – funcții fundamentale pentru înțelegerea demonstrației lui Gödel.

Arie pe coarda G. Un dialog în care construcția auto-referențială a lui Gödel se reflectă în cuvinte. Ideea i se datorează lui W. V. O. Quine. Dialogul servește ca prototip pentru următorul capitol.

Capitolul XIV: Despre propoziții formal indecidabile din TNT și sisteme înrudite. Titlul capitolului este o adaptare după titlul articolului din 1931 al lui Gödel în care apărea publicată pentru prima dată Teorema Incompletitudinii. Se prezintă în detaliu cele două părți majore ale demonstrației lui Gödel. Se arată apoi că presupuziția de consistență a lui TNT impune concluzia că TNT (sau orice alt sistem similar) este incomplet. Se analizează raportul între sistemul TNT și geometriile euclidiană și non-euclidiană. Se face o prezentare oarecum detaliată a implicațiilor acestor probleme pentru filozofia matematicii.

Cantatatata... aniversară. Ahile nu reușește să o convingă pe vicleana și sceptica Țestoasă că azi este ziua lui de naștere. Încercările lui repetate, dar lipsite de succes prefigurează reabilitatea argumentului lui Gödel.

Capitolul XV: Leșire din sistem. Capitolul tratează repetabilitatea argumentului lui Gödel, cu implicația că TNT nu este doar incomplet, ci „esențial incomplet“. Argumentul destul de cunoscut formulat de J. R. Lucas, conform căruia Teorema lui Gödel demonstrează faptul că gândirea umană nu poate, în nici un sens, să fie „mecanică“, este analizat și respins ca eronat.

Gânduri edificatoare ale unui fumător de tutun. Dialogul abordează diferite subiecte legate de problemele ridicate de auto-replicare și auto-referențialitate. Camere de televiziune filmând ecrane de televiziune, viruși și alte entități subcelulare care se auto-asamblează sunt câteva dintre exemplele utilizate. Titlul este inspirat de un poem scris de J. S. Bach însuși, care apare într-un mod straniu în dialog.

Capitolul XVI: Auto-ref și auto-rep. Capitolul studiază legătura dintre auto-referențialitate, în diferitele ei deghizări, și entități auto-reproductibile (ex., programe informatice sau molecule de ADN). Se discută relațiile dintre o entitate auto-reproductibilă și mecanismele exterioare ei care o ajută să se reproducă (ex., un computer sau proteine), în special imprecizia acestei distincții. Modul în care informația circulă între diferitele niveluri ale sistemelor este o temă centrală a capitolului.

Magnificrab, în realitate. Titlul dialogului este un joc de cuvinte pe marginea titlului bucății în re major intitulată *Magnificat* a lui Bach. Povestea îl are ca personaj central pe Crab, care pare să dispună de putere magică de a discerne între aserțiuni adevărate și aserțiuni false din teoria numerelor, când le citește ca bucăți muzicale și le interpretează la flaut, precum și de a determina dacă ele sunt sau nu „frumoase“.

Capitolul XVII: Church, Turing, Tarski și alții. Crabal ficțional din dialogul precedent este înlocuit de diferite persoane reale înzestrate cu abilități matematice uluitoare. Teza Church–Turing, care stabilește o corelație între activitatea mentală și calculul, este prezentată în mai multe versiuni de diferite intensități. Toate versiunile sunt analizate, în special din perspectiva implicațiilor pe care le au în simularea mecanică a gândirii umane sau în programarea unei mașini cu abilitatea de a răspunde la frumos și de a crea frumosul. Conexiunea dintre activitatea cerebrală și calculul aduce în discuție alte topici: problema opririi a lui Turing și Teorema Adevărului a lui Tarski.

SHRDLU, jucăria mea rămâne. Dialogul este extras dintr-un articol scris de Terry Winograd despre programul său SHRDLU; doar câteva nume au fost schimbate. Un program comunică cu o persoană despre așa-numitul „univers al blocurilor“, făcând dovada unor abilități lingvistice destul de impresionante. Programul informatic pare a fi capabil de o înțelegere veritabilă – cel puțin în lumea lui limitată. Titlul dialogului vine de la *Isus, bucuria mea rămâne*, una dintre mișcărilor Cantatei 147 de Bach.

