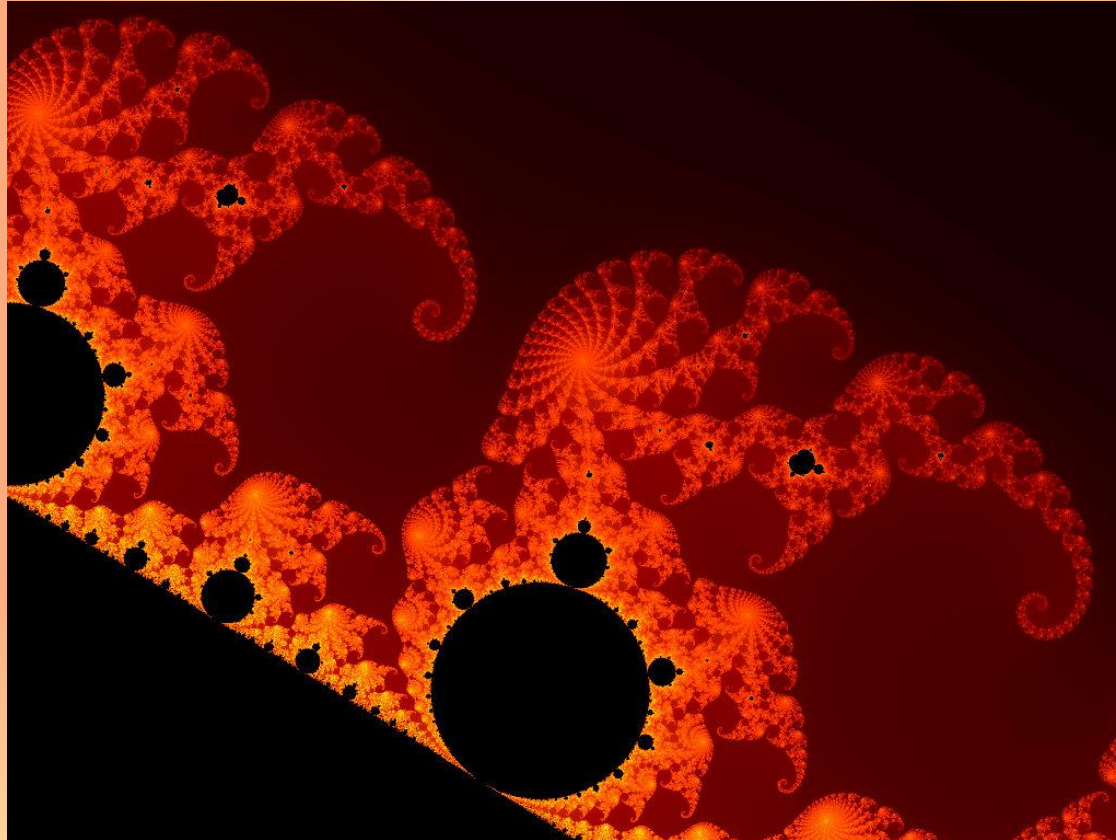


Znanstvene teorije “kaosa”,
globinskega reda za površinskim neredom



Marko Uršič, Filozofija narave, BF, 2015

“Nelinearni” red v navideznem neredu

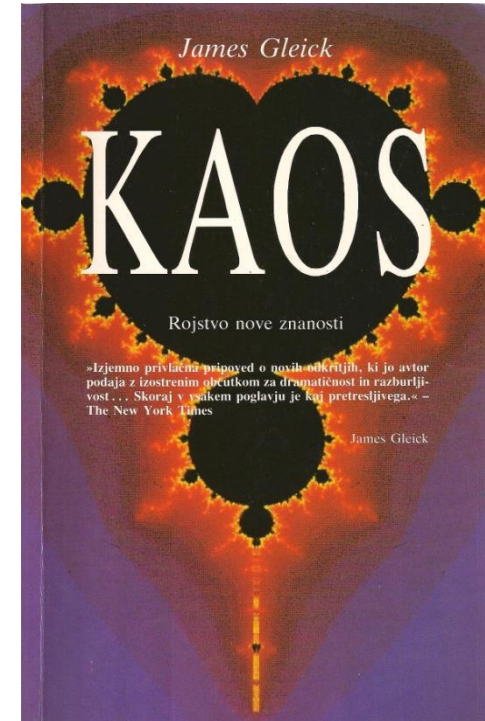
“Kaos” je skupna oznaka za razne “nelinearne” (aperiodične) kompleksnosti; za površinskim neredom se skriva globinski, matematično-fizikalni red.

