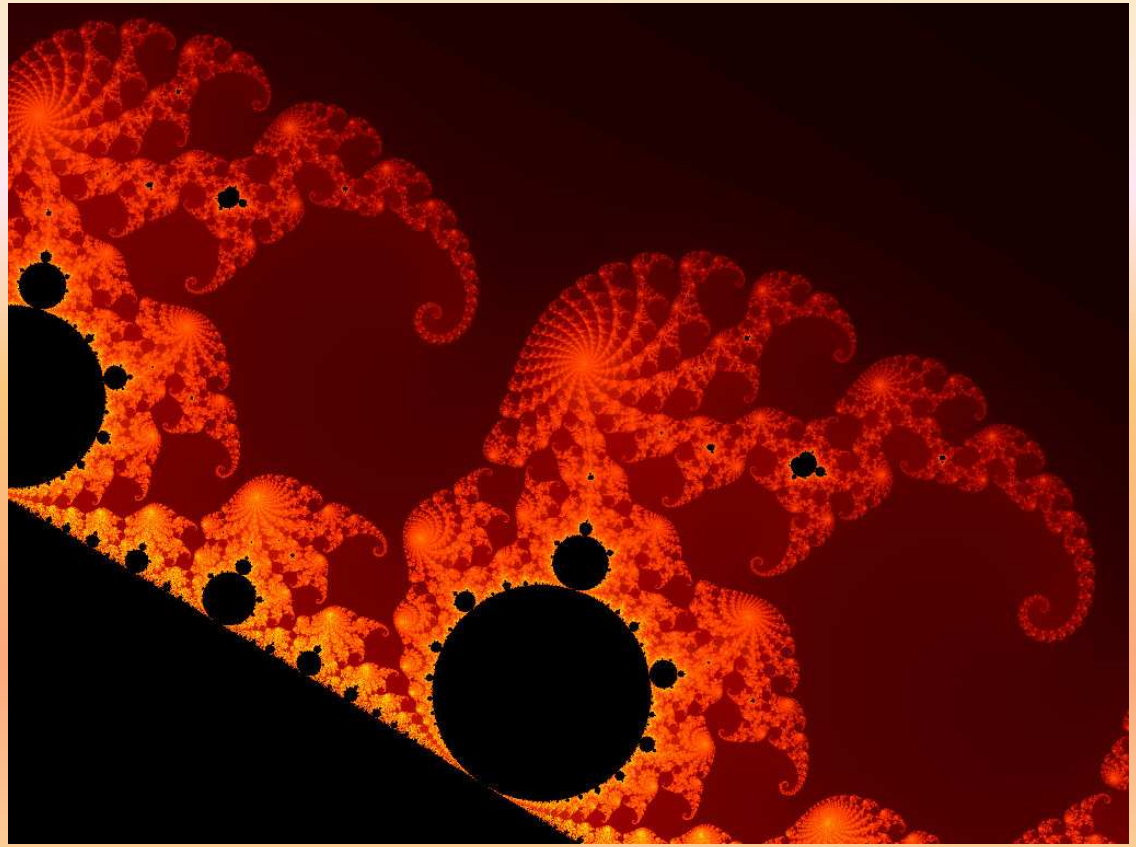
Teorije “kaosa” in kompleksnosti

(Sodobna kozmologija med fiziko in metafiziko, V. predavanje)



