

Director: Loredana Tîrziu

Corector: Rodica Sokola

Tehnoredactor: Alina Guțuleac

Referent științific: Dr. Adrian Costin Manea

PR: Robert Șerban

Editura BrumaR

România – Timișoara

300050, str. A. Popovici 6

e-mail: office@brumar.ro

www.brumar.ro

Copyright © 2002 Albert-László Barabási

Copyright © 2017, Asociația Memoria Culturii & Editura Brumar, pentru prezenta ediție. Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate. Reproducerea integrală sau parțială, pe orice suport, fără acordul scris al editurii, este interzisă.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

BARABÁSI, ALBERT-LÁSZLÓ

LINKED : Noua știință a rețelelor / Albert-László Barabási ;

trad.: Marius Cosmeanu. - Timișoara: Brumar, 2017

Index

ISBN 978-606-726-088-5

I. Barabási, Albert-László

II. Cosmeanu, Marius (trad.)

929 Linked

LINKED

NOUA ȘTIINȚĂ A REȚELELOR

Cuprins

Albert-László Barabási

Traducere de **Marius Cosmeanu**

Respect pentru oameni și cărți

Cuprins

PRIMA LEGĂTURĂ: Introducere	7
A DOUA LEGĂTURĂ: Universul aleatoriu	15
A TREIA LEGĂTURĂ: Șase grade de separare	35
A PATRA LEGĂTURĂ: Lumi mici	55
A CINCEA LEGĂTURĂ: Hub-uri și conectori	73
A ȘASEA LEGĂTURĂ: Regula 80-20	87
A ȘAPTEA LEGĂTURĂ: Bogatul va fi și mai bogat	105
A OPTA LEGĂTURĂ: Moștenirea lui Einstein	121
A NOUA LEGĂTURĂ: Călcâiul lui Ahile	139
A ZECEA LEGĂTURĂ: Viruși și capricii	157
A UNSPREZECEA LEGĂTURĂ: Deșteptarea Internetului	181
A DOUĂSPREZECEA LEGĂTURĂ: Rețeaua ruptă în bucăți	201
A TREISPREZECEA LEGĂTURĂ: Harta vieții	223
A PAISPREZECEA LEGĂTURĂ: Economie în rețea	247
ULTIMA LEGĂTURĂ: Pânza fără păianjen	273
LEGĂTURA ULTERIOARĂ: Ierarhii și comunități	281
Recunoștință	297
Index	301

7	PRIMA LEGĂTURĂ: Introducere
18	A DOUA LEGĂTURĂ: Universal almanac
36	A TREIA LEGĂTURĂ: Șase zile de război
52	A PATRA LEGĂTURĂ: Luni mică
75	A CINCEA LEGĂTURĂ: Tăbăc și conectiv
87	A ȘASEA LEGĂTURĂ: Regula 80-20
105	A ȘAPTEA LEGĂTURĂ: Bogatul pe care îl trimițem
121	A OPTA LEGĂTURĂ: Mășinut în lăptos
139	A NOUA LEGĂTURĂ: Căminul lui Alvin
157	A ZECEA LEGĂTURĂ: Vinși și capșici
181	A UNDEZECEA LEGĂTURĂ: Dispozitivul interactiv
201	A DOUAȘPEZECI LEGĂTURĂ: Războiul rețelii în Brazilia
223	A TREISPEZECI LEGĂTURĂ: Harta veșei
247	A PATRISPEZECI LEGĂTURĂ: Ecranul în rețea
273	ULTIMA LEGĂTURĂ: Pacea fără păcat
281	LEGĂTURĂ VIERIOARĂ: Lăcomie și comunități
297	Index
301	Index