Tri glavne značilnosti kaosa:

1. občutljivost na začetne pogoje
2. nelinearna urejenost
3. fraktalnost

Trije glavni “igralci” v teoriji /-ah kaosa:

- **Henri Poincaré** (1887): “problem treh teles” → deterministični kaos, nezmožnost predvidevanja
- **Edward Lorenz** (1963): Lorenzov atraktor; “metuljev učinek”: frfotanje krilc → orkan
- **Benoît Mandelbrot** (*The Fractal Geometry of Nature*, 1977): sámopodobnost na vseh stopnjah povečave.



James Gleick: *Kaos, rojstvo nove znanosti* (1987),
prev. Samo Kuščer, DZS, 1991.

Problem treh teles – “deterministični kaos”

Henri Poincaré je v svoji knjigi *Znanost in metoda* (*Science et Méthode*, 1908) zapisal:

- “Zelo majhen vzrok, ki ga ne opazimo, povzroči znaten učinek, katerega pa ne moremo spregledati, in zato ta učinek pripišemo naključju <*hasard*>. Če bi natančno poznali zakone narave in stanje univerzuma v začetnem trenutku, bi lahko natančno napovedali njegovo stanje v nekem poznejšem trenutku. A tudi če bi poznali vse naravne zakone, bi vendarle poznali začetno stanje le približno. Če bi nam to omogočilo napovedati poznejše stanje z *enako približnostjo*, bi bilo to vse, kar bi potrebovali, in reči bi morali, da je bil ta pojav predviden in da se pokorava zakonom. Vendar ni vselej tako: lahko se zgodi, da majhne razlike v začetnih pogojih ustvarijo zelo velike razlike v končnih pojavih. Majhna napaka v prvih bo imela za posledico velikansko v drugih. Napovedovanje postane nemogoče in že imamo naključen pojav.” (*Op. cit.*, str. 68-69, podčrtal M.U.)



A handwritten signature of Henri Poincaré in dark ink, written in a cursive style.

Henri Poincaré
(1854-1912)

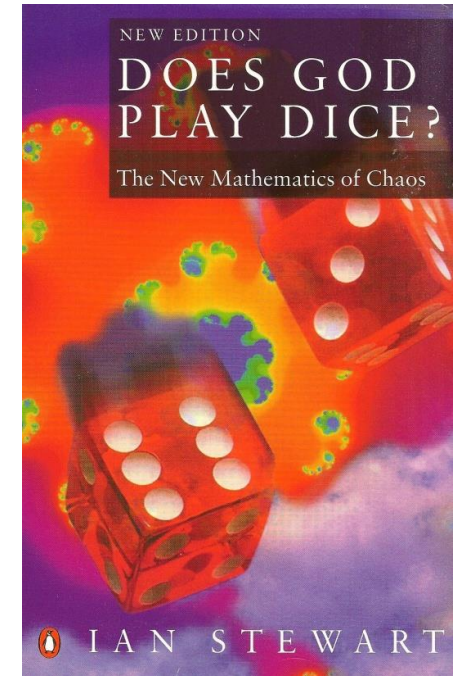
Red ali nered, determinizem ali naključje?

