

Efekt motyla - przypadek czy konieczność ?

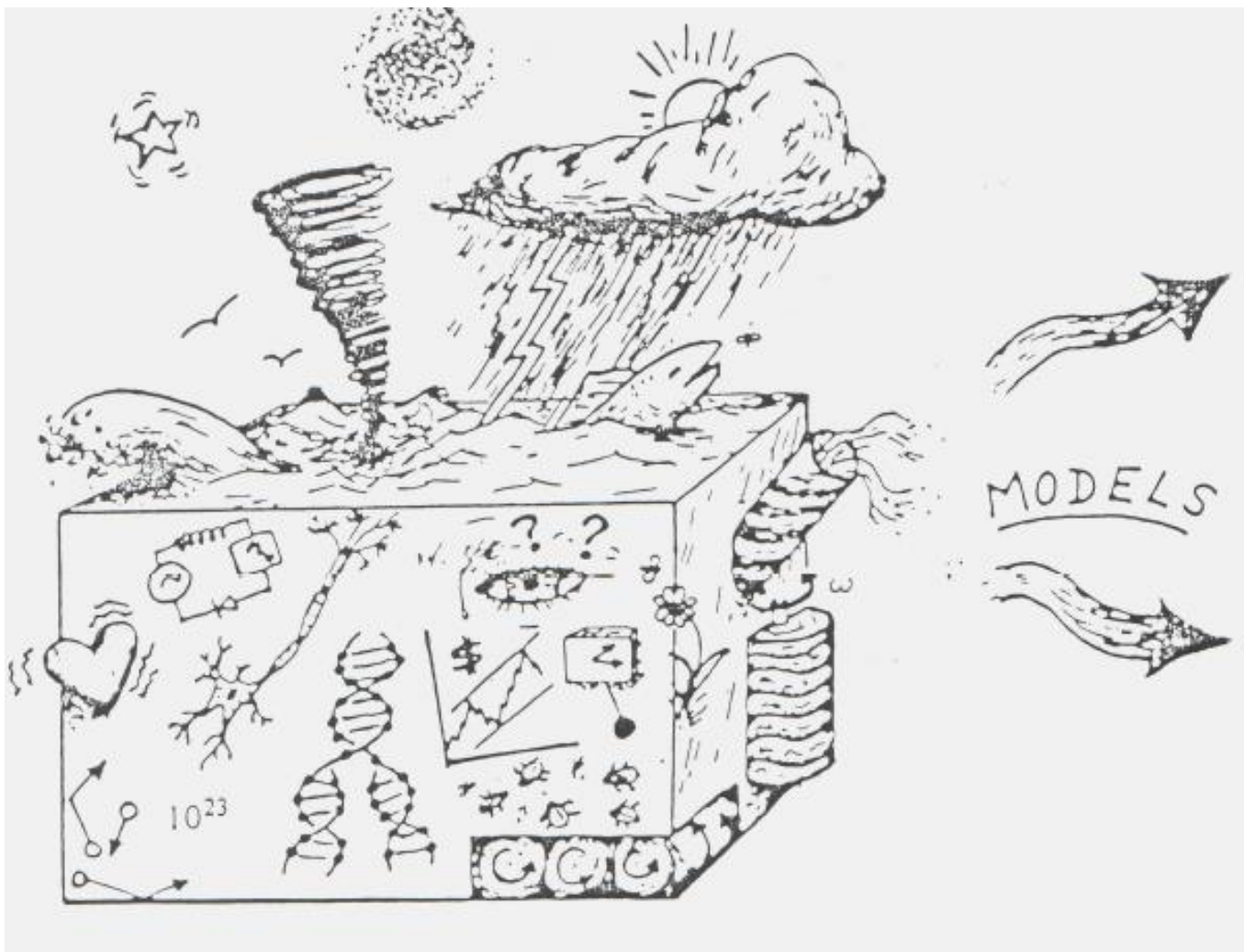
Piotr Garbaczewski (Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego)

Przeciwstawię pojęcie **nieprzewidywalności** pojęciu **konieczności** (jeśli Słońce wzeszło w wszystkie poranki mojego życia, to czy na pewno wszędzie również jutro ? - Pierre Simon Laplace XVIII w.)



Zainteresowania fizyka-teoretyka:

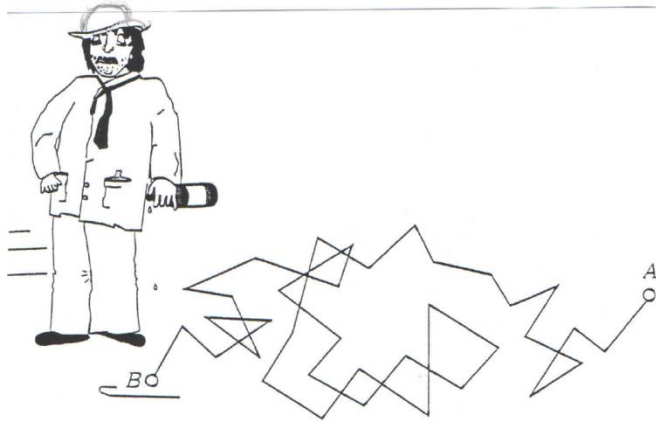
- (i) Tworzenie uproszczonych modeli zjawisk i analiza ich właściwości
- (ii) Testowanie poprawności modelu:
 - zgodność wyników obserwacji doświadczalnych z zasadami funkcjonowania modelu teoretycznego,
 - **prognozowanie** (przewidywanie) skutków skutków manipulacji badacza aparaturą pomiarową



Świat fizyka i jego (zapewne zbyt) dalekosiężne ambicje poznawcze:
jeśli Wszechświat jest odpowiedzią to jakie jest pytanie ?



Błądzić jest rzeczą ludzką – apologia i egzegeza pojęcia błędu



Co nazywamy błędem ?

- Pomyłka (życiowa lub np. rachunkowa)
- Błędna prognoza pogody
- Błąd w ocenie własnych możliwości (sport, sztuka)
- Mutacja w kodzie genetycznym
- Błąd w zapisie cyfrowym
- Błąd gramatyczny lub ortograficzny
- Błąd himalaisty
- Błąd zamierzony lub niezamierzony
- Odchylenie wyników pomiaru od przewidywań modelu teoretycznego
- Błąd pomiaru linii brzegowej Zjednoczonego Królestwa (UK)
- Błędne przekonania w historii nauki i ich przewyżnianie: Kepler (orbity eliptyczne planet) , Herschel (odkrycie Urana) , Einstein (precesja orbity Merkurego),



Unit = 200 km,
Length = 2400 km (approx.)



Unit = 100 km,
Length = 2800 km (approx.)



Unit = 50 km,
Length = 3400 km (approx.)

Czy zapisanie (zaokrąglenie w dół do) 15 zamiast 15,0000001 można uznać za błąd ?

15 zamiast 15.000001 albo 0.506 zamiast 0.506127. **Czy to ma znaczenie ?**
Efekt motyla jako skutek **wrażliwości** dynamiki procesu na **warunki początkowe**.



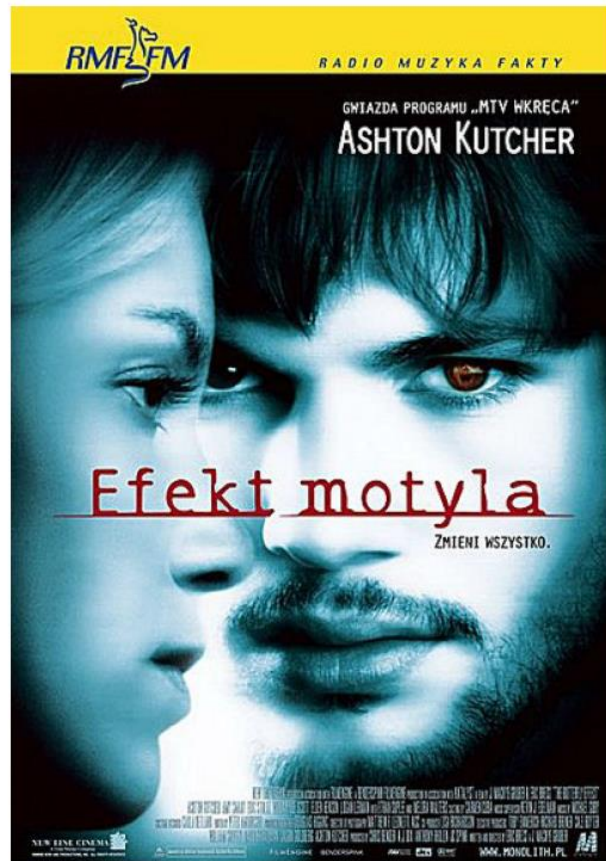
"Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?" (a)