PRIMA LEGĂTURĂ

Introducere

7 februarie 2000 ar fi trebuit să fie o zi uriașă pentru Yahoo: în locul celor câteva milioane de clienți zilnici, motorul de căutare a fost accesat de miliarde de utilizatori. O asemenea explozie de popularitate ar fi trebuit să propulseze Yahoo printre cele mai valoroase firme ale noii economii. Exista, totuși, o problemă: toți utilizatorii au ajuns pe site-ul companiei în același timp, fără ca măcar unul să fi cerut o cotație la bursă sau barem o rețetă de plăcintă cu arahide. În schimb, toți au trimis, în limbajul cifrat al computerelor, mesajul: „Da, te-am auzit!”. Se pare că Yahoo nu a avut nicio reacție. În tot cazul, sute de computere din sediul din Santa Clara (California) al companiei au rămas ocupate încercând să răspundă fantomelor urlătoare, în vreme ce milioane de clienți legitimi, care căutau un titlu de film sau un bilet de avion, s-au văzut nevoiți să aștepte. Mă număram și eu printre ei. Firește, habar nu aveam că Yahoo încearcă cu disperare să servească zece miliarde de năluci. Am avut răbdare vreo trei minute, după care m-am mutat la un motor de căutare mai rapid. A doua zi, mai-marii Internetului – Amazon.com, eBay, CNN.com, ETrade și Excite – cădeau victime aceleiași atac: au trebuit să servească miliarde de fantome care veneau cu același mesaj inutil care paralizaseră și Yahoo. Adevărații consumatori, cu cărți de credit aurite și puși de cumpărături, au trebuit să aștepte neputincioși.

Bineînțeles, nu poți avea miliarde de utilizatori reali care tastează în browser-ul lor „Yahoo.com” exact la 10:20 PST (Pacific Standard

Time – n.tr.). Pur și simplu nu există atâtea computere. Primele știri susțineau că blocarea paginilor de Internet ale principalelor companii de comerț online a fost opera unui grup de hackeri mai rafinați. Toată lumea era de acord că acești tocilari renegați, fascinați de provocarea de a păcăli sofisticatele sisteme de securitate, au spart sute de computere din școli, laboratoare și companii pentru a le transforma în zombi care să repete la nesfârșit celor de la Yahoo agasantul mesaj: „Da, te-am auzit!”. Motorul de căutare era bombardat în fiecare secundă cu un volum uriaș de date. Oricât de puternică să fi fost Yahoo, era, totuși, prea mult. Atacul masiv a blocat serviciile companiei și a declanșat o anchetă internațională, intens mediatizată, de urmărire a făptașilor.

Surprinzător, ancheta specială a Biroului Federal de Investigații (FBI) nu a condus spre presupusa organizație a unor teroriști virtuali. Investigatorii americani au descins, în schimb, la casa unui adolescent aflată într-o suburbie a Canadei. FBI interceptase o discuție pe chat în care tânărul cerea sugestii pentru noi ținte de atac. S-a dat de gol lăudându-se. Ascuns sub pseudonimul MafiaBoy [1], imberbul de cincisprezece ani a pus cu succes pe butuci activitatea unor giganți de miliarde de dolari, cu acces la cei mai buni experți în securitate informatică din lume. Să fi fost el, oare, un David contemporan, care, înarmat cu cea mai rudimentară „praștie” computerizată, l-a învins pe mega-Goliatul erei informatice? Experții au căzut de acord, în cele din urmă, că atacurile nu au fost opera unui geniu, ele fiind executate cu mijloace la îndemână oricui vizitează diverse pagini despre hackeri. Trecutul online al lui MafiaBoy era unul subțire, al unui amator a cărui urmă lăsată neatent a condus poliția la ușa părinților săi. De fapt, acțiunile sale seamănă mai degrabă cu cele ale lui Goliat decât cu ale lui David. Fără cunoștințe suficiente pentru a pătrunde în oricare din paginile pe care le-a atacat, a reușit să doboare, neîndemânatic și lent, doar ținte ușoare, computerele evident vulnerabile ale unor universități și firme mici, pe care le-a instruit să bombardeze Yahoo cu mesaje.

Ne putem imagina un adolescent de cincisprezece ani ascuns după ușa dormitorului, cu ochii în ecranul computerului, satisfăcut de nesfârșitele mesaje „Da, te-am auzit!” azvârlite spre Yahoo. Trebuie să fi strigat expresia cu pricina de un milion de ori până ce mama sau tatăl său l-au chemat la masă ori să ducă gunoiul. Atacul a avut succes prin

forța brută, curajul nebun și ceva rafinament. Întrebarea care se pune e cum au putut acțiunile unui puști să doboare coloșii universului online? Și dacă un adolescent poate face atâta prăpăd pe Internet, oare, de ce ar fi în stare o mână de profesioniști bine antrenați? Cât de vulnerabili suntem la asemenea atacuri?