Capitolul XVIII: Inteligența artificială: în retrospectivă. Capitolul debutează cu o analiză a renumitului „test Turing“ – propunerea unui pionier în informatică, Alan Turing, a unui mod de a detecta prezența sau absența „gândirii“ într-o mașină. De aici se trece la o scurtă istorie a Inteligenței Artificiale. Noțiunea include programe capabile – într-o oarecare măsură – să joace o partidă de șah, să demonstreze teoreme, să soluționeze probleme, să compună muzică, să facă matematică și să folosească o „limbă naturală“ (ex., limba engleză).

Contrafactus. Un dialog tratând modul inconștient în care ne organizăm gândurile astfel încât să ne imaginăm constant variante ipotetice la lumea reală. Se analizează de asemenea și variantele aberante ale acestei abilități – precum cele cu care este înzestrat un nou personaj în carte, Leneșul, căruia îi plac la nebunie cartofii pai și care urăște cu pasiune „contrafactele“.

Capitolul XIX: Inteligența artificială: în perspectivă. Dialogul precedent declanșează o dezbateră asupra modului în care cunoașterea este reprezentată în diferite straturi de contexte, ceea ce conduce la ideea modernă de „cadre“ din Inteligența Artificială. Ca exemplu concret este prezentată o metodă „cadru“ de a trata câteva enigme legate de forme vizuale. În continuare, se ridică problema dificilă a interacțiunii între concepte în general, ceea ce conduce la câteva speculații despre creativitate. Capitolul se încheie cu o serie de „Întrebări și speculații“ asupra Inteligenței Artificiale și a minții în general.

Canonul Leneșului. Un canon care imită un canon de Bach, în care o voce interpretează aceeași melodie cu cea a unei alte voci, doar că inversată și de două ori mai lent, în timp ce o a treia voce este liberă. Aici, Leneșul rostește aceleași replici ca ale Țestoasei, doar că negate (într-un sens larg) și de două ori mai lent, în timp ce Ahile este liber.

Capitolul XX: Bucle Stranii sau Ierarhii Întortocheate. Un deznodământ grandios al nenumăratelor idei despre sistemele ierarhice și auto-referențialitate. Capitolul tratează o serie de ambiguități care apar atunci când sistemele se întorc asupra lor însele – de exemplu, știința care studiază știința, guvernul care investighează infracțiunile guvernului, arta care violează regulile artei și, în final, oamenii care reflectează asupra propriilor minți și creiere. Are ceva de spus Teorema lui Gödel despre această ultimă „ambiguitate“? Există o legătură între liberul arbitru și senzația de conștiință, pe de o parte, și Teorema lui Gödel, pe de altă parte? În încheierea capitolului, Gödel, Escher și Bach sunt reuniți încă o dată.

Ricercar la șase voci. Dialogul este un joc exuberant între multe dintre ideile lansate în carte. El reprezintă un fel de reconstituire a istoriei *Ofrandei muzicale* prezentate în debutul cărții; simultan însă, el este „traducerea“ în cuvinte a uneia dintre cele mai complexe bucăți din *Ofrandă muzicală: Ricercar la șase voci*. Această dualitate îi conferă dialogului mai multe niveluri de înțeles decât oricărui alt dialog din carte. Frederic cel Mare este înlocuit de Crab, pianele de calculatoare etc. Surprizele se țin lanț. Printre temele dialogului se numără problemele legate de minte, conștiință, liber arbitru, Inteligență Artificială, testul Turing etc., cu care cititorul s-a întâlnit deja pe parcurs. Dialogul se termină cu o referință implicită la debutul cărții, ceea ce face ca GEB însăși să devină o uriașă buclă auto-referențială, simbolizând în același timp muzica lui Bach, gravurile lui Escher și Teorema lui Gödel.

LISTĂ DE ILUSTRĂȚII

Înaintea Prefetei: Începutul Genezei, în samariteana veche.

Partea I: Triplitera „GEB“ proiectându-și cele trei umbre ortogonale.