Marko Uršič, Filozofija narave, FF, 2010

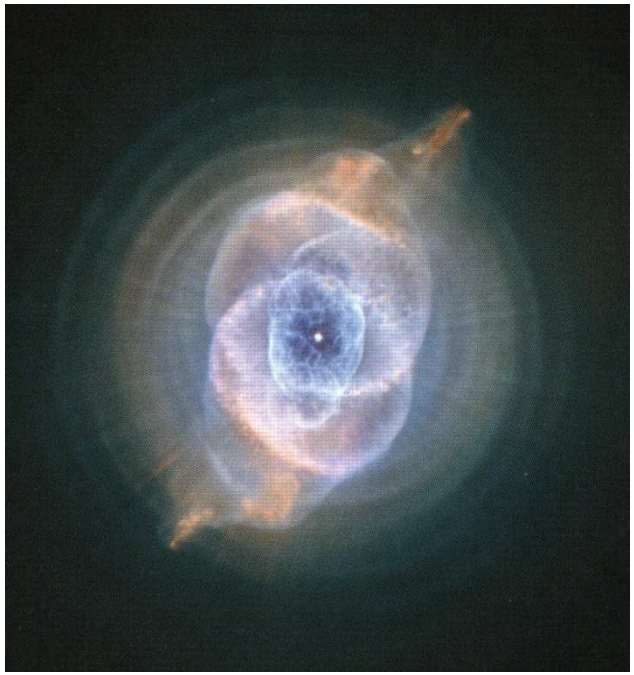
Ali obstajajo “spontane tendence”, “nagnjenja” <*propensities*>
pri nastajanju kompleksnih struktur “kozmosfere”?

Kako sodobne teorije kaosa, kompleksnosti in emergence prispevajo k možnosti novega kozmološkega panteizma (“tretje poti”)?

Gre za vprašanje, ali pa je tudi “neživa” narava v nekem globljem, nam še neznanem, a že od nekdaj slutenem pomenu vendarle *živa*, prežeta z *duhom*, imanentnim kozmičnim *logosom*, morda tudi z vesoljnim *télosom*?

To vprašanje lahko razčlenimo na tri podvprašanja:

1. Ali lahko nekaj “naravnega” *spontano* povzroči sámo-sebe?
2. Odkod izvira *kompleksnost* naravnih pojavov?
3. Če kompleksnost sledi iz enostavnih pravil, odkod izvirajo sama *pravila*?



“Mačje oko”, ena izmed
t. i. planetarnih meglic
(posnetek teleskopa *Hubble*)

“Nelinearni” red v navideznem neredu

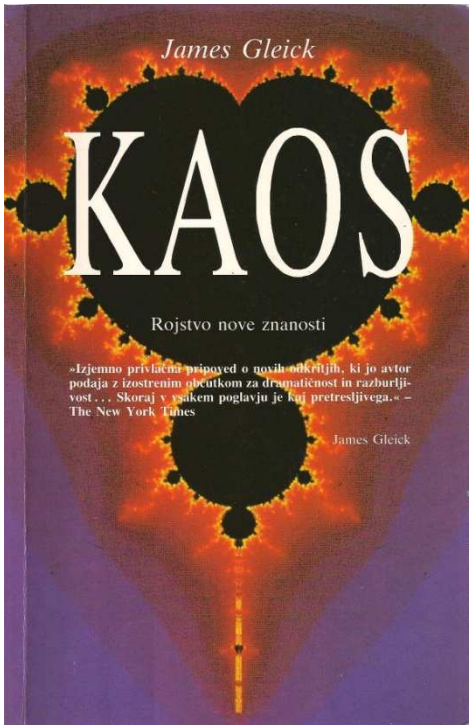
“Kaos” je skupna oznaka za razne “nelinearne” (aperiodične) kompleksnosti; za površinskim neredom se skriva globinski, matematično-fizikalni red.

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.)

Henri Poincaré
(1854-1912)

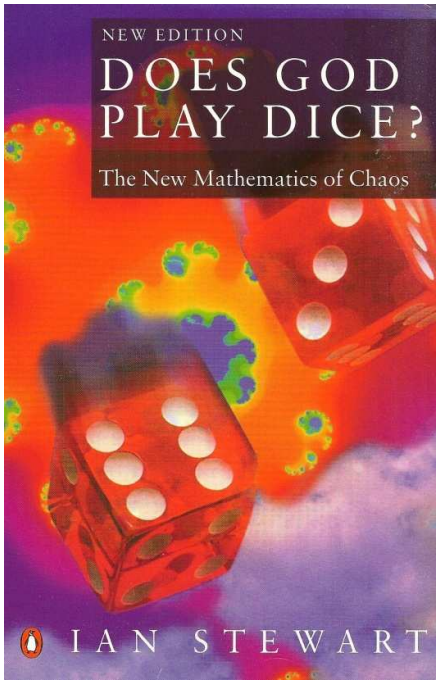
Red ali nered, determinizem ali naključje?

