

Gud spelar med falska tärningar

Ralph Abraham: matematikprofessorn som bringade ordning i kaosteorin

Av Waldemar Ingdahl. Artikeln har publicerats i kulturmagasinet Voltaire april/maj 2009
www.voltaire.se

Hur kommer det sig att antikens romare kunde bygga broar som håller tusentals år, medan vi bygger broar som kollapsar efter ett par årtionden? Svaret kan vara enkelt. De romerska arkitekterna hade inte datorer för att beräkna exakt hur stark en bro måste vara. Bron byggdes väldigt stark för att stå emot alla eventualiteter. Dagens ingenjörer kan beräkna exakt hur mycket stål de behöver för att en bro skall bära den förväntade belastningen. Optimeringen gör dem fria att göra broarna svagare, med sämre utrymme för att småsaker kan gå fel.

Vid en internetsökning på kaos, dyker mer eller mindre suspekta och suggestiva tips upp. Vilka är rätt?

Kaosteorin sägs vara den yngsta av de stora naturvetenskaperna. Vad som tidigare hindrat forskningen på området har varit bristen på avancerade datorer. Kaoteori är en vetenskap om olika systems totalitet, som har sammanfört forskare från områden vilka stått mycket långt ifrån varandra. Den förklarar jordbävningar, solfacklor, fluktuationer i de finansiella marknaderna, landskapets former, skogsbränder, jordskred, epidemier och evolution. Det har till och med diskuterats om krig följer kaosteorin.

Central för denna spretiga rörelse har matematikern Ralph Abraham varit. Han föddes 1936 i staden Burlington i Vermont. Från början var han ingenjör, och gled över till matematiken från fysiken. I september 1960 fick han ett erbjudande om att arbeta vid universitetet i Berkeley. Det var ingen betydande matematisk institution, men stod precis inför sitt genombrott som nydanande kunskapscentrum. Institutionens stjärna var Stephen Smale som vunnit Fieldsmedaljen (matematikens nobelpris) och Abraham började arbeta med honom.

Abraham etablerade sig sedan som professor vid universitetet i Santa Cruz, ett nytt universitet med forskare som inte behövde hålla sig till gamla områden och metoder. Här kunde Abraham spela sin viktigaste roll, som mentor för några av de mest framstående unga spjutspetsarna inom kaosforskningen. Genom sitt arbete med Smale var han inne på rätt spår, och kunde ge sina studenter en skjuts vidare i deras arbete. För fysiker är bra handledning tidigt i karriären mycket viktig. De behöver hjälp för att finna problem som är hanterliga och givande, stöd i medförfattande av artiklar och stöd för att finna anslag till sin forskning.

Abraham gav stöd åt de unga kaosforskarna i Dynamic System Collective bestående av Robert Shaw, Doyne Farmer, Norman Packard och James Crutchfield. De hjälptes bland annat åt med att utifrån kaosteorin finna en matematisk metod att slå roulettet.

Kaosteorin, dynamisk systemteori, studiet av icke-linjära system eller komplexa adaptiva system, som det också kallas, har fått en anda av mystik kring sig. Det är ett fenomen som gör att vissa systems förändringar är oförutsägbara, även när de lyder under ganska enkla naturlagar, och att extremt små skillnader i ingångsvärdena leder till omfattande skillnader i det följande.

Kaoteori upplevs ofta som svår att förstå, som något mystiskt sätt visas vackra bilder som sägs vara matematiska beräkningar. Trolliska ord som fraktaler och mandelbrotsmängder omger kaoteori. Många söker förklaringar till händelser i kaosteorins mystik, så även mindre seriösa "vetenskaper" som ockultism.

Det har skett en förskjutning i synen på vetenskapens natur när kaosteori började göra sitt inträde. Kaos fordrar icke-linjära förlopp, och studeras inom teorin för dynamiska system. Kaosteori rymms inom matematiken och griper över olika vetenskaper inom naturvetenskap, musik, ekonomi etc. Det finns en skillnad mellan matematiken och naturvetenskapen. Matematiken ser problem uppifrån och ned, från det mest komplicerade till det minst komplicerade. De andra naturvetenskaperna ser på problemen nedifrån och upp, och bygger upp det mer komplicerade från de enklare delarna. Genom kaosforskningen börjar även andra naturvetenskaper att se hur helheten kan vara annorlunda än summan av delarna.