1. Johann Sebastian Bach – de Elias Gottlieb Haussmann.
2. *Concert de flaut în Sanssouci* – de Adolph von Menzel.
3. Tema regală.
4. Acrostihul lui Bach pe «RICERCAR».
5. *Cascadă* – de M. C. Escher.
6. *Urcând și coborând* – de M. C. Escher.
7. *Mână cu oglindă sferică* – de M. C. Escher.
8. *Metamorfoză II* – de M. C. Escher.
9. Kurt Gödel.
10. *Banda lui Möbius I* – de M. C. Escher.
11. „Arborele“ tuturor teoremelor din sistemul MIU.
12. *Castel în spațiu* – de M. C. Escher.
13. *Eliberare* – de M. C. Escher.
14. *Mozaic II* – de M. C. Escher.
15. „FIGURA“.
16. *Acoperire periodică a unui plan cu păsări* – de M. C. Escher.
17. *Figura FIGURE-FIGURE* – de Scott E. Kim.
18. Diagrama relației dintre diferite clase de șiruri TNT.
19. Ultima pagină din *Arta fugii* de Bach.
20. Reprezentare vizuală a principiului de la baza Teoremei lui Gödel.
21. *Turnul Babel* – de M. C. Escher.
22. *Relativitate* – de M. C. Escher.
23. *Convex și concav* – de M. C. Escher.
24. *Reptile* – de M. C. Escher.
25. Labirint cretan.
26. Structura dialogului *Mic labirint armonic*.
27. Rețele de tranziție recursive pentru SUBSTANTIV ORNAT și SUBSTANTIV COMPLICAT.
28. RTR-ul SUBSTANTIV COMPLICAT cu un nod extins în mod recursiv.
29. Diagramele G și H reprezentate implicit.
30. Diagrama G, extinsă și mai mult.
31. Un RTR al numerelor Fibonacci.
32. Graficul funcției INT(x).
33. Scheletele funcțiilor INT și Gplot.
34. Gplot: un grafic recursiv.

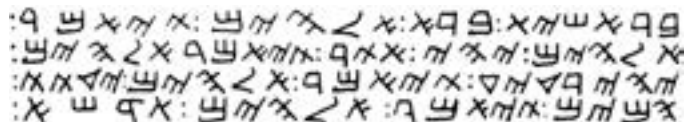
35. O diagramă Feynman complexă.
36. *Pești și solzi* – de M. C. Escher.
37. *Fluturi* – de M. C. Escher.
38. Arborele unei partide de X-și-0.
39. Piatra din Rosetta.
40. Un colaj de scrieri.
41. Secvență de bază pentru cromozomul bacteriofagului φX174.
42. „*Canon cancricans*“ – de M. C. Escher.
43. O scurtă secțiune dintr-una din Genele Crabului.
44. *Canon cancricans* din *Ofrandă muzicală* – de J. S. Bach.
45. *La Mezquita* – de M. C. Escher.
46. *Trei lumi* – de M. C. Escher.
47. *Picătură de rouă* – de M. C. Escher.
48. *Altă lume* – de M. C. Escher.
49. *Zi și noapte* – de M. C. Escher.
50. *Coață* – de M. C. Escher.
51. *Băltoacă* – de M. C. Escher.
52. *Cercuri în apă* – de M. C. Escher.
53. *Trei sfere II* – de M. C. Escher.

Partea a II-a: Triplitera „BGE“ proiectându-și cele trei umbre ortogonale.

54. *Banda lui Möbius II* – de M. C. Escher.
55. Pierre de Fermat.
56. *Cub cu benzi magice* – de M. C. Escher.
57. Ideea de „tranșare“.
58. Asambler, compilator și niveluri ale limbajelor informatice.
59. Inteligența construită nivel cu nivel.
60. „Desenul-MU“.
61. „*Furnugă*“ – de M. C. Escher.
62. „Încrucșarea“ a două nume bine-cunoscute.
63. Fotografie a unui pod de furnici (de Fourmi, Lierre).
64. „Elicea“ HOLISM-REDUCTIONISM.
65. Schema unui neuron.
66. Creierul uman, văzut lateral.
67. Reacții ale unor neuroni specifici la configurațiile de declanșare.
68. Căi neuronale suprapuse.
69. Construcția unei arcade de către termitelile lucrătoare.
70. Un mic fragment din „rețeaua semantică“ a autorului.
71. *Ordine și haos* – de M. C. Escher.
72. Structura unui program fără apeluri în limbaj Buclă.
73. Georg Cantor.
74. *Deasupra și dedesubt* – de M. C. Escher.
75. TNT.
76. *Dragon* – de M. C. Escher.
77. *Umbrele* – de René Magritte.
78. *Stare de grație* – de René Magritte.
79. Virusul mozaicului tutunului.
80. *Frumoasa captivă* – de René Magritte.
81. Ecrane de televiziune auto-acaparante.
82. *Aerul și cântecul* – de René Magritte.
83. Epimenide executându-și propria sentință la moarte.
84. Aisbergul paradoxului lui Epimenide.