Lorenz - Zart- Butterfly Effect.mj



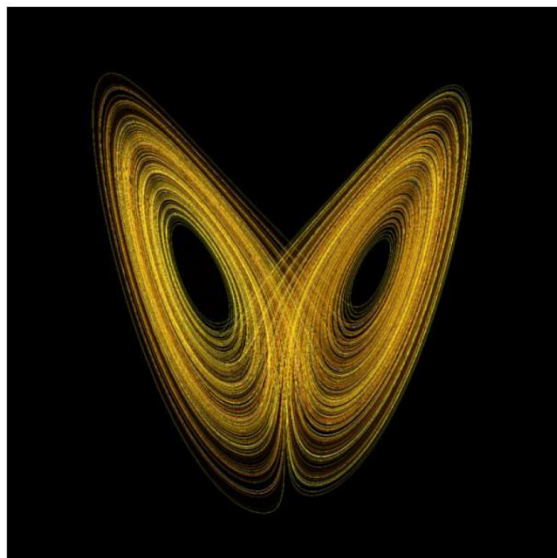
Lorenz - Czym jest efekt motyla.r



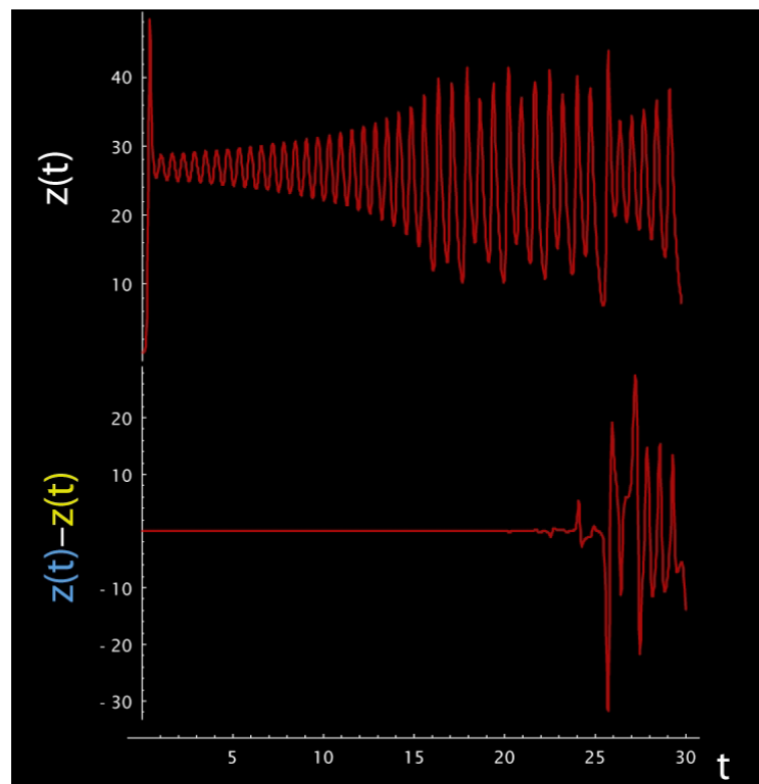
(a) Tytuł wykładu wygłoszonego przez Lorenza na do-
rocznym spotkaniu Amerykań-
skiego Towarzystwa Postępu
Nauki (the American Associa-
tion for the Advancement of
Science) w Waszyngtonie 29
grudnia 1972 roku.



Słowo klucz - **atraktor**



Czułość na warunki początkowe dla atraktora Lorentza



Różnica w warunkach początkowych wynosi 0.00001 tylko dla współrzędnej x .



Lorenz.exe

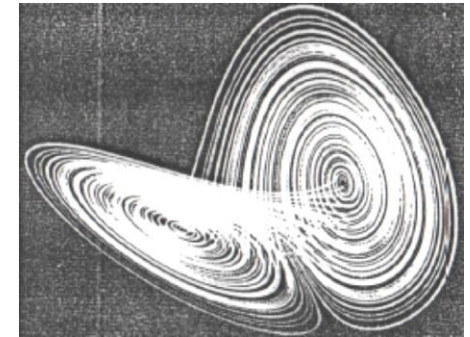


Edward Norton Lorenz (23.5.1917 - 16.4.2008)

$$\dot{X} = -\sigma X + \sigma Y,$$

$$\dot{Y} = -X \cdot Z + rX - Y,$$

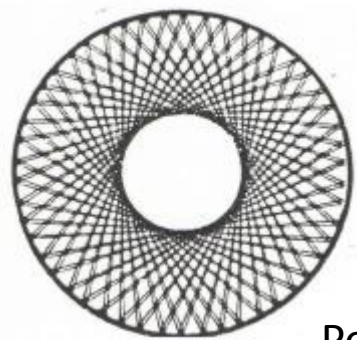
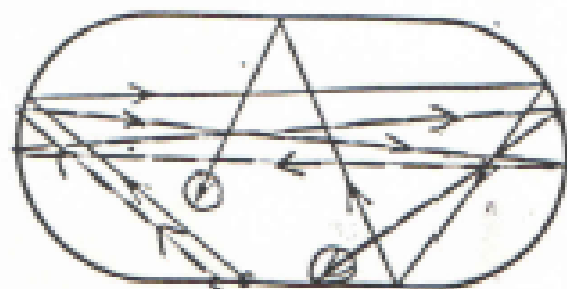
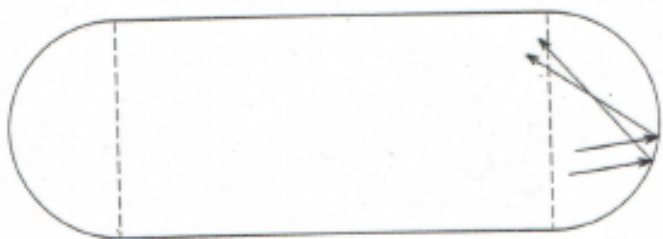
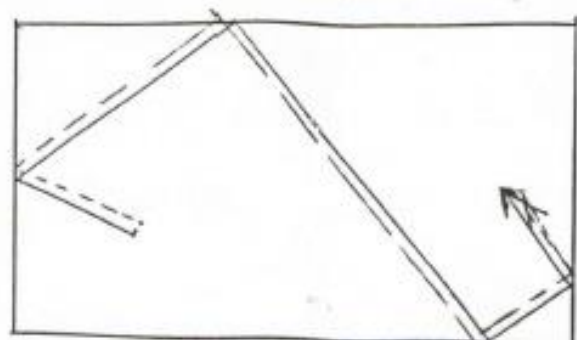
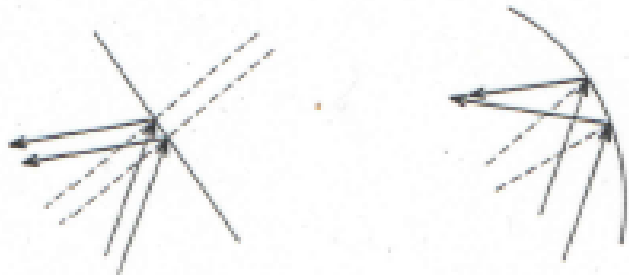
$$\dot{Z} = X \cdot Y - bZ,$$



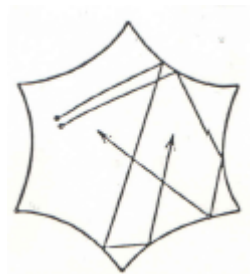
"Jeśli obecne rezultaty dotyczące niestabilności nieperiodycznego przepływu zastosować do atmosfery, to wskazują one, że przewidywania dla dostatecznie odległej przyszłości są niemożliwe, chyba że obecne warunki są znane dokładnie. W związku z nieuniknioną niedokładnością i niekompletnością obserwacji pogodowych, trafne długoterminowe prognozy wydają się nie istnieć."