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.)
- "Težko si je zamisliti okoliščine, v katerih bi bil človek lahko absolutno gotov, da je realni svet 'zares' bolj naključen kakor deterministične 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).

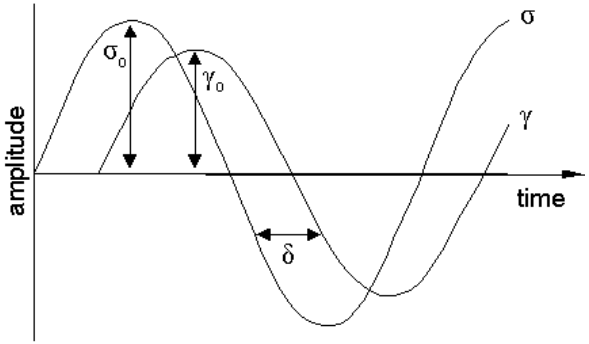


“Nelinearnost” oziroma neperiodičnost

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 ($\rightarrow$ 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 številk (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.



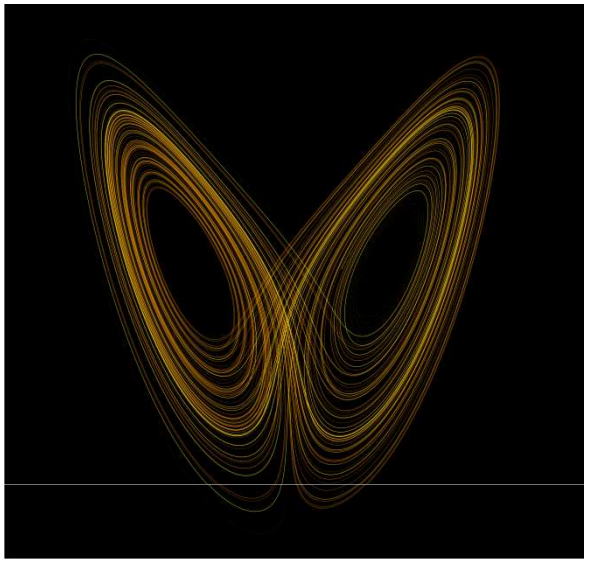
Lorenzov atraktor, primer “kaotične” (nelinearne, neperiodične) urejenosti

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 sámo-podobne na različnih stopnjah povečave vse do najmanjših detajlov (npr. skalnata obala ali snežinka).

Pravilo (“recept”) za konstrukcijo Mandelbrotove množice:

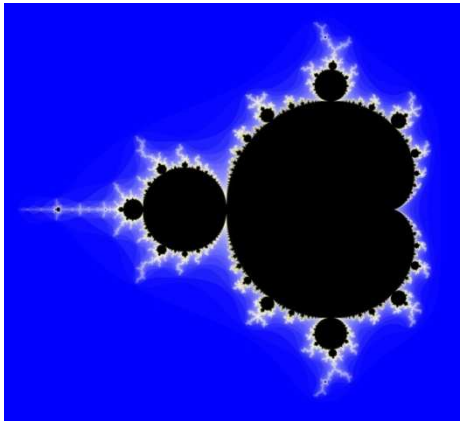
$$z \rightarrow z^2+c$$

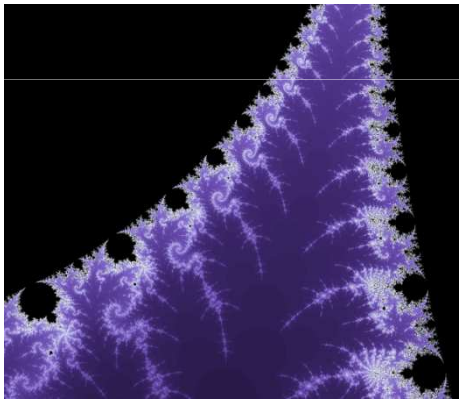
Znaka z in c pomenita “kompleksni števili”, znak $\rightarrow$ pa “iteracijo”, tj. ponavljanje sámonanašajoče se “zanke”, s katero dobimo serijo števil $\{z_0 , z_1 , z_2 , z_3 \ldots\}$ ... (razlago gl.: M.U., *Daljna bližina neba*, str. 412-13).