Angleški matematik **Ian Stewart** z naslovom *Mar Bog kocka?* (*Does God Play Dice?*, 1997) ter podnaslovom “Nova matematika kaosa”, pravi naslednje:

- “Začeli smo odkrivati, da sistemi, ki se sicer pokoravajo nespremenljivim in natančnim zakonom, ne delujejo vselej na predvidljiv in pravilen način. Preprosti zakoni lahko ustvarijo vedenje *<behaviour>*, ki ni preprosto. Deterministični zakoni lahko ustvarijo vedenje, ki se zdi naključno *<random>*. Red lahko poraja sebi lastno vrsto kaosa. Vprašanje ni toliko v tem, ali Bog kocka, ampak kako Bog kocka.” (*Op. cit.*, xii, podčrtal M.U.)
- “Teško si je zamisliti okoliščine, v katerih bi bil človek lahko absolutno gotov, da je realni svet ‘zares’ bolj naključen kakor determinističen ali obratno.” (*Ibid.*, 280)

V epilogu pod naslovom “Kockanje z Boštvom *<Deity>*” pa Stewart duhovito dopolni Einsteina:

- “Če bi Bog kockal ... bi zmagal.” (*Ibid.*, 383).

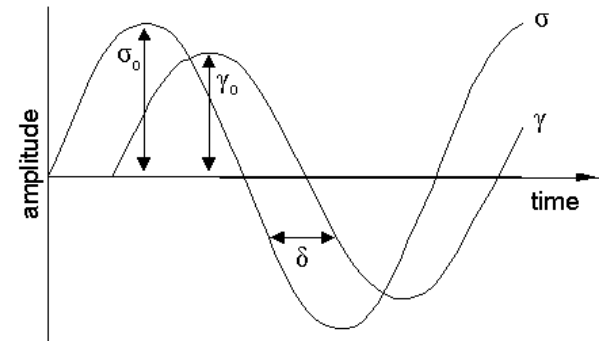


“Nelinearnost” oziroma neperiodičnost

Na splošno rečeno je linearni sistem “vsota svojih delov”: ne glede na njegovo velikost in zapletenost ga lahko opišemo v “konjunktivni formi” (kot pravimo v logiki) in tak linearni sestav omogoča popolno analizo oziroma redukcijo na svoje elementarne enote.

Linearni sistemi so vsa periodična nihanja oziroma valovanja (→ Fourierove vrste).

Izraz **periodičen** tukaj uporabljamo samo za tiste ponavljajoče se procese, v katerih se ponavljajo povsem enaki vzorci, kakor je v aritmetiki periodično število tisto, v katerem se ponavljajo natančno isti nizi števil (npr. 0,123123123...); **neperiodični** (“nelinearni”) procesi pa so tisti, v katerih se sicer lahko ponavljajo podobni vzorci, vendar med njimi nobena dva nista povsem enaka.



Lorenzov atraktor, primer “kaotične” (nelinearne, neperiodične) urejenosti

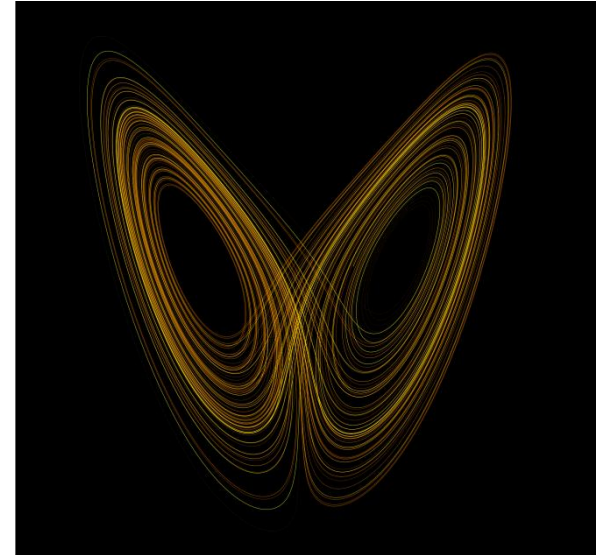
Fizikalne in nasploh vse kvantitativno opisljive procese lahko ponazorimo v mnogodimenzionalnem “faznem prostoru” <angl. *phase space* ali *state space*>, ki je posplošitev 3D-prostora na poljubno število dimenzij.

Dinamična sistemska teorija ponazarja stanje celotnega sistema v vsakem posameznem trenutku z neko določeno točko v faznem prostoru. Proces prehajanja iz enega stanja v drugega, tj. razvoj sistema v času, pa je v faznem prostoru ponazorjen s “trajektorijami”, ki povezujejo točke posameznih stanj. S tem dobimo statično (geometrijsko) “sliko” dinamike sistema.