1. Primii creștini nu erau altceva decât o sectă de evrei renegați. Priviți ca excentrici și dificili, ei au fost persecutați atât de evrei, cât și de romani. Nu avem dovezi istorice care să ateste că liderul lor spiritual, Iisus din Nazaret, a încercat în vreun fel să influențeze iudaismului. Ideile sale erau suficient de complicate și de controversate pentru evrei și a încerca să ajungă la ei cu vorbă bună părea pur și simplu lipsit de speranță. La început, cei care nu erau evrei, dar doreau să-l urmeze, trebuiau să se supună circumciziei, să asculte de legile iudaismului contemporan și erau excluși din Templu – centrul spiritual al creștinismului iudeu timpuriu. Prea puțini au urmat însă această cale. Era aproape imposibil să ajungi la oameni cu mesajul creștinismului. Într-o societate fragmentată și profund legată de glie, veștile și ideile erau transmise de călători, iar distanțele erau mari. Creștinismul, ca multe alte mișcări religioase din istorie, părea sortit uitării. În ciuda acestui fapt, aproape două miliarde de oameni se declară astăzi creștini. Cum a fost posibil? Cum au reușit credințele neortodoxe ale unei mici și disprețuite secte evreiești să constituie baza religiei dominante din lumea occidentală?

Mulți pun triumful creștinismului pe seama figurii istorice cunoscute astăzi sub numele de Iisus din Nazaret. Experții de azi în marketing ar descrie mesajul său drept „lipicios”, unul la care oamenii au rezonat și pe care l-au transmis mai departe generații la rând, în timp ce evoluția altor mișcări religioase a fost meteorică. Meritul pentru succesul creștinismului aparține, de fapt, unui evreu ortodox smerit, care nu l-a cunoscut niciodată pe Iisus. Numele său în ebraică este Saul, dar nouă ne este mai cunoscut după numele său roman: Pavel [2]. Misiunea inițială a lui Pavel a fost aceea de a *mărgini* mișcarea creștină. El călătorea dintr-o comunitate în alta persecutând creștinii care îl puneau pe Iisus, condamnat de autorități ca blasfemator, pe picior de egalitate cu Dumnezeu. Pentru a păstra tradițiile și a forța

devianții să adere la legea iudaică, Pavel folosea biciuirea, interdicția și excomunicarea. În ciuda acestor fapte, ne spun relatările istorice, în anul 34, acest abominabil persecutor al creștinilor a suferit o convertire bruscă și s-a transformat în cel mai înflăcărat apărător al noii credințe făcând posibil ca mica sectă evreiască să devină, în următorii 2 000 de ani, religia dominantă a lumii occidentale.

Cum au dat roade eforturile lui Pavel? El a înțeles că religia creștină nu are nicio șansă în fața iudaismului cât timp marile obstacole pentru a deveni creștin nu vor fi eliminate. Prin urmare, circumcizia și legile alimentației stricte trebuie regândite. Pavel a mers cu acest mesaj la Ierusalim, la primii discipoli ai lui Iisus, și a primit mandatul de a continua evanghelizarea fără a mai cere circumcizia.

Pavel a mai înțeles că toate acestea nu erau de ajuns: mesajul trebuia răspândit. Cunoștea foarte bine rețeaua de relații sociale ce împânzea lumea civilizată a primului secol, de la Roma la Ierusalim, pentru a găsi și a converti cât mai mulți oameni cu puțință. Era omul potrivit. În următorii doisprezece ani ai vieții sale a străbătut aproape 10 000 de mile. Totuși, nu a umblat brambura: a vizitat cele mai mari comunități ale epocii, oamenii și locurile în care noua credință putea încolți și se putea răspândi cel mai eficient. A fost primul și, de departe, cel mai bun agent de vânzări al creștinismului folosind teologia și rețelele sociale în egală măsură de eficient. Așadar, pe cine putem credita pentru succesul creștinismului: pe Pavel, pe Iisus sau învățăturile? S-ar mai putea repeta o astfel de istorie?

2. Diferența între MafiaBoy și Pavel este uriașă: primul a vrut să distrugă; cel de al doilea, în ciuda intențiilor sale inițiale, a construit punți de legătură între comunitățile primilor creștini. Cei doi au însă și ceva important în comun: ambii au fost maeștri ai rețelelor. Chiar dacă niciunul nu gândea în acești termeni, cheia succesului lor a fost existența unei rețele complexe care le-a oferit cadrul prielnic acțiunilor lor. MafiaBoy a operat în rețeaua computerelor. La începutul mileniului trei, Internetul constituie cel mai rapid și mai eficient mijloc de a ajunge la cel mai mare număr de persoane. Pavel a fost un maestru al legăturilor sociale și religioase din primul secol, singura rețea din zorii epocii moderne care ar fi putut susține și răspândi o credință. Niciunul

nu a înțeles însă complet forțele care i-au ajutat. Acum, la aproape 2 000 de ani după Pavel, începem să le deslușim secretul succesului. Astăzi știm că au contat atât structura și tipologia rețelelor în care au operat, cât și capacitatea lor de a naviga prin ele.