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?

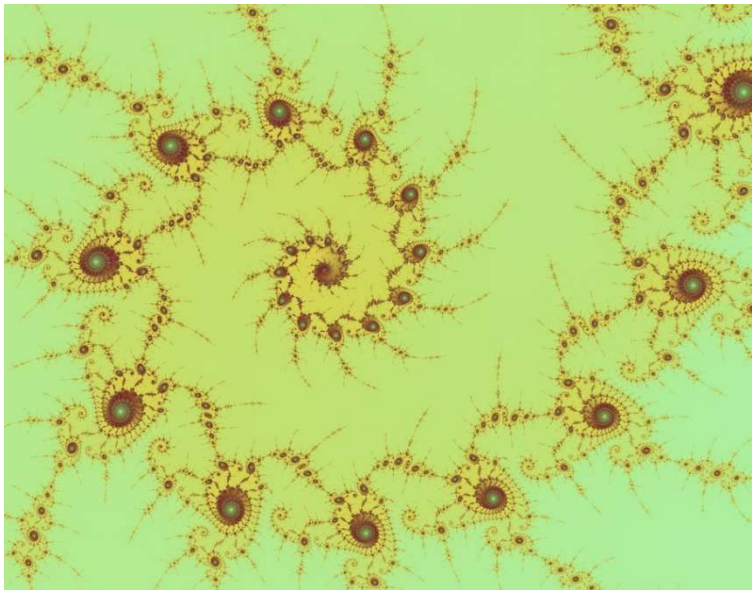
ODKOD prihajajo vsi ti “kaotično” urejeni vzorci? Ali nastajajo iz pravila “spontano”? – Da, ampak sámo pravilo je zelo “fino uglašeno” za porojevanje kompleksnosti. – Odkod PRAVILO?