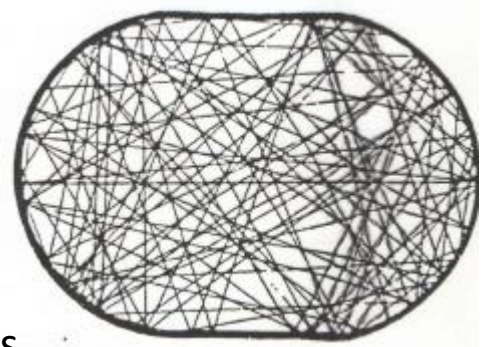
Wrażliwość na warunki początkowe: bilard inaczej niż w TV



Porządek



Chaos



Czy w ogóle możemy coś przewidywać? Słowa klucze: **niestabilność** i **nieokresowość**. Nieokresowość to także synonim **nieregularności**. By precyzyjnie prognozować musimy mieć do czynienia z zjawiskami regularnymi, powtarzalnymi. I ponadto stabilnymi!

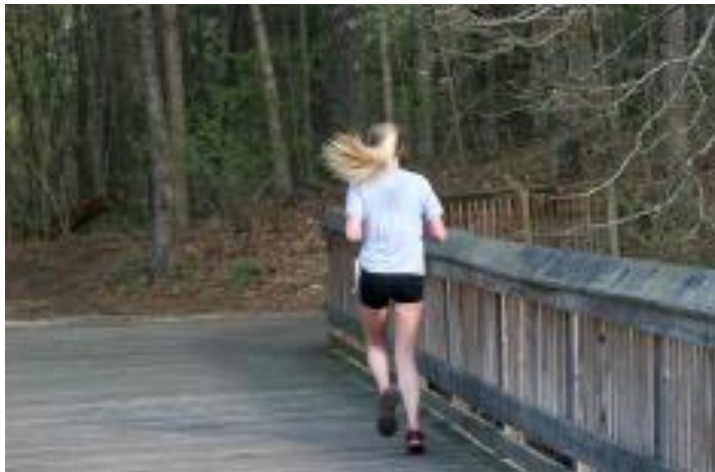
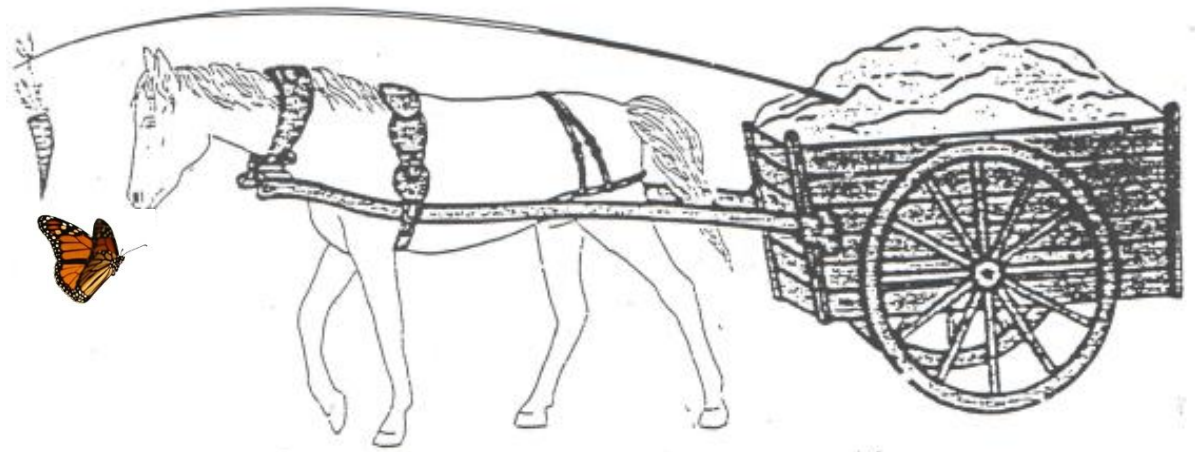
Trochę o (nie)stabilności



Metafora poszukiwania szczęścia we dwoje



(Nie)stabilność, c.d.



Co ma kucyk (koński ogon) biegaczki do
głodnego (!) kuczka zaprzęzonego w
dwukótkę ?



(nie)stabilność c.d.

Domek z kart - odsyłacz do serialu „House of Cards” oraz filmu „Domek z kart”

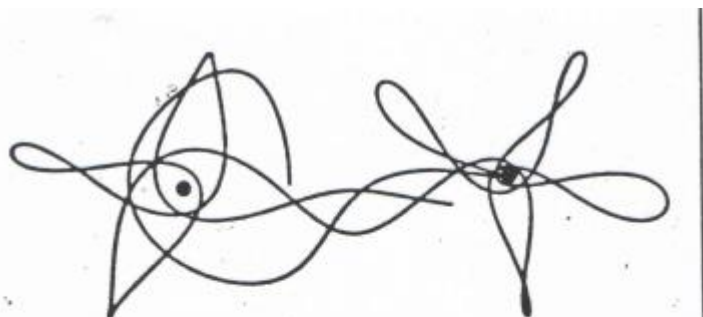


Regularność (powtarzalność) a nieregularność (nieokresowość, niepowtarzalność)

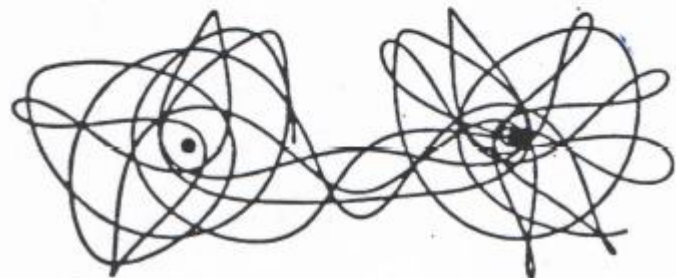
Konieczność –zaćmienie Słońca



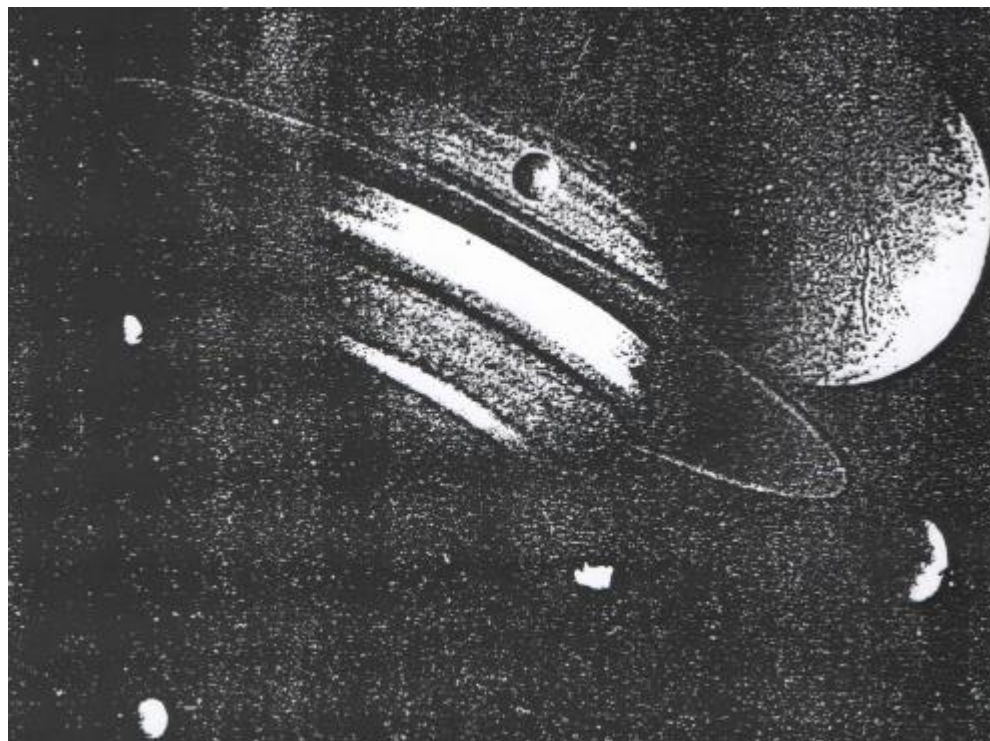
zacmienie_10fps.mp4



Czy przypadkiem Księżyc nie jest tam, gdzie nikt g
w tej chwili nie szuka ?

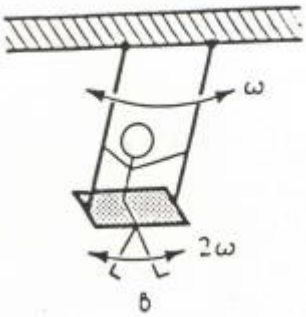


Nieregularność = **nieprzewidywalność**



Złożoność ruchu trzech ciał: cząsteczka kurzu okrąży dwie nieruchome planety
o jednakowej masie

Obowiązują prawa ruchu Newtona-Keplera !!!