Vid första intrycket kan kaos verka som ett virrvarr, men efter studier framträder en strikt, matematisk ordning. Det är alltså ordningen i oordningen som utforskas, och förståelsen att oordning är det normala medan ordningen är ett undantag. Kaosforskningen arbetar i samma tradition som övrig vetenskap med att läsa den välordnade matematiska skriften i naturens bok. Föreningen av många vetenskapliga modeller kan ses som att världssjälens har kommit tillbaka i samtidens världssyn.

Forskare försöker bygga modeller för att förklara naturens skeenden. Dessa modeller är förenklingar som är lättare att undersöka. Här kan kaosteori spela in. Forskarnas ”enkla” modeller utesluter små variabler som kan ge stora skillnader i slutresultatet. Fjärilseffekten betyder att en mycket liten skillnad i indata kan ge ett mycket stort utslag. Beteckningen kommer sig av att en fjärils lätta vingslag tänks kunna starta en orkan. *Liten tuva stjälpes ofta stort lass*, är en liknelse ur kaosteori, en avgörande punkt i en händelsekedja där små förändringar förstoras.

Kaosforskningen har med framgång använts för att förstå hjärtat bättre. Hjärtflimmer är ett problem som tagit miljontals liv. De enskilda delarna av hjärtat kan fungera normalt, men hjärtat som helhet går över styr och ger stopp i artärerna, och musklerna som pumpar dör. Kaosteori har legat till grund för forskningen på bättre defibrillatorer för att få hjärtat sluta flimra

På 30-talet hade forskningen problem. Matematiker, biologer, ekologer, fysiker och medicinare blev alltmer specialiserade och kunde inte utbyta erfarenheter. Kaosforskningens genombrott förändrade det. Den ställde nya, kraftiga påståenden om komplexa former och hur de beter sig universellt inom olika forskningsområden. Den ställde även frågor om var gränserna för determinism och den fria viljan, för evolutionen och den medvetna mänskliga intelligensen går.

50-talets forskning var mycket optimistisk, inte bara om att förstå och förutsäga komplexa system som vädret, utan också om tron att kunna kontrollera det. Forskare som John von Neumann ansåg att komplicerade system kunde ha kritiska punkter där en liten förändring kan få stora konsekvenser, ungefär som när en boll balanserar högst upp på en kulle. Von Neumann hade förbisett den kaotiska möjligheten med instabilitet i varje punkt.

Pionjärerna inom kaosforskningen hade öga för mönster, särskilt mönster som uppträder i olika skalor och nivåer, samtidigt. De hade en känsla för hur slumpmässighet sker och för komplexitet, för tandade kanter och plötsliga språng.

Kaosteori formaliserades i mitten av 1900-talet, då det blev uppenbart för en del forskare att linjär teori och dåtidens rådande systemteori helt enkelt inte kunde förklara det observerade beteendet hos vissa experiment. Vad som på förhand hade uteslutits som vaghet och enkelt "brus", ansågs av kaosteoretiker som en fullvärdig del av de studerade systemen.

Abrahams kollega, Stephen Smale, skulle ge ett viktigt bidrag till utvecklingen. Han var en kontroversiell matematiker som arbetade med topologi och pendlars svängningar, problem som fysiker arbetade med på grundnivå. Fysiker antog att små förändringar endast innebär mycket små kvantitativa förändringar, inte kvalitativa förändringar i ett förlopp. Topologi studerades för formernas egen skull, praktiska tillämpningar i verkligheten var inte omtyckta bland matematiker.

Smale var också teoretiker, men genom hans ekvationer uppdagades det att kaos och instabilitet inte vara samma sak. Ett kaotiskt system kan vara stabilt om dess speciella form av oregelbundenhet består trots en del små rubbningar. Man kunde införa brus i systemet, vicka, röra om men det återgick sedan till samma oregelbundna mönster som tidigare. Lokalt oförutsägbart men globalt stabilt.