Pavel și MafiaBoy și-au atins scopul deoarece suntem cu toții conectați. Existența noastră biologică, lumea socială, economia și tradițiile religioase vorbesc despre o poveste complexă a interrelaționării sau, cum spune marele scriitor argentinian Jorge Luis Borges, „toate se leagă între ele”.

3. „Acolo trăiesc dragoni!”, scriau străvechii cartografi, marcând înfricoșătoarele ținuturi despre care nu știau nimic. Pe măsură ce exploratorii se aventurau în fiecare colț al lumii, petele marcate cu monștri dispăreau una câte una. Sunt însă suficiente zone infestate cu dragoni pe hărțile noastre mintale despre cum se potrivesc diverse părți ale lumii, de la universul microscopic al unei celule la nemărginita lume a Internetului. Vestea bună este că oamenii de știință au învățat recent să cartografieze interconectivitatea noastră. Hărțile lor aruncă o lumină nouă asupra universului nostru, ca o pânză, oferind surprize și provocări pe care nici măcar nu ni le puteam imagina cu câțiva ani în urmă. Hărți detaliate ale Internetului au demascat vulnerabilitatea lui la atacurile hackerilor. Hărți ale companiilor legate prin comerț sau prin patronat au luat urma puterii și a banilor din Silicon Valley. Hărți ale interacțiunilor dintre specii în ecosisteme au oferit indicii asupra impactului distructiv al omului asupra mediului. Hărți ale genelor care colaborează într-o celulă au ajutat la mai buna înțelegere a felului în care funcționează cancerul. Adevărata surpriză vine, însă, când punem aceste hărți una lângă alta. Așa cum scheletele oamenilor, oricât de diverși ar fi ei, prezintă diferențe aproape imperceptibile, așa și aceste hărți complexe urmează o schiță comună. Un șir de descoperiri epocale recente ne-a forțat să realizăm că legile uimitor de simple și de generale ale naturii guvernează structura și evoluția tuturor rețelelor complexe care ne înconjoară.

4. Ați văzut vreodată un copil demontând o jucărie preferată? L-ați văzut apoi pe micuț plângând când își dă seama că nu mai poate pune piesele la loc? Ei bine, iată un secret care nu va face niciodată

obiectul buletinelor de știri: am demontat universul și habar nu avem cum să-l montăm la loc. După ce, în ultimul secol, am cheltuit trilioane de dolari pe cercetări prin care am demontat natura, abia acum recunoaștem că nu știm ce să facem mai departe, în afară de a o demonta mai departe.

Reducționismul a reprezentat forța motrice a cercetării științifice în cea mai mare parte a secolului XX. Pentru a înțelege natura, spun adepții acestei teorii, trebuie mai întâi să-i descifrăm componentele. Presupunerea este că odată înțelese părțile, și întregul va fi mai ușor de înțeles. Dezbină și stăpânește, diavolul stă ascuns în detalii. Așadar, decenii la rând am fost forțați să vedem lumea prin componentele sale: am fost antrenați să studiem atomii și interacțiunile dintre ele pentru a înțelege universul; moleculele, pentru a înțelege viața; genele individuale, pentru a înțelege comportamentul uman complex; profeții, pentru a afla originile demențelor și ale religiilor.

Suntem aproape de a cunoaște cam tot ce se poate cunoaște despre componente. Suntem, însă, la fel de departe, ca în orice moment al istoriei, de înțelegerea naturii ca întreg. Într-adevăr, reasamblarea componentelor s-a dovedit a fi o sarcină mult mai grea decât anticipaseră savanții. Motivul este simplu: forțând reducționismul, ne izbim de zidul puternic al complexității [3]. Am învățat că natura nu este un puzzle bine proiectat, cu doar un singur mod de asamblare. În sistemele complexe, componentele se potrivesc în atât de multe configurații încât ne-ar lua miliarde de ani să le încercăm pe toate acestea. Și, totuși, natura pune cap la cap componentele, cu grație și precizie, de milioane de ani. Face aceasta prin exploatarea legilor generale ale autoorganizării, ale căror origini sunt încă un mister pentru noi.