85. Săpun dintr-o propoziție Quine.
86. Un cântec auto-reproductiv.
87. Codul tipogenetic.
88. Structura terțiară a unei tipoenzime.
89. Tabelul preferințelor de legătură pentru tipoenzime.
90. „Dogma Centrală a Tipogeneticii“.
91. Cele patru baze constituente ale ADN-ului.
92. Structura în scară a ADN-ului.
93. Modelul molecular al dublului helix al ADN-ului.
94. Codul Genetic.
95. Structura secundară și terțiară a mioglobinei.
96. O secțiune de ARN-m care trece printr-un ribozom.
97. Un poliribozom.
98. Un canon molecular de gradul doi.
99. Dogmapa Centrală.
100. Codul Gödel.
101. Virusul bacterian T4.
102. Infecția unei bacterii de către un virus.
103. Traectoria morfogenetică a virusului T4.
104. *Castrovalva* – de M. C. Escher.
105. Srinivasa Ramanujan și una dintre straniile lui melodii indiene.
106. Izomorfisme asociind numerele naturale, calculatoarele și creierul uman.
107. Activitatea neuronală și simbolică din creier.
108. „Ecremarea“ nivelului superior al creierului.
109. Conflictul dintre nivelurile inferioare și superioare ale creierului.
110. Scena de deschidere din dialogul cu SHRDLU.
111. O altă scenă din dialogul cu SHRDLU.
112. O ultimă scenă din dialogul cu SHRDLU.
113. Alan Mathison Turing.
114. Demonstrația pentru Pons Asinorum.
115. Arborele de obiective nesfârșit al lui Zenon.
116. O poveste cu sens în limba arabă.
117. *Aritmetică mentală* – de René Magritte.
118. Reprezentarea procedurală pentru „un cub roșu care sprijină o piramidă“.
119. Problema Bongard 51.
120. Problema Bongard 47.
121. Problema Bongard 91.
122. Problema Bongard 49.
123. O mică parte dintr-o rețea de concepte pentru probleme Bongard.
124. Problema Bongard 33.
125. Problemele Bongard 85–87.
126. Problema Bongard 55.
127. Problema Bongard 22.
128. Problema Bongard 58.
129. Problema Bongard 61.
130. Problemele Bongard 70–71.
131. O diagramă schematică a dialogului *Canon cancricans*.
132. Doi cromozomi omologi uniți în centru printr-un centromer.
133. „*Canonul Leneșului*“ din *Ofrandă muzicală* – de J. S. Bach.
134. Un „triunghi auctorial“.
135. *Mâini desenând* – de M. C. Escher.
136. Diagramă abstractă pentru *Mâini desenând* – de M. C. Escher.
137. *Bun-simț* – de René Magritte.
138. *Cele două mistere* – de René Magritte.

139. *Semnal de fum* – de autor.
140. *Fantezie sau Cuvinte în pipă* – de autor.
141. *Condiția umană I* – de René Magritte.
142. *Expoziție de stampe* – de M. C. Escher.
143. Diagrama abstractă a *Expoziției de stampe* – de M. C. Escher.
144. O versiune concentrată a figurii precedente.
145. Concentrare și mai mare a Figurii 143.
146. O altă modalitate de a concentra Figura 143.
147. Canonul Etern Înălțător al lui Bach, interpretat în tonurile lui Shepard, formează o Buclă Stranie.
148. Două cicluri complete ale unei game de tonuri a lui Shepard, în notație pentru pian.
149. *Verbum* – de M. C. Escher.
150. Charles Babbage.
151. Tema Crabului.
152. Ultima pagină din *Ricercar la șase voci*, după ediția originală a *Ofrandei muzicale* – de J. S. Bach.



PREFAȚĂ LA A DOUĂZECEA EDIȚIE ANIVERSARĂ A LUI *GEB*

DESPRE CE *ESTE*, de fapt, această carte, *Gödel, Escher, Bach: Brilianta Ghirlandă Eternă*, cunoscută de obicei după acronimul său „*GEB*“?