Det var aldrig exakta upprepningar, men det fanns ett tydligt mönster. En ordning i oordningen. Denna ordning, eller egenskap att följa ett mindre noggrant mönster kom att kallas systemets attraktor. Inom alla icke-linjära system finns det en mer eller mindre tydlig attraktor. Ett exempel är en pendel, vilken alltid rör sig runt en lodlinje och stannar slutligen hängande i denna linje. Attraktorn är ett slags gräns inom vilken kaos råder; man vet inte exakt hur systemet kommer att uppföra sig, men man vet att det sker inom denna gräns.

En tidig pionjär i kaosteori var Edward Lorenz vars intresse för kaos uppstod av en slump då han arbetade med väderprognoser 1961. Lorenz använde en enkel dator för att köra sina vädersimulationer. Han ville räkna om en sekvens av uppgifter och för att spara tid började han simuleringen i mitten av sitt lopp. Till Lorenz förvåning gav datorn en helt annorlunda förutsägelse av vädret än den som beräknats innan. Lorenz spårade skillnaden till datorns utskrift. Datorn hade arbetat med sex decimalers precision, men utskriften rundade av till ett tresiffrigt tal. Skillnaden är liten och vetenskapen på den tiden skulle ha sagt att det praktiskt taget inte borde ha en effekt. Lorenz hade upptäckt att små förändringar i grundläggande villkor producerar stora förändringar i det långsiktiga resultatet. Han drog slutsatsen av sin upptäckt att det är av princip omöjligt att förutse vädret med hjälp av den klassiska meteorologiska teorin för mer än en ganska kort tid, som en vecka.

Ett av de viktigaste begreppen inom kaosteori är fraktaler. Bakom fraktaler ligger komplex matematik. Förenklat kan sägas att gemensamt för de enkla fraktalerna är att alla delar av fraktalen är en exakt, eller snarlik, kopia av helheten. Man kan oändligt ofta zooma in och få ytterligare djup i bilden, men ser samma bild som tidigare, den har inte förändrats. Ett exempel är utseendet hos en snöflinga. Mandelbrotsmängder är mer komplicerade fraktaler och visar hela tiden upprepningar av mönster. Dessa har visats grafiskt med hjälp av starka datorer. På 80-talet såldes de grafiska bilderna som psykedelisk popkonst.

Benoit Mandelbrot, ett universalgeni på datorföretaget IBM, var först att grafiskt framställa fraktaler. Han ritade upp Mandelbrotmängden, vilken kom att bli symbolen för kaosforskningen. Mandelbrot hade funnit återkommande mönster på alla nivåer i uppgifter om bomullspriser. Det vill säga att förändringar i bomullspriset liknar varandra oberoende av periodens längd. Daglig fluktuation av priset liknade den månatliga fluktuationen av priset.

1975 publicerade Mandelbrot en artikel om fraktal geometri i tidskriften Nature, som blev en klassiker. Biologiska system, t.ex. filialer i cirkulationsorgan och bronkiala system har visat sig passa med en fraktal modell

Ekologerna spelade en stor roll för kaosteori. De använde matematiska modeller men förstod att de var dåliga liknelser av vad som egentligen hände i naturen. Ekologin är långt mer komplicerad än fenomenen i fysiklabbet. De förstod att normala ekvationer kunde ge upphov till onormala reaktioner. Ekologi kan inte basera sig på ett jämviktsbegrep, det finns ingen naturlig balans som djur- och växtpopulationer håller sig till. Abraham gav ett bidrag genom att titta på experiment med populationsbiologi där rovdjur samverkar med sitt byte. Experimenten bröt mot Malthus tankar om att det finns en faktor som hämmar tillväxt när population för stor.

I december 1977 organiserade New York Academy of Sciences det första symposiet om kaos. Där deltog Edward Lorenz och Abrahams elev Robert Shaw från Dynamic System Collective. Året därpå använde Mitchell Feigenbaum fraktal geometri till studier av naturliga former som kustlinjer. Han upptäckte universalitetsprincipen i kaos, vilket betydde att kaosteori kunde tillämpas på många områden. År 1986 ordnades den första viktiga konferensen om kaos i biologi och medicin. Bernardo Huberman lade där fram en matematisk modell av hur schizofrena spårar oordning med ögat.