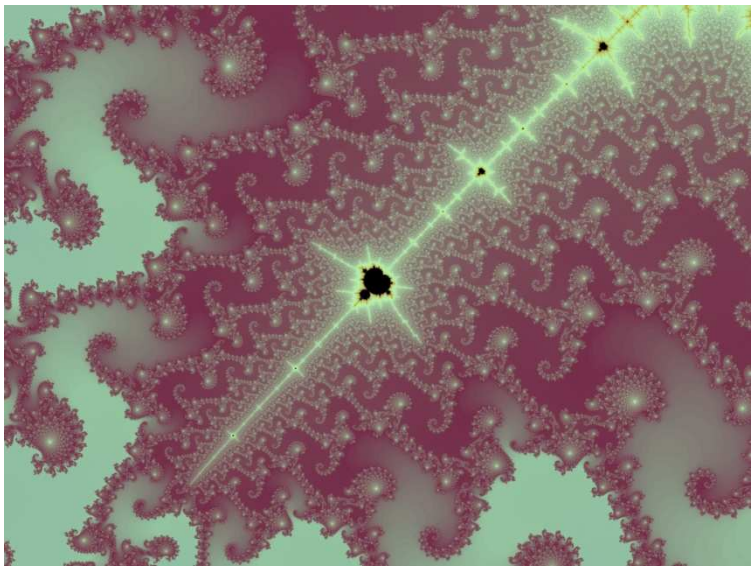


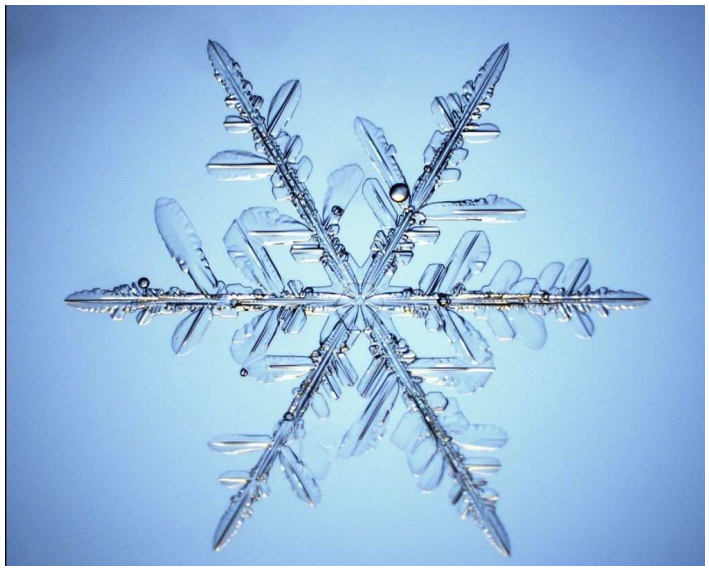


Mandelbrotova fraktalna množica (spodaj detajl): neskončna kompleksnost variacij sámo-podobnosti izvira iz preprostega pravila: $z \rightarrow z^2+c$.

Fraktalna struktura narave?







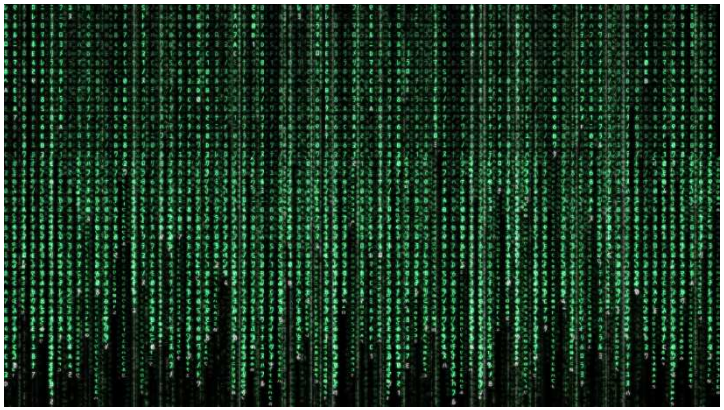
Definicije in teorije kompleksnosti

kompleksnost ni samo zapletenost, ampak tudi prepletenost = zapleteno-prepletena struktura (vzorec, red) elementov ali delov nekega sistema/sestava.

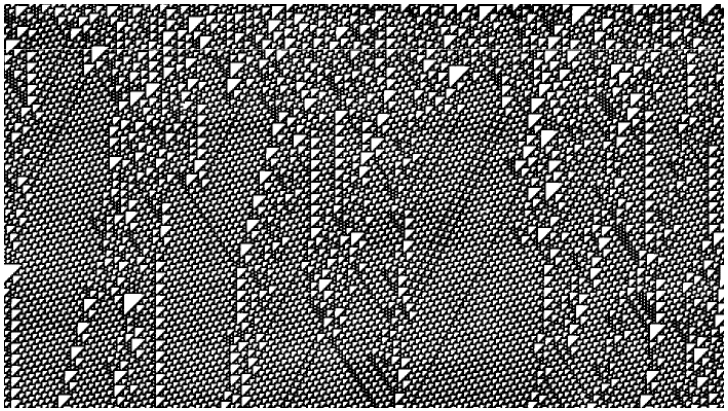
Warren Weaver (1948): “kompleksnost nekega sistema je stopnja težavnosti v predvidevanju lastnosti tega sistema, če so dane lastnosti njegovih delov.”

Andrej N. Kolmogorov (1965): kompleksnost nekega sistema/sestava je dolžina najkrajšega algoritma, s katerim ga lahko popolnoma določimo/opišemo.

Murray Gell-Mann (*The Quark and the Jaguar*, 1994): “efektivna kompleksnost” neke entitete je “dolžina natančnega opisa množice njenih pravilnosti.”– “Efektivna kompleksnost je lahko visoka samo v vmesni regiji med totalnim redom in popolnim neredom.”



prizor iz filma *Matrica*
(Larry in Andy Wachowski, 1999)



Stephen Wolfram: *A New Kind of Science* (2002), detajl iz neskončno kompleksnega grafa “celičnega avtomata” № 110 (gl. razlago: M.U., *Daljna bližina neba*, str. 430-38).