Întrebarea aceasta m-a urmărit constant încă de la primele schițe ale cărții începute în 1973. Pe atunci prietenii mă întrebau, desigur, ce mă captivase atât de tare, dar îmi era greu să le dau un răspuns concis. Câțiva ani mai târziu, în 1980, intrând pe lista publicată de *The New York Times* a celor mai bine vândute cărți, *GEB* era prezentată printr-un rezumat obligatoriu de o frază, care susținea, timp de mai multe săptămâni la rând: „Un om de știință argumentează că realitatea este un sistem de ghirlande interconectate“. După ce am protestat cu vehemență la adresa acestui nonsens, s-au decis în final să îl înlocuiască cu o frază ceva mai inteligibilă, îndeajuns de precisă cât să nu mă facă să mă indignez din nou.

Pentru mulți, titlul pare să spună totul: o carte despre un matematician, un artist și un muzician. O privire oricât de sumară, însă, e suficientă pentru a observa că acești trei indivizi *per se*, magnifici dincolo de orice îndoială, nu joacă decât un rol neglijabil în conținutul cărții. Cartea, prin urmare, nu poate fi în nici un caz despre ei trei!

Ei bine, ce-ar fi atunci să descriem *GEB* ca „o carte argumentând că matematica, arta și muzica sunt unul și același lucru în esența lor“? Nu că ne-am fi apropiat mai mult de adevăr – și totuși, de câte ori nu am auzit descrieri asemănătoare, susținute nu doar de cei ce n-au citit cartea, dar și de cititorii ei cei mai pasionați!

În librării, *GEB* poate fi întâlnită pe rafturile celor mai diverse secțiuni, între care nu doar matematică, științe generale, filozofie și științe cognitive (ceea ce are sens), dar și religie, ocultism sau Dumnezeu mai știe ce. De ce e atât de greu de înțeles cu ce se ocupă această carte? Cu siguranță nu e vorba doar de lungimea ei. Nu, lucrul acesta se datorează în parte faptului că *GEB* explorează, și nu doar într-un mod superficial, un ansamblu atât de eterogen de subiecte – fugi și canoane, logică și adevăr, geometrie, recursivitate, structuri sintactice, natura sensului, budismul zen, paradoxuri, creier și minte, reduccionism și holism, colonii de furnici, reprezentări mentale și concepte, traducere, computere și limbaje de programare, ADN, proteine, cod genetic, inteligență artificială, creativitate, conștiință și liber arbitru – uneori chiar și artă și muzică, dintre toate lucrurile! –, încât multora li se pare imposibil să îi localizeze tema centrală.

Imaginile și ideile-cheie de la baza lui *GEB*

Evident că această confuzie larg răspândită devenise cu adevărat frustrantă pentru mine de-a lungul anilor, cu atât mai mult cu cât eram sigur că îmi explicitasem intențiile de nenumărate ori în text. S-ar părea însă că nu o făcusem nici suficient de des, nici suficient de clar. Și, din moment ce mi se oferă acum încă o șansă – într-un loc important în economia cărții, trebuie remarcat –, o să încerc pentru o ultimă oară să clarific de ce am scris-o, despre ce tratează ea și care îi este teza principală.

Pe scurt, *GEB* este o încercare foarte personală de a argumenta cum este posibil ca ființele animate să apară dintr-o materie inanimată. Ce este sinele și cum poate apărea un sine din ceva la fel de lipsit de sine ca o piatră sau o baltă de noroi? Ce este un „eu“ și de ce sunt astfel de lucruri de găsit (cel puțin până acum) doar în asociație cu, în cuvintele încântătoare ale poetului Russell Edson, „bulbi nesiguri de vis și teroare“ – altfel spus, doar în asociație cu anumite tipuri de mase cleioase, prinse într-o cochilie protectivă și care, montate pe pedestale mobile, colindă prin lume pe o pereche de catalige întru câțva flexibile și coordonate între ele?

GEB abordează aceste întrebări construind treptat o analogie între molecule inanimate și simboluri non-semnificante; mai mult, o analogie între sine (sau, dacă preferați, „eu“ sau „suflet“ – acel ceva ce distinge materia animată de materia inanimată) și un anumit gen de modele *semnificante* speciale, convolute și spiralate ca într-un vortex, și care apar numai în cadrul unor tipuri particulare de sisteme de simboluri non-semnificante. Cartea analizează în profunzime aceste modele stranii și convolute, tocmai pentru că se știe atât de puțin despre ele, pentru că sunt puțin apreciate, contraintuitive și pline de mister. Pentru motive ușor de înțeles, astfel de modele stranii și auto-referențiale sunt numite de-a lungul cărții „bucle stranii“, deși în capitolele de sfârșit voi folosi de asemenea expresia „ierarhii întortocheate“ pentru a descrie în esență aceeași idee.