Astăzi ne dăm seama tot mai mult că nimic nu se întâmplă izolat. Majoritatea evenimentelor și a fenomenelor sunt conectate, cauzate sau interacționează cu un număr uriaș de alte piese ale acestui puzzle universal extrem de complex. Observăm că trăim într-o lume mică, în care toate se leagă între ele. Prin arhitectura specială a complexității pe care o descoperă oamenii de știință din diverse domenii, suntem martorii unei revoluții în derulare: am ajuns să deslușim importanța rețelelor.

Cu Internetul care ne domină viața, cuvântul *rețea* este pe buzele tuturor, figurează în numele companiilor și apare în titlurile celor mai

citite și citate reviste. După 11 Septembrie 2001, fiind martorii puterii ucigașe pe care o pot avea rețelele teroriste, a trebuit să ne obișnuim cu un nou sens al termenului. Foarte puțini își dau însă seama că evoluția rapidă a științei rețelelor scoate la iveală fenomene cu mult mai incitante și mai revelatoare decât sensul obișnuit al cuvântului *rețea*. Unele dintre aceste descoperiri sunt atât de proaspete încât multe dintre rezultatele-cheie circulă încă prin comunitatea științifică ca lucrări nepublicate. Ele deschid o perspectivă nouă asupra lumii interconectate din jurul nostru, indicând faptul că rețelele vor domina noul secol într-o proporție mult mai mare decât mulți dintre noi sunt gata să o recunoască. Ele vor alimenta întrebările fundamentale care vor contura viziunea noastră despre lume în epoca ce urmează.

Scopul acestei cărți este simplu: să vă facă să gândiți în termeni de rețele. Ea vorbește despre modul în care se constituie rețelele, despre cum arată și cum evoluează ele. Veți descoperi în paginile ei o perspectivă nouă: abordarea naturii, a societății și a mediului de afaceri prin prisma rețelelor, un cadru nou pentru înțelegerea unor probleme esențiale, de la democrație la vulnerabilitatea Internetului și răspândirea virusilor letali.

Rețelele sunt peste tot. Tot ce ne trebuie e să avem ochi pentru ele. Pe măsură ce veți trece de la o legătură la alta, de la un capitol al acestei cărți la altul, veți învăța să priviți societatea ca pe o rețea socială complexă și să înțelegeți cât de mică e, de fapt, lumea în care trăim. Veți înțelege cum și de ce a avut succes Apostolul Pavel și, în ciuda diferențelor evidente, prin ce semăna societatea în care a trăit cu cea de astăzi. Veți afla provocările pe care le înfruntă medicii atunci când încearcă să vindece o boală concentrându-se asupra unei singure molecule sau asupra unei singure gene neglijând interconectivitatea complexă din lumea vie. Vi se va aminti că MafiaBoy nu este singurul care atacă rețele. Veți putea aprecia dacă Internetul, privit adesea ca o creație exclusiv umană, seamănă cu un organism ori cu un ecosistem și dacă confirmă puterea legilor de bază care guvernează orice rețea. Veți vedea cum apariția terorismului este și ea guvernată de legile de configurare a rețelelor și cum profită aceste rețele fatale de robustețea fundamentală a rețelelor naturii. Veți fi uimiți de similitudinile extraordinare între sisteme atât de diverse – economia, celula și Internetul, folosind una

dintre ele pentru a le înțelege pe celelalte. Lecturarea cărții vă va purta prin mai multe discipline, o călătorie care își propune să vă deschidă ochii și care, sper, vă va provoca treptat, pentru a ieși din cadrul rigid al reducționismului, și pentru a explora, legătură cu legătură, următoarea revoluție științifică: noua știință a rețelelor.