Kaosteorins framväxt har kallats *paradigmskiftenas paradigmskifte* av Abraham, och har använts som ett exempel på vetenskapsteoretikern Thomas Kuhns modell för hur ny kunskap tar sig in i forskningen. Forskarna försvarar äldre kunskap mot ny. Öppen fiendskap bröt ut och kaosforskning mötte motstånd. Hur kunde man ge den publicerbar form? Vissa tidskrifter hade oskrivna regler om att inte publicera kaosforskning.

Det går inte att komma ifrån att psykedelia och drogkulturen hade ett viktigt inflytande på tänkandet vid Kaliforniens universitet på 60-talet. Det fick stora effekter på hur datorer och datagrafik skulle komma att utvecklas och var avgörande för särskilt kaosteorin och den fraktala geometrin.

En av Abrahams studenter vid tidpunkten introducerade honom 1967 till tidens modedrog LSD. LSD gav honom inspiration att bryta med den abstrakta rena matematiken till mer experimentella och tillämpade studier. Det ledde till Abrahams forskning på hjärnan för att studera medvetande, kommunikation och resonans från ett helhetsperspektiv. Siffror och geometri ersattes av studiet av mönster i rum och tid

Abraham tillbringade en period med att inta LSD, studera hinduisk filosofi och träna yoga i Indien. Det var under resan som Abrahams olika intressen började sammanstråla som ett enda område av idéer baserade på vibrationsforskning. Han såg i en serie visioner de matematiska objekt han hade studerat i den dynamiska systemteorin, och att den hinduiska världsbilden som en rad samverkande vågor kan ge större kosmologiska paradigmer för att utforma studierna.

1975 grundade Abraham ett institut för visuell matematik vid universitetet i Santa Cruz, ett mycket tidigt centrum för forskning om datagrafik, interaktiva miljöer och hur matematik kan presenteras i bilder.

Ett lekfullt sätt att visa upp kaosteorin var att bilda en musikgrupp. Den rätt udda popgruppen Mimi and the Illuminati hade sin premiär 1992. Mimi (Mathematically Illuminated Musical Instrument) är en dator som översätter Abrahams matematiska formler och brus i visuella mönster på en enorm datorskärm, till ackompanjemang av matematikprofessorn Ami Radunskayas elektroniska cello och datavetaren Peter Broadwell på en Yamahasynth. Örat vill gärna lägga tonerna i en linjär följd, så musiken går ut på att göra skillnaderna i ton och klangfärg tydliga. Resultatet blir en rätt udda men uppskattad musik, som bandet turnerat med.

1994 gav Abraham ut boken *Chaos, Gaia, Eros*. Boken handlar om myter, vetenskap, musik, historia och kaosbegreppet koppling till konst, kultur och mystik. I slutet av 60-talet, så lyssnade han på ett föredrag av Immanuel Velikovsky om stabiliteten i solsystemet. Velikovsky hade 1950 publicerat en bok med titeln *Worlds in Collision*, där han skrev att en komet nästan hade kolliderat med jorden år 1500 f. Kr. och att detta inte bara orsakade orkaner, översvämningar och jordbävningar, men gav jordens axel sin lutning, vände rotationen, och krossade civilisationer som det minoiska Kreta, dravidiska Indien och det forna Egypten. Dessutom hävdade Velikovsky att kometen hade slagit av ett stycke från Jupiter som senare blev planeten Venus. Velikovskys bok förkastades helt av forskningen. Abraham blev inspirerad och tänkte över några av problemen.

Abraham jämförde de ansträngningar av ren matematik som gjordes för att visa stabiliteten i solsystemet med de andliga tankar om att stabiliteten var en gudomlig ordning som måste upprätthållas. Kaos betraktas inte längre som "brus" som skall rensas bort från matematiken för att maximera den platoniska renheten. Fraktalernas konturer och oslipade kanter liknar de stormar, strömmande floder och ojämna strandkonturer som jämfördes med jordgudinnan Gaia. Kaosteorin handlar om processer i naturen, inte för att förstå dem till fullo, utan att se när systemen går i stadier av turbulens som kokande vatten, epileptiska anfall, kravaller. De regleras av en matematisk geometri som kallas kaotisk attraktorpunkt. Denna formar det skenbara kaoset i komplex ordning.