Acesta este motivul principal pentru care M. C. Escher – sau, mai precis, arta lui – ocupă o poziție centrală în „brilianta ghirlandă“: în modul lui aparte, Escher era ca și mine fascinat de buclele stranii pe care, în fapt, le-a *desenat* într-o varietate de contexte, toate minunat de echivoce și seducătoare. Totuși, când am început să lucrez la carte, Escher nu intra deloc în schemă (sau în buclă, cum vom spune de acum înainte); titlul provizoriu suna mai degrabă mundan, „Teorema lui Gödel și creierul uman“ (TGCU), și nici nu se punea problema să inserez desene paradoxale și cu atât mai puțin dialoguri amuzante. Doar că, în timp ce elaboram noțiunea de bucle stranii, mi se întâmpla din când în când să arunc aproape subliminal o privire fugară cu ochiul minții asupra unuia sau altuia dintre desenele lui Escher, până când am realizat, într-o bună zi, că aceste imagini erau atât de strâns corelate cu ideile despre care scriam, încât ar fi fost cu adevărat răutăcios din partea mea să îi privez pe cititori de o conexiune atât de puternică. Și așa arta lui Escher a fost invitată la bord. Cât despre Bach, voi reveni mai târziu asupra lui în „fuga mea metaforică despre minți și mașini“.

Să ne întoarcem însă pentru moment la buclele stranii. *GEB* a fost inspirată de convingerea mea fermă că noțiunea de „bucle stranii“ deține cheia misterului pe care noi, ființele conștiente, îl numim „ființare“ sau „conștiință“. Am fost fascinat

de această idee încă de când, ca adolescent, începusem să meditez obsesiv asupra esențialei bucle stranii care stă la baza demonstrației renumitei teoreme a incompletitudinii din logica matematică a lui Kurt Gödel – un loc destul de ezoteric, s-ar putea crede, în care să dai peste secretul din spatele naturii sinelui și „eu“-lui; și cu toate acestea, parcurgând paginile lui Nagel și Newman, îmi era asurzitor de clar că despre asta, de fapt, era vorba acolo.

Nu e nici timpul, nici locul potrivit să intru în prea multe detalii aici, în prefață – în plus, de aceea a fost scris tomul pe care îl parcurgeți acum și ar fi arogant din partea mea să cred că îl pot întrece pe autorul său în doar câteva pagini! –, dar un lucru trebuie menționat încă de la bun început: gödeliana buclă stranie care apare în matematică în cadrul sistemelor formale (*i.e.*, o colecție de reguli pentru producerea unei serii nelimitate de adevăruri matematice obținute exclusiv pe baza unor manipulări mecanice de simboluri, fără a acorda nici o atenție sensurilor sau ideilor ascunse în spatele formelor astfel manipulate) este o buclă ce permite unui astfel de sistem să „se perceapă pe sine însuși“, să vorbească despre sine însuși, să devină „conștient de sine“ și, într-un fel, nu cred că am merge prea departe dacă am spune că, în virtutea faptului că are o asemenea buclă, un sistem formal își dezvoltă un sine.

Simbolurile non-semnificante își dezvoltă un sens în pofida lor însele

Straniu însă e faptul că sistemele formale în care un astfel de „sine“ primitiv prinde viață sunt alcătuite din nimic altceva decât simboluri non-semnificante. Sinele, atât cât este, apare numai datorită unui tip special de structură spiralată și întortocheată de simboluri non-semnificante. Și o confesiune acum: sunt destul de reticent să utilizez în mod repetat expresia „simboluri non-semnificante“ (așa cum am făcut-o la sfârșitul ultimelor două fraze), și asta pentru că o parte esențială a argumentului din cartea mea depinde de ideea că sensul nu poate fi evitat în sistemele formale în care apar izomorfisme suficient de complexe. Sensul apare în pofida oricăror eforturi de a menține simbolurile non-semnificante!

Voi reformula ultimele două fraze fără a mai apela la termenul puțin cam tehnic de „izomorfism“. Când un sistem de simboluri „non-semnificante“ conține structuri care trasează sau oglindesc riguros diferite fenomene din realitate, tocmai acest proces de trasare sau de oglindire este cel care imprimă simbolurile cu un anumit grad de sens – altfel spus, acest proces nu este nici mai mult, nici mai puțin decât ceea ce înțelegem prin sens. În funcție de cât de complexă, subtilă și solidă este respectiva trasare, diferite grade de semnificație vor lua naștere. Nu o să intru în mai multe detalii aici, pentru că teza e argumentată adesea pe parcursul cărții, mai ales în capitolele 2, 4, 6, 9 și 11.