NOTE

1. Povestea lui MafiaBoy a fost îndelung discutată în presă. Pentru o colecție de site-uri dedicate subiectului, a se vedea <http://www.mafiaboy.com/>. Expresia „Da, te-am auzit!” provine din C. Taylor, *Behind the Hack Attack*, revista *Time*, 21 februarie 2000.
2. Viața Sfântului Pavel și rolul său în răspândirea creștinismului au constituit tema a nenumărate cărți și monografii. A se vedea, printre altele: C.J. Den Heyer, *Paul: A Man of Two Worlds* (Harrisburg, Penn., Trinity Press International, 1998) și Robert Jewlett, *A Chronology of Paul's Life* (Philadelphia, Fortress Press, 1979).
3. Complexitatea, domeniu în devenire al științei și care își propune să înțeleagă, pe baza legilor autoorganizării, comportamentul sistemelor alcătuite din milioane de componente diferite și felul în care apare ordinea din haos și din imprevizibil, este în expansiune în ultima vreme. Practicienii săi acoperă zeci de discipline, de la matematică și fizică, la ecologie și afaceri. Pentru cărți populare și texte introductive despre subiect, a se vedea, de exemplu, Murray Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex* (W.H. Freeman & Co, New York, 1995); *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, volum editat de John H. Holland și Heather Mims (Perseus, Cambridge, MA, 1996); Ricard V. Solé și Brian Goodwin, *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology* (Basic Books, 2001); Rosario N. Mantegna, H. Eugene Stanley, *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance* (Cambridge University Press, 1999); Yaneer Bar-Yam, *Dynamics of Complex Systems* (Perseus, Cambridge, 1997).

A DOUA LEGĂTURĂ

Universul aleatoriu

Pe 18 septembrie 1783, la Sankt Petersburg, Leonhard Euler [1] începea o zi ca oricare alta. A ținut o lecție de matematică unuiia dintre nepoții săi și a început să facă niște calcule despre zborul baloanelor. Cu doar trei luni înainte, la sud de Lyon, frații Montgolfier lansaseră un balon enorm care se ridicase la 6 500 de picioare deasupra solului, aterizând în siguranță la peste un kilometru distanță de la locul lansării. Euler lucra la mecanica mișcării baloanelor, în timp ce frații Montgolfier se pregăteau să lanseze în aer, la Paris, sub privirile regelui Ludovic al XVI-lea, un balon cu o oaie. Zborul era programat a doua zi, pe 19 septembrie. Euler nu știa nimic despre eveniment. După prânz, lucrând cu asistenții săi, a făcut niște calcule despre orbita planetei Uranus, proaspăt descoperită. Ecuațiile pe care le-a introdus atunci și prin care a surprins orbita ciudată a planetei, au condus, decenii mai târziu, la descoperirea unei alte planete: Pluto. Euler nu a mai apucat însă să fie martorul acelei descoperiri. Pe la cinci după-amiaza a suferit o hemoragie cerebrală și, înainte de a-și pierde cunoștința, a mai apucat să murmure: „Sunt pe moarte”. A murit în aceeași după-amiază încheind cea mai prolifică carieră de matematician din toate timpurile.

Euler s-a născut în Elveția, dar a trăit la Berlin și la Sankt Petersburg. Gândirea sa a influențat extraordinar toate ramurile matematicii, fizicii și ale ingineriei. Nu doar că descoperirile sale au fost extrem de importante, dar și numărul lor este covârșitor. *Opera Omnia*, culegerea încă incompletă a lucrărilor sale, adună în prezent șaptezeci și trei de volume de câte șase sute de pagini fiecare. În ultimii 17 ani din viață, scurși între întoarcerea sa la Sankt Petersburg, în 1766, și decesul său survenit la vârsta de 76 de ani, activitatea matematicianului

a fost destul de încărcată [2]. În ciuda numeroaselor tragedii personale, aproape jumătate din lucrările sale au fost scrise în acei ani. Printre ele, un tratat de 775 de pagini despre mișcarea Lunii, un manual de algebră și o lucrare în trei volume despre calculul integral, lucrări finalizate în timp ce publica, în medie, câte un articol de matematică pe săptămână în revista Academiei din Sankt Petersburg. Lucrurile sunt cu atât mai ieșite din comun cu cât Euler abia putea să scrie și să citească în perioada respectivă [3]. Își pierduse parțial vederea, la puțin timp după întoarcerea în Sankt Petersburg, și a orbit complet, după o operație nereușită de cataractă, cinci ani mai târziu. Miile de pagini și teoreme au fost, așadar, dictate din memorie [4].

Trei decenii mai devreme, însă, cu vederea încă bună, Euler a scris un scurt articol despre o problemă mai amuzantă din Königsberg. Niciun localnic nu bănuia, la începutul secolului XVIII, trista și zguduitoră soartă pe care urma să o aibă prosperul oraș din estul Prusiei, în timpul uneia dintre cele mai teribile bătălii ale celui de-al Doilea Război Mondial. Schițe ale vremii ne arată un oraș vioi, de pe malurile râului Pregel, unde o flotă harnică și comerțul făcut de ea asigurau vânzătorilor locali și familiilor acestora o viață confortabilă. Economia sănătoasă a permis administrației orașului să construiască peste Pregel nu mai puțin de șapte poduri. Majoritatea lega eleganta insulă Kneiphof, prinsă între două brațe ale râului, de alte părți ale orașului. Alte două poduri traversau cele două brațe ale râului (Figura 2.1). Locuitorii din Königsberg, bucurându-se de vremuri pașnice și prospere, își omorau timpul amuzându-se cu întrebări de genul: „Se poate trece peste cele șapte poduri în așa fel încât să nu treci de două ori peste același pod?” Până la construirea unui nou pod, în 1875, nimeni nu a găsit un asemenea traseu.