Wahadło - Péndulo de pintura.mp4

Ruchy okresowy (regularny)

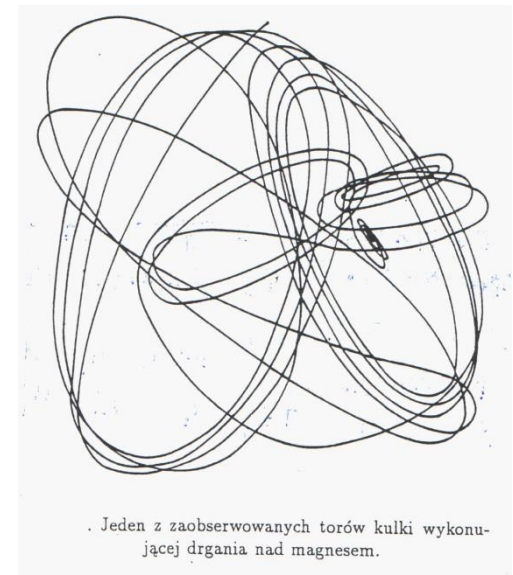
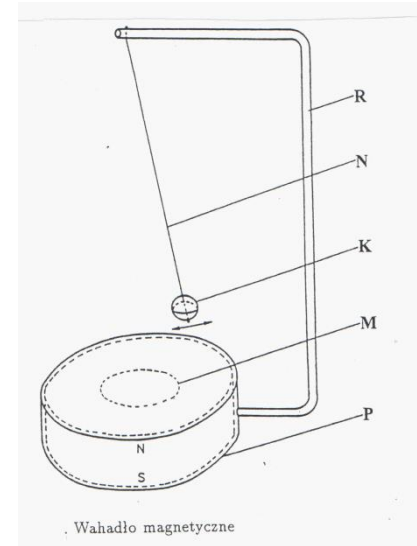
Ruchy z pozoru okresowe- **nieregularne**

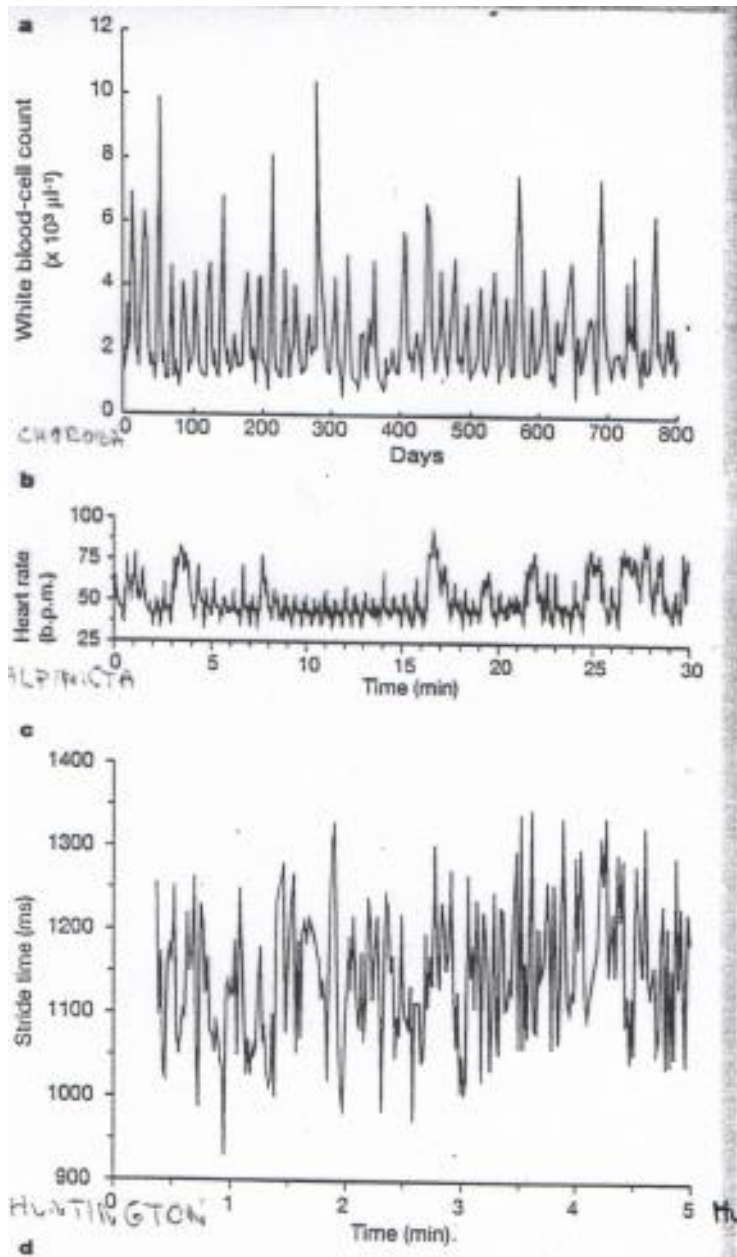


Wahadło- Double Pendulum Chaos Light Writing (computer simulation) 1.mp4



Wahadło Magnetyczne.mp4





Niezbyt okresowe
rytmy życia

Harmonia hałasu ?