Prin comparație cu un sistem formal tipic, limbajul uman este incredibil de fluid și subtil în structurile sale de trasare a realității, motiv pentru care simbolurile din sistemele formale pot să pară destul de aride; într-adevăr, le putem privi fără prea multe probleme ca fiind complet golite de sens. Pe de altă parte însă, e suficient să ne uităm la un ziar tipărit într-un sistem de scriere nefamiliar, ale cărui forme ciudate vor părea să nu fie nimic altceva decât structuri extraordinar

de complexe, dar complet lipsite de semnificație. Astfel că până și limbajul uman, așa bogat cum este, poate fi golit de aparenta lui semnificație.

De fapt, nu puțini sunt filozofii, oamenii de știință și așa mai departe care cred că structurile de simboluri *per se* (de exemplu, cărți, filme, biblioteci, CD-ROM-uri sau programe informatice, indiferent cât de complexe sau dinamice) nu au *nici-odată* un sens în ele însele; dimpotrivă, sensul ia naștere, în modul cel mai misterios, doar din chimia organică, sau poate mecanica cuantică, a proceselor care se desfășoară în creierul biologic bazat pe atomi de carbon. Deși nu am o prea mare indulgență pentru astfel de perspective înguste și bio-șoviniste, nu îmi este greu să le înțeleg atracția intuitivă. Încercând să port roba unui credincios în primordialitatea, într-adevăr unicitatea, creierului, pot să înțeleg de unde vin astfel de oameni.

Ei intuiesc că un fel de „magie semantică“ are loc exclusiv în interiorul „bulbilor noștri nesiguri“, undeva în spatele globilor oculari, chiar dacă nu au reușit nici-odată să arate exact cum sau de ce este așa; în plus, ei cred că tocmai această magie semantică este responsabilă pentru existența sinelui uman, sufletului, conștiinței sau „eu“-lui. Eu însumi, de fapt, sunt în mare parte de acord cu asemenea gânditori că sinele și semantica – cu alte cuvinte, „eu“-ul și sensurile – provin *într-adevăr* din una și aceeași sursă; cu ce nu sunt eu de acord e afirmația că astfel de fenomene se datorează în întregime unor proprietăți speciale, rămase nedescoperite până în prezent, ale hardware-ului microscopic al creierului.

După părerea mea, singura modalitate de a renunța la perspectiva magică despre ce este „eu“-ul și conștiința este de a continua, oricât de mult ne displace, să ne reamintim că „bulbii nesiguri de vis și teroare“ adăpostiți confortabil în craniile noastre reprezintă, până la urmă, doar un obiect fizic alcătuit din componente complet sterile și inanimate care, fiecare în parte, se supun aceluiași legi ce guvernează restul universului, ca și fragmentele de text sau CD-ROM-urile sau computerele. Numai cine continuă să recunoască acest fapt problematic poate începe cu pași mici să se elibereze de misterul conștiinței: cheia nu se găsește în *materia* din care este făcut creierul, ci în *structurile* care pot ajunge să existe în materia creierului.

Aceasta e o mutare eliberatoare pentru că ne permite să adoptăm un alt nivel de analiză al creierului: ca tip de *media* capabilă să suporte structuri complexe ce reflectă, deși nu tocmai perfect, lumea din care ele însele, evident, fac parte. Dar tocmai acea auto-oglindire inevitabilă, oricât de imparțială sau imperfectă, este ceea ce pune în mișcare buclele stranii ale conștiinței.

Kurt Gödel sparge linia Maginot a lui Bertrand Russell

Am avansat mai sus ideea că schimbarea de focus de la componentele materiale la structurile abstracte face posibil saltul cvasi-magic de la inanimat la animat, de la non-semantic la semantic, de la non-semnificant la semnificant. Dar cum anume? E evident, până la urmă, că nu *toate* salturile de la materie la structură dau naștere conștiinței, sufletului sau sinelui: într-un cuvânt, nu toate structurile sunt conștiente. Dar atunci, ce tip de structură poartă marca principală a *sinelui*? Răspunsul propus în *GEB* este: o buclă stranie.