Kaotične trajektorije se razlikujejo od naključnih, saj kaos ni naključje, ampak “globinska” urejenost navidezno naključnega. James Gleick nam razlaga to distinkcijo:

- “Resnično slučajnostni podatki ostajajo razmazani v nedoločeno zmešnjavo. Deterministični kaos z vzorci pa zbere podatke v vidne oblike. Narava si med mnogimi potmi v nered izbere le nekatere izmed njih.”

(Gleick, *Kaos*, str. 249, podčrtal M.U.)



Lorenzov atraktor (Edward Lorenz, 1963) je najbolj znani “čudni privlačnik”, ki kaže neperiodične trajektorije razvoja “kaotičnega” sistema (konvekcijskega procesa, opisanega s tremi “nelinearnimi” enačbami).

Mandelbrotova množica, neskončno kompleksen fraktal

Za teorijo kaosa posebno zanimivi in značilni pa so tisti čudni privlačniki, katerih topologija razodeva “vertikalno”, globinsko sámopodobnost na različnih velikostnih ravneh - **fraktali**.

Benoît Mandelbrot: *Fraktalna geometrija narave* (*The Fractal Geometry of Nature*, 1977). Sam izraz “fraktal” (iz lat. *fractus*: zlomljen), s katerim je Mandelbrot poimenoval te “kaotične” strukture, se nanaša na “zlomljene” črte ali površine, ki so sámopodobne na različnih stopnjah povečave vse do najmanjših detajlov (npr. skalnata obala ali snežinka).

Pravilo (“recept”) za konstrukcijo Mandelbrotove množice:

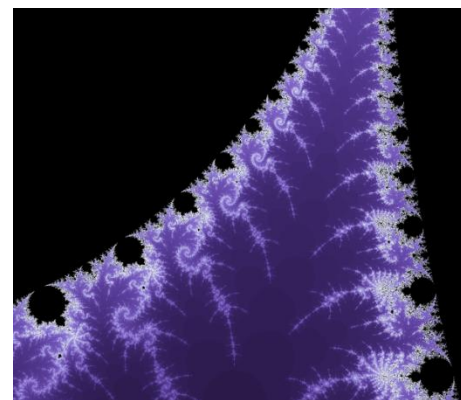
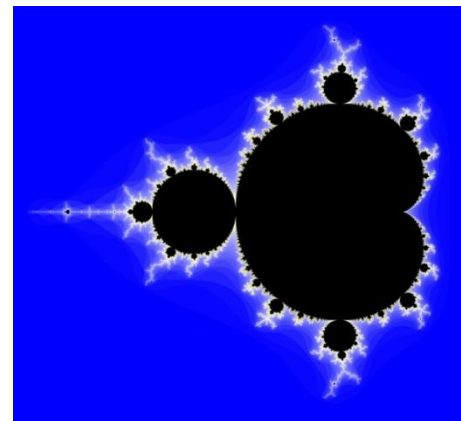
$$z \rightarrow z^2 + c$$

Znaka z in c pomenita “kompleksni števili”, znak \rightarrow pa “iteracijo”, tj. ponavljanje sámónanašajoče se “zanke”, s katero dobimo serijo števil $\{z_0, z_1, z_2, z_3 \dots\}$... (razlago gl.: M.U., *Daljna bližina neba*, str. 412-13).

Znani matematik **Roger Penrose** je zapisal, da je Mandelbrotova množica najbolj kompleksen matematični objekt.

Filozofsko VPRAŠANJE: Kako je mogoče, da tako preprosta formula porojeva neskončno kompleksnost?

ODKOD prihajajo vsi ti “kaotično” urejeni vzorci? Ali nastajajo iz pravila “spontano”? – Da, ampak sámó pravilo je zelo “fino uglašeno” za porojevanje kompleksnosti. – Odkod PRAVILO?



Mandelbrotova fraktalna množica (spodaj detajl): neskončna kompleksnost variacij sámopodobnosti izvira iz preprostega pravila: $z \rightarrow z^2 + c$.

Fraktalna struktura narave?