În 1736, cu aproape 150 de ani înaintea construirii celui de al optulea pod, Euler a oferit o demonstrație matematică riguroasă care arăta că un astfel de traseu nu e cu putință în varianta cu șapte poduri. Euler nu doar că a rezolvat „spinoasă” problemă din Königsberg, dar în scurta sa lucrare a fondat, fără să își fi propus, o ramură extrem de importantă a matematicii: teoria grafurilor [5]. Astăzi, teoria grafurilor reprezintă fundamentul gândirii noastre despre rețele. În secolele care au urmat morții lui Euler, această teorie s-a dezvoltat într-o disciplină

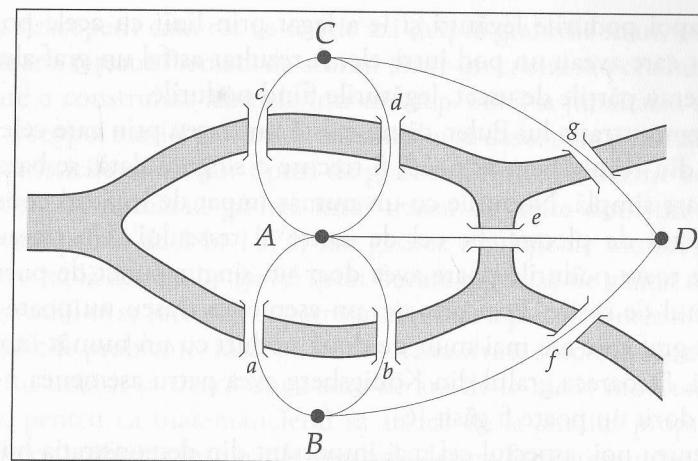


Figura 2.1: Podurile din Königsberg. Dispunerea orașului Königsberg dinaintea anului 1875, cu insula Kneiphof (A) și bucată de uscat D, încadrată de cele două brațe ale râului Pregel. Rezolvarea problemei din Königsberg a însemnat găsirea unei rute în oraș astfel încât o persoană să treacă fiecare pod o singură dată. În 1736, Leonhard Euler a dat naștere teoriei grafurilor, înlocuind fiecare dintre cele patru bucăți de uscat cu noduri (de la A la D), iar fiecare pod cu câte o legătură (de la a la g), obținând un graf cu patru noduri și șapte legături. Euler a demonstrat apoi că, pe acest graf, o rută care să traverseze fiecare legătură exact o dată nu există.

matură la care a contribuit majoritatea marilor matematicieni. Pentru a face primii pași în domeniului rețelor, să revedem raționamentul care l-a condus pe Euler la elaborarea primului graf.

1. Demonstrația lui Euler este simplă, elegantă și ușor de înțeles și pentru cei care nu sunt tobă de carte la matematică. Totuși, nu demonstrația este cea care a făcut istorie, ci pasul intermediar folosit pentru rezolvarea problemei. Ideea grozavă a lui Euler a fost aceea de a vedea podurile ca pe un *graf*, o colecție de *noduri* conectate prin *legături*. El a folosit nodurile ca să reprezinte fiecare dintre cele două zone de uscat separate de râu, marcându-le cu literele A, B, C și D. A

numit apoi podurile legături și le-a legat prin linii cu acele porțiuni de uscat care aveau un pod între ele. A rezultat astfel un graf ale cărui noduri erau părțile de uscat, legăturile fiind podurile.

Demonstrația lui Euler, că nu există un traseu prin care cele șapte poduri din Königsberg să poată fi trecute o singură dată, se baza pe o constatare simplă. Nodurile cu un număr impar de legături constituie fie punctul de plecare, fie cel de sosire al traseului. Un traseu care străbate toate podurile poate avea doar un singur punct de pornire și doar unul de sosire. Prin urmare, un asemenea traseu nu poate exista într-un graf care are mai mult de două noduri cu un număr impar de legături. Deoarece graful din Königsberg avea patru asemenea noduri, traseul dorit nu poate fi găsit [6].