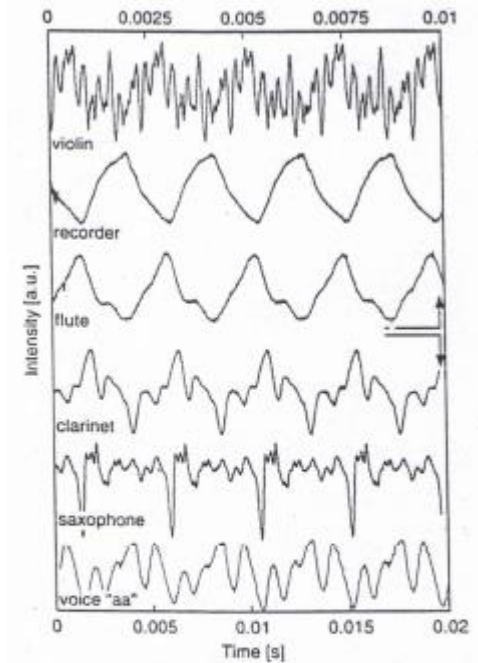
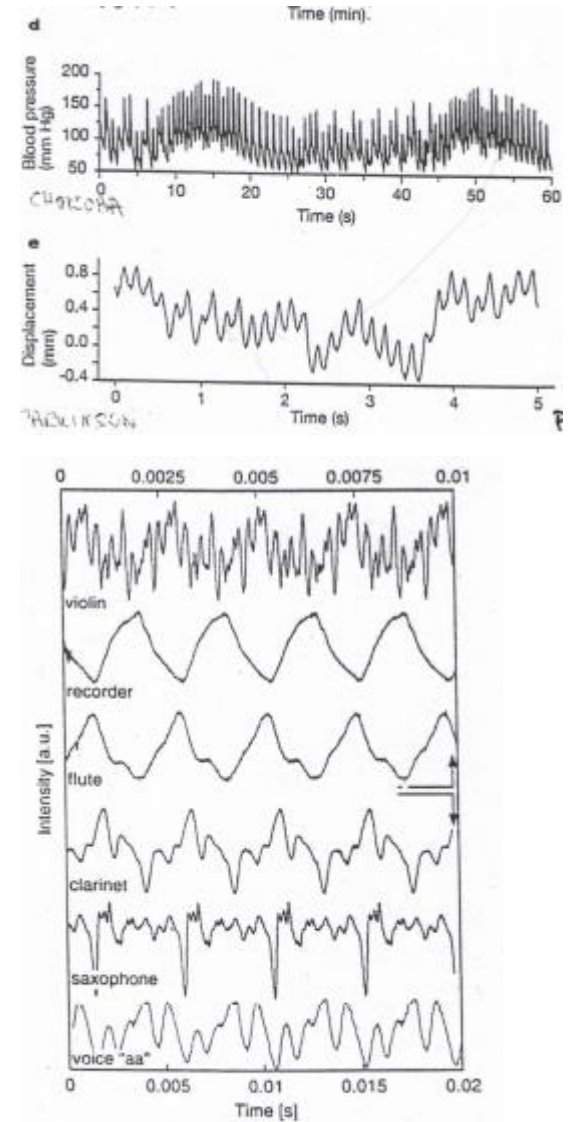
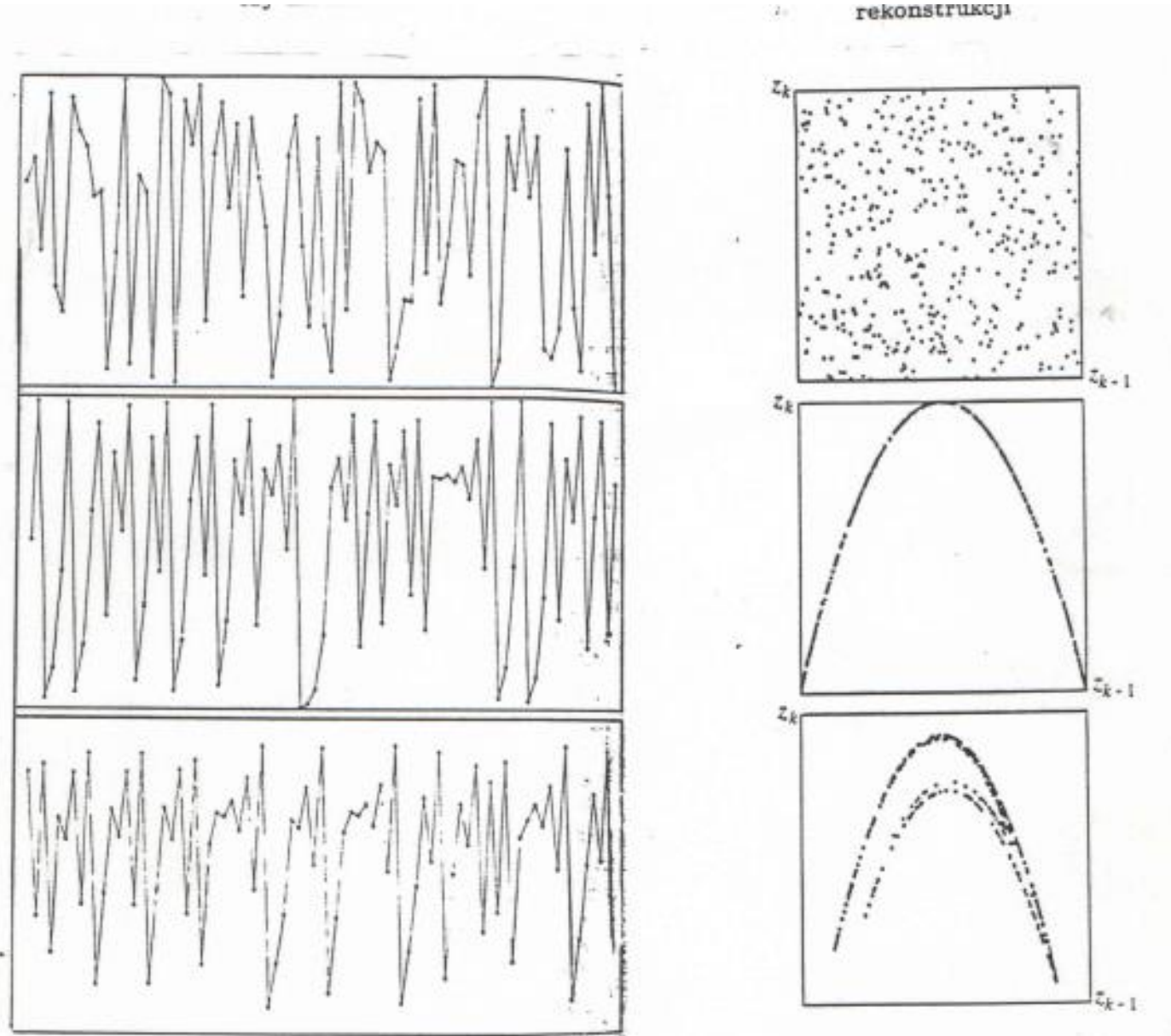


Figure 5. Waveform of a violin, recorder, flute, clarinet, saxophone and of the author singing the french vowel 'aa' (as in sat) (A_4 , 440 Hz for the former and A_3 , 220 Hz for the latter three instruments, at mf sound level). The timescale of the upper waveforms has been divided by two with respect to the lower waveforms.

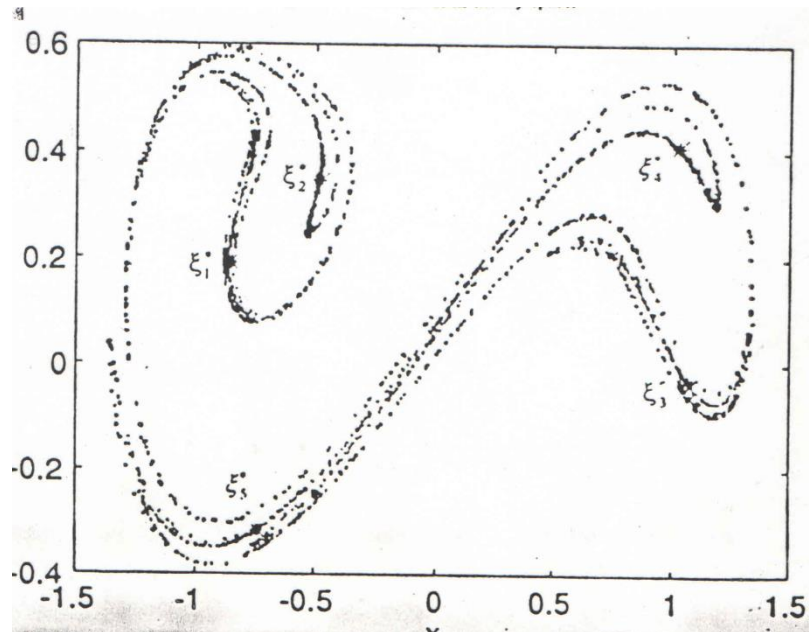
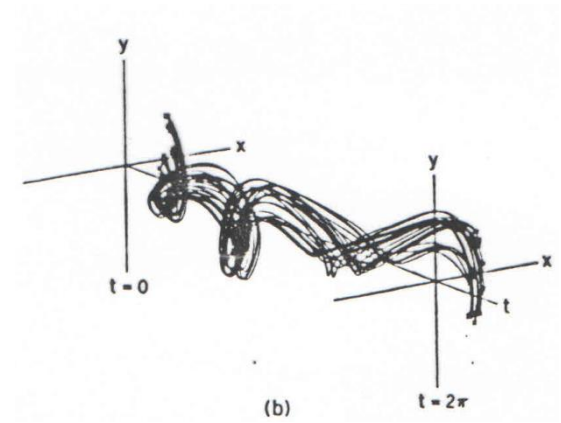
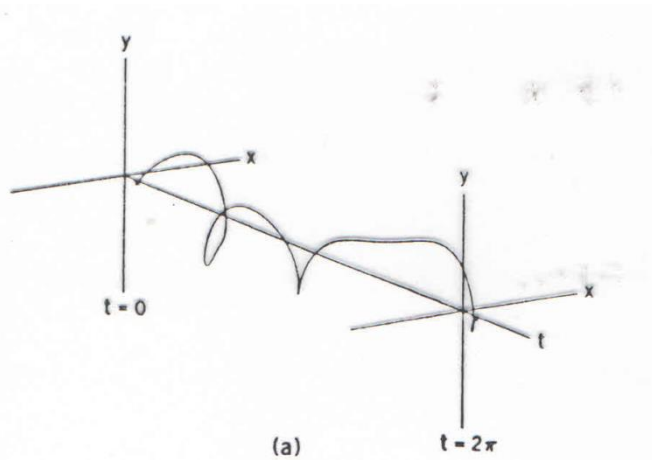


Pozorna okresowość – **wydobywanie porządku** (prawa dynamiki/Natury ?)





Dynamika nieokresowa i nieoczekiwany porządek (atraktor Ikedy)





Estetyka porządku (atraktora) w dynamice a priori nieprzewidywalnej (chaos)

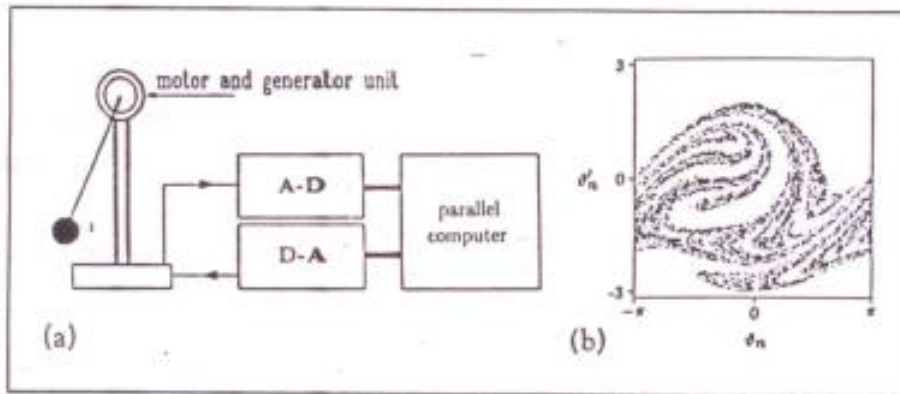
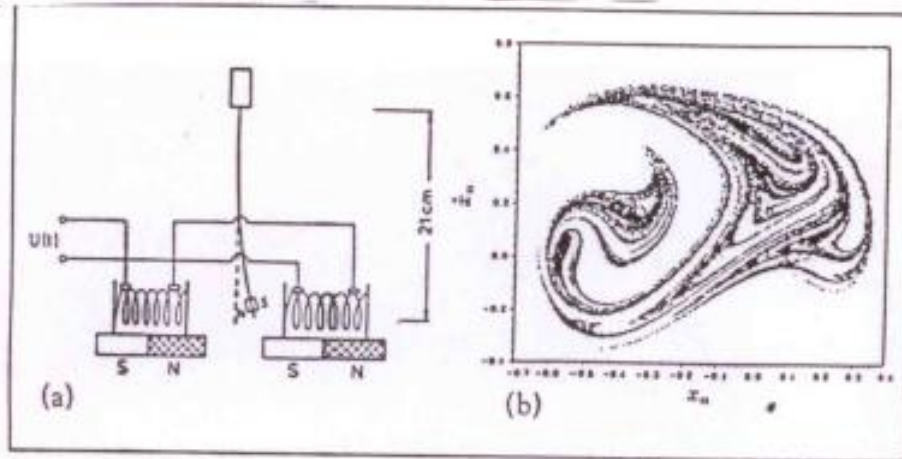
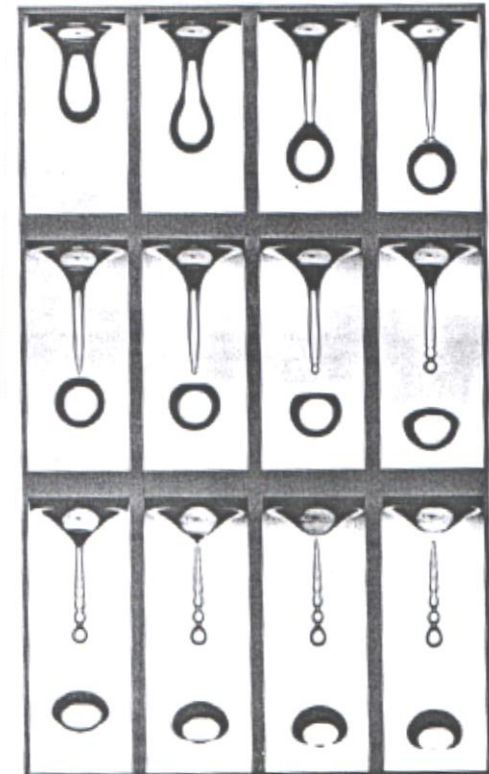
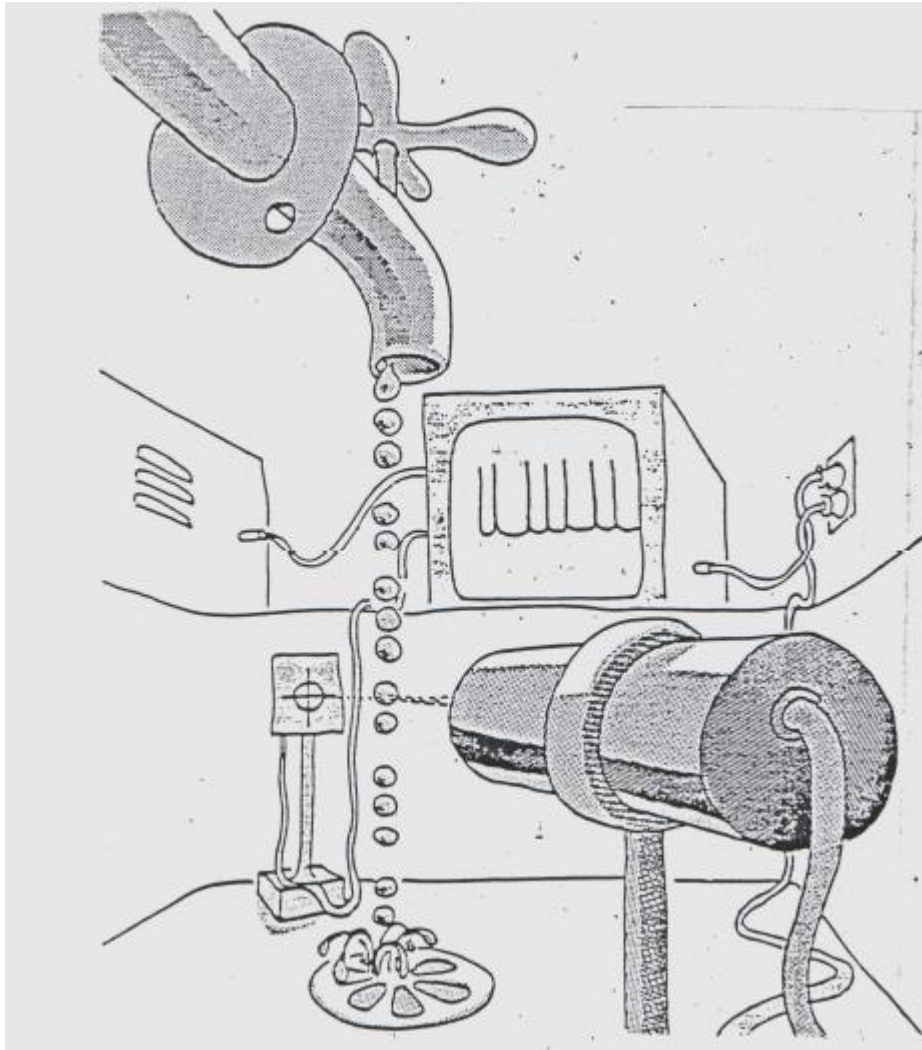


Figure 5.23 The experimental forced damped pendulum. (a) The experimental setup shows an electric motor at the pivot, controlled by the computer via the digital-analog converter, provides the periodic forcing. (b) A plot of $(\theta, \dot{\theta})$ done in time increments of length 1.2 seconds, the period of the forcing torque at the pivot.

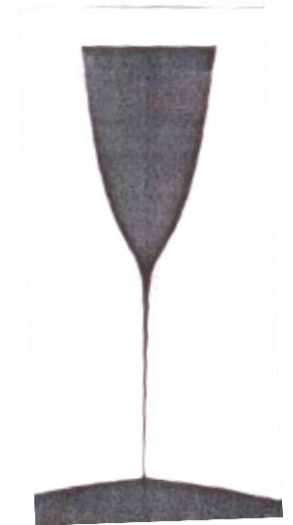
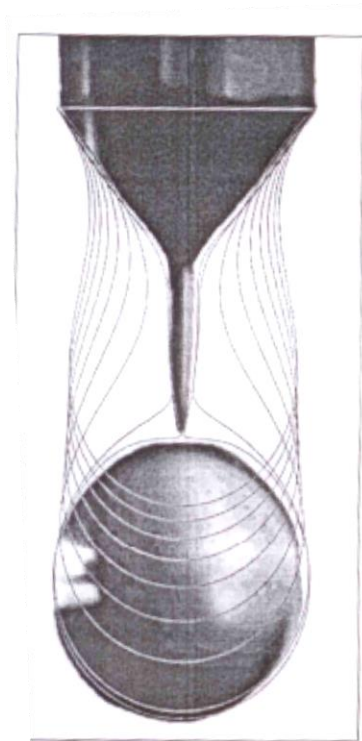
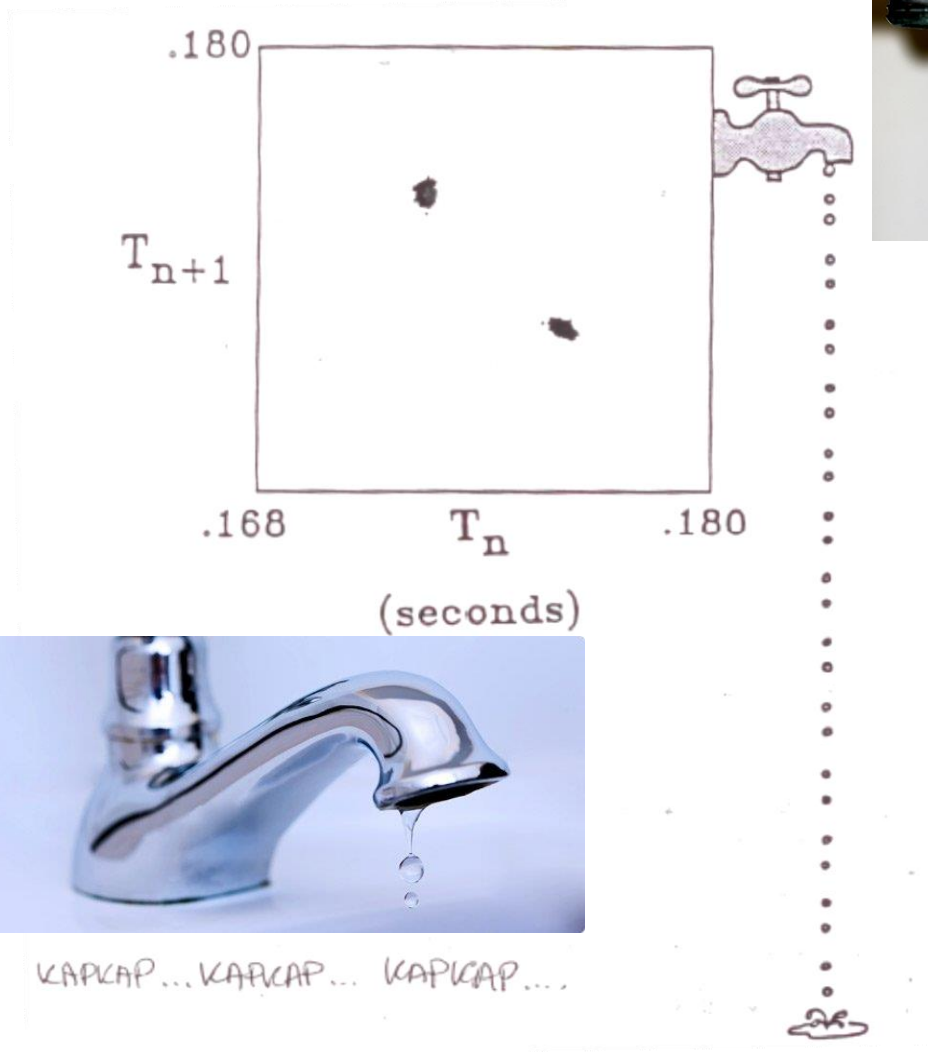
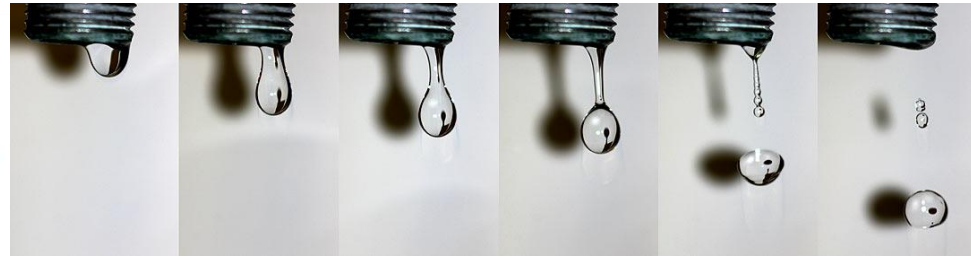


Czy ciekący kran jest urządzeniem w pełni przewidywalnym ? „Chińska tortura” w pokoju pracy doktoranta Uniwersytetu Santa Cruz- 1984



Kaskada bifurkacyjna 2, 4, 8...
(podwajania okresu) i **chaos**

Okres dwa – krople pojawiają się parami





How A Dripping Faucet Can Lead To Chaos

- After each drop, the water at the tip oscillates
- These oscillations affect the initial conditions of the next drop
- As flow rate increases, these variations in initial conditions become significant and lead to chaos



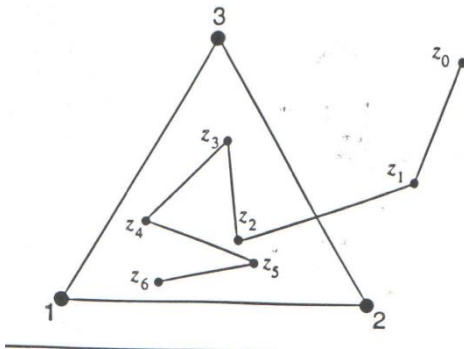
Droga do chaosu w ciekącym kranie. Po oderwaniu kropli resztką wody oscyluje.

To zmienia **warunki początkowe** dla następnej kropli.

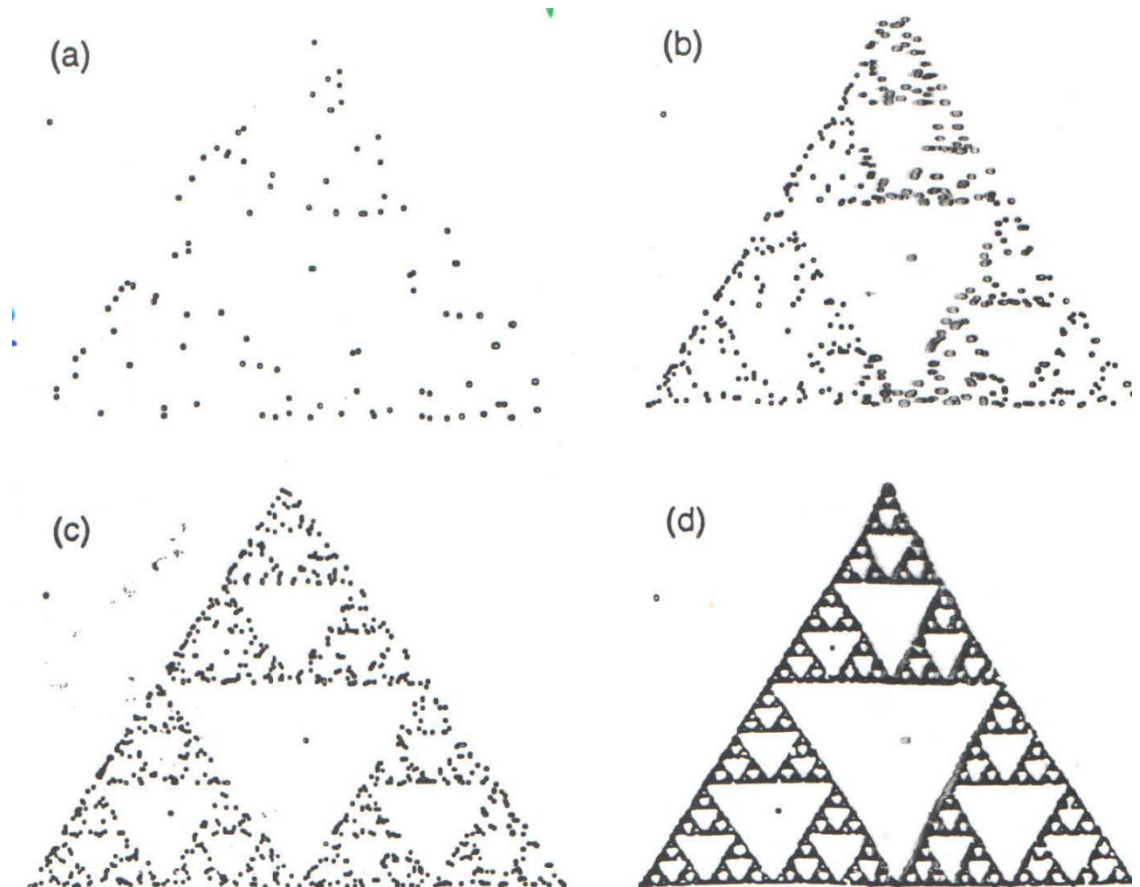
Z wzrostem natężenia strumienia wody, te małe drgania stają się znaczące dla procesu tworzenia kropli (efekty rezonansowe znikają) co **prowadzi do globalnego nieporządku (werbel losowo uderzających kropli)**



Chaos sound - A 'water fugue' from the faucet.mp4



Gra losowa z ściśle określonymi regułami „wędrówki” – **algorytm !!!**

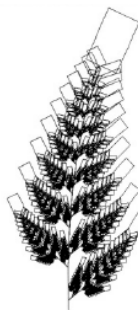
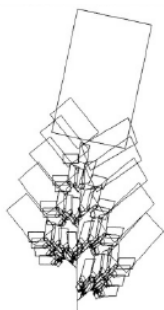
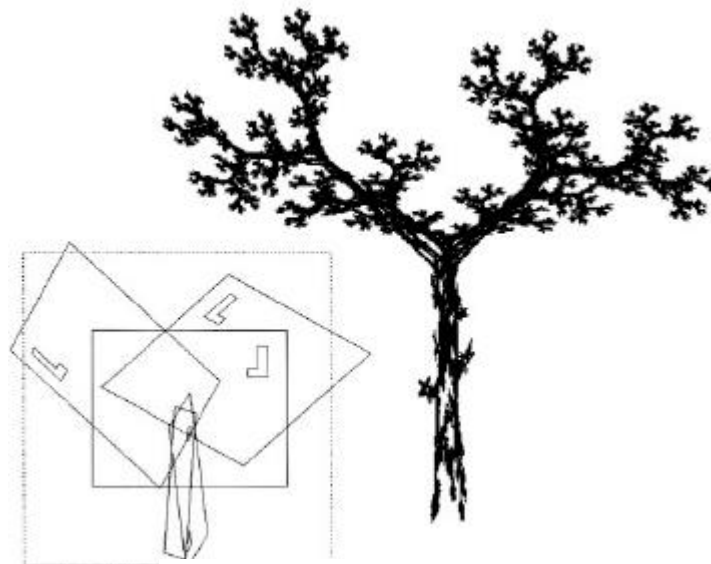


Oto po czym „wędrujemy” - **atraktorem jest (niemal) fraktal Sierpińskiego: co jest tutaj przewidywalne ?**

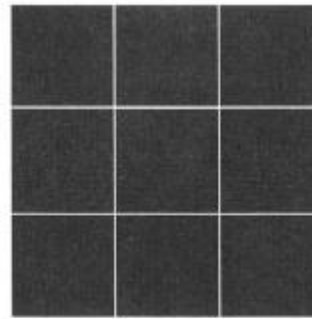
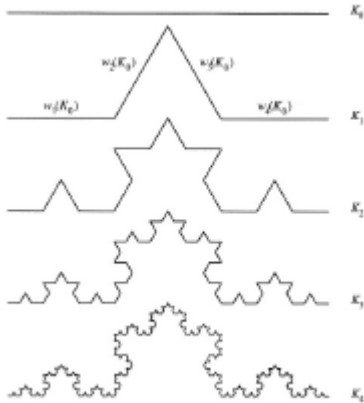
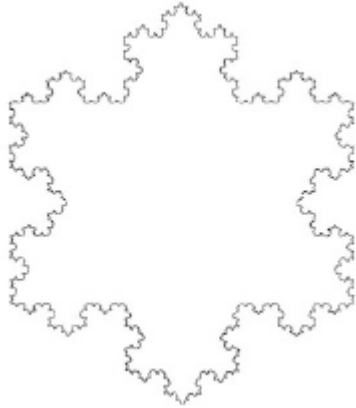
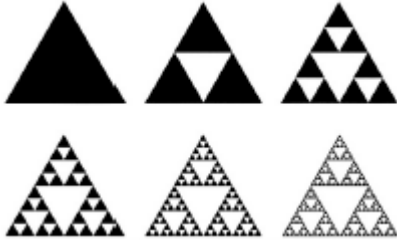


Algorytmiczne gry losowe

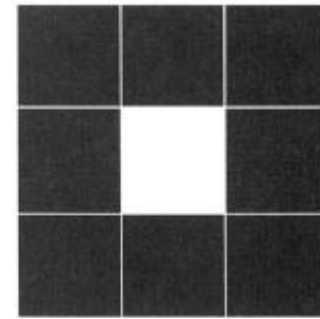
Liść paproci to **atraktor** gry !



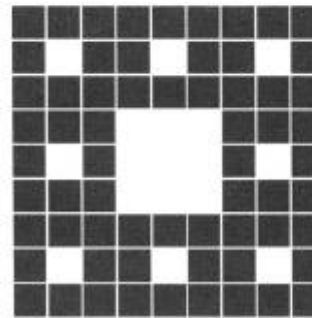
Algorytmy deterministyczne



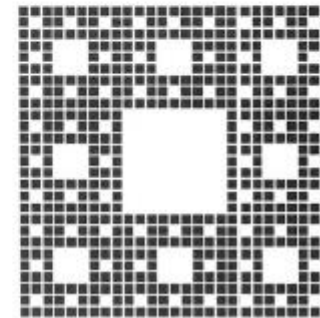
step 0



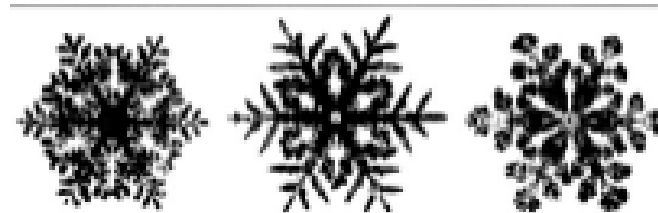
step 1



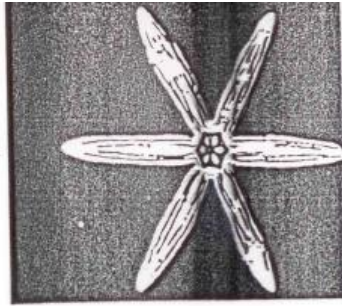
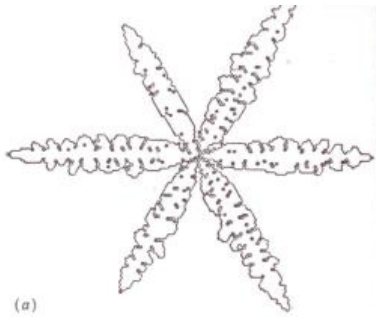
step 2



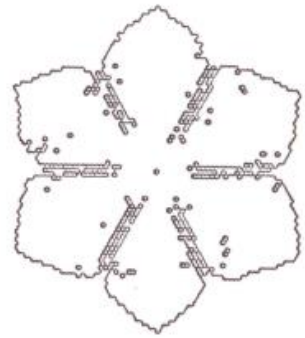
step 3



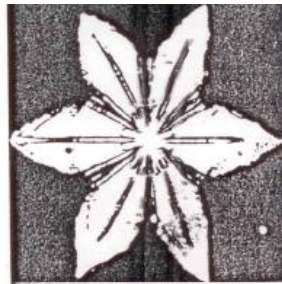
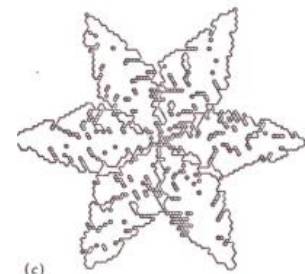
Algorytmiczne płatki śniegu



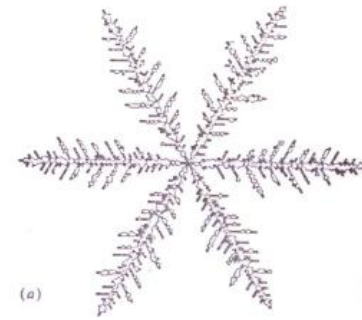
(a)



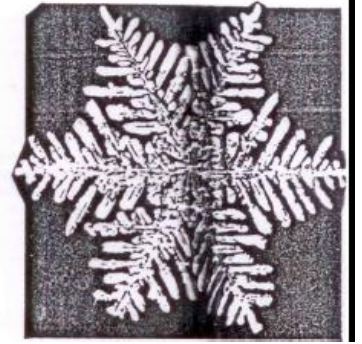