I vår kultur kallas Kaos livets kärna, Gaia livets samhörighet och Eros människans beteende i enlighet med Kaos och Gaia. Delfiner används som ett exempel på varelser som förstår Kaos, Gaia och Eros. Det finns återvändsgränder i evolutionen, risken är att mänskligheten inte lyckas få en stabil civilisation på lång sikt. Det finns också möjlighet att utvecklas till ett kvalitativt högre plan. Vårt våldsamma samhälle försöker att uppnå stabilitet genom kärnfamiljen och undertrycker Kaos, Gaia och Eros. Kärnfamiljen var en god strategi när civilisationer krigade. De tre principerna framträder vid de plötsliga förändringarna av en utveckling i historien, bifurkationerna, som 60-talet, renässansen och pytagoréernas akademi. Historien är ett kaotiskt system som inte rymmer en mening eller given väg.

Redan på 80-talet arbetade Abraham med Internet. I mitten av 90-talet debatterade han rädslan för det nya informationssamhället, och varnade för de frälsningstankar om nätet som började dyka upp. Abraham glädde sig över bristen på censur och för att nätet skulle kunna ge friare möten mellan vetenskaperna. Internet var livsviktigt för mänsklighetens vidare utveckling, då fler skulle kunna delta i att utbyta idéer och föra in nya tankar i samhället. För att den sammanlagda effekten av Internets användande skulle bli bra, behövde visualisering, observation och interaktion utvecklas. Där ansåg Abraham att kaosteori kunde läggas till grund för utvecklingen av teorin för att bygga nätet.

Abraham är orolig för klimatdebatten. Han har som privatperson engagerat sig i miljöfrågan, men är orolig att matematiken används felaktigt när klimatmodeller skapas. Modeller är alltid instabila och enligt kaosteori kan modellens beteende förändras rejält med en liten förändring av modellen. Abraham anser att klimatmodellernas mål främst borde vara pedagogiskt, inte användas för att förutsäga vad som kommer att hända, då det inte finns något tydligt bevis för att modeller håller. Globala klimatmodeller kan inte berätta hur mycket havsnivån kommer att stiga eller hur lång tid det tar. De kan visa oss att så kan ske och vi kan dra lärdom för det som kan komma att hända. Uttalandet kan tyckas vara självklart, men kritiserades kraftigt då det tockades som ett ställningstagande i den infekterade klimatfrågan.

I 200 år har börserna på Wall Street i New York överlevt krig, depressioner och terroristattentat. Nu verkar Wall Street som vi känner det vara illa ute i bankpanikens hjärtinfarkt. Många frågar, likt en läkare vid en hastigt insjuknad patients bädd, om något ovanligt hänt den sista tiden. Många debattörer har pekat ut att börsmäklare haft ett alltför stort förtroende för sina komplexa ekonomiska modeller över hur marknaden borde fungera, då modellerna antagit att marknader alltid beter sig rationellt.

På 80-talet forskade Abraham på finansiella bubblor och krascher. Abraham undersökte flockbeteendet i sina experiment. Om deltagare kunde se hur andra deltagare gjorde så påverkades deras val av investeringar. Människor reagerar på förluster genom att sälja sina tillgångar. När krascher blir vanligare och mer förutsägbara reagerar folk mindre på förluster. Frågan är om människors beteende är en stabiliserande eller destabiliserande kraft för marknaden och om transaktionskostnader förändrar mänskligt beteende. Forskningen visade att ekonomins utveckling bestäms från en hel uppsjö av olika, snabbt förbivirvlande faktorer. I praktiken är inte marknaden så rationell eller långsiktig som många ekonomers statistiska modeller visar.

Abraham är främst en samordnare, snarare än spjutspetsforskare. Han administrerar tidskrifter, låter studenter forska om kul nya tillämpningar, skriver läroböcker och sätter forskningen i ett sammanhang snarare än löser de svåraste problemen. Om det är något kaosteori visat oss är det att den som länkar ihop vida åtskiljda fält, särskilt om de kan introducera användbara idéer från ett område till ett annat, ofta får stort inflytande.

Länkar:

<http://pages.pomona.edu/~aer04747/mimi/mimi.html>

<http://www.ralph-abraham.org/>

<http://www.rossinstitute.org/>