Pentru noi, aspectul cel mai important din demonstrația lui Euler este acela că existența traseului nu depinde de ingeniozitatea noastră. De fapt, *ea este o proprietate intrinsecă a grafului*. Dată fiind configurația podurilor din Königsberg, oricât de inteligenți am fi, tot nu vom reuși să găsim traseul căutat. În cele din urmă, locuitorii orașului au fost de acord cu Euler și au renunțat la inutila căutare. În 1875, însă, au construit un nou pod între B și C, mărinind la patru numărul de legături ale celor două noduri. Rămâneau astfel doar două noduri (A și D) cu un număr impar de legături, așa că a fost ușor de găsit mult căutatul traseu. Să fi fost, oare, găsirea acestui traseu, motivul tacit al construirii ultimului pod?

Privind retrospectiv, mesajul involuntar al lui Euler este foarte simplu: proprietățile grafurilor sau ale rețelelor sunt ascunse în construcția lor și ne ajută sau ne îngreunează capacitatea de a opera cu ele. Pentru mai bine de două secole, dispunerea grafului din Königsberg a limitat capacitatea localnicilor de a rezolva această problemă de cafea. Dar o schimbare a configurației, adăugarea unei legături noi, a eliminat dintr-o dată această constrângere.

Rezultatul lui Euler vorbește în multe privințe despre o idee importantă a acestei cărți: construcția și structura grafurilor sau a rețelelor sunt cheia înțelegerii lumii complexe în care trăim. Schimbări mici în topologie, care afectează doar câteva noduri sau legături, pot deschide uși nebănuite spre noi oportunități.

Teoria grafurilor a explodat după Euler, prin contribuția unor titani ai matematicii: Cauchy, Hamilton, Cayley, Kirchhoff și Pólya.

Ei au descoperit cam tot ce se știe azi despre grafurile mari, cum sunt, bunăoară, rețeaua formată de atomii dintr-un cristal sau cea hexagonală pe care o construiesc albinele într-un stup. Până la jumătatea secolului trecut, scopul teoriei grafurilor era simplu: să descopere și să catalogheze caracteristicile diverselor tipuri de grafuri. Printre probleme celebre în domeniu se numărau găsirea unui traseu de ieșire dintr-un labirint, rezolvată prima dată în 1873, sau găsirea unui șir de mutări ale unui cal pe o tablă de șah, în așa fel încât fiecare pătrat să fie vizitat o singură dată și calul să se întoarcă în pătratul din care a plecat. Unele dintre cele mai dificile probleme, însă, au rămas nerezolvate secole la rând [7].

Au trebuit să treacă două sute de ani de la ideile inovatoare a lui Euler, pentru ca matematicienii să treacă de la studiul proprietăților diverselor grafuri la întrebările esențiale despre formarea grafurilor, sau, mai popular, a rețelelor. Chiar așa, cum se formează o rețea? Care sunt legile care guvernează apariția și structura ei? Primele răspunsuri la aceste întrebări s-au lăsat așteptate până în 1950, când doi matematicieni maghiari au revoluționat teoria grafurilor.

2. Într-o după-amiază liniștită de la finele anilor '20, un tânăr de șaptesprezece ani galopa ciudat pe străzile Budapestei, până ce a ajuns în fața unui magazin elegant de încălțăminte ce vindea articole făcute la comandă. Pentru picioarele lui neregulate, pe care nu le cuprindea niciun pantof normal, ar fi prins într-adevăr bine un cizmar. Dar nu pentru o pereche de pantofi noi alergase până acolo, altele îi erau intențiile. A bătut la ușa magazinului, a intrat și, făcându-se că nu o vede pe vânzătoarea de la ghișeu, s-a dus glonț la băiatul de paisprezece ani din fundul magazinului. Scena de mai jos părea la fel de ciudată atunci, ca și acum:

„Spune-mi un număr de patru cifre”, zise el.

„2 532”, răspunse juniorul uitându-se mirat la ciudata creatură. Aceasta însă nu i-a dat prea mult răgaz ca să-l privească:

„Pătratul său este 6 441 024”, a continuat. „Scuze, îmbătrânesc și nu-ți pot spune cât e și cubul său. Câte demonstrații ale teoremei lui Pitagora știi?”

„Una singură”, răspunse cel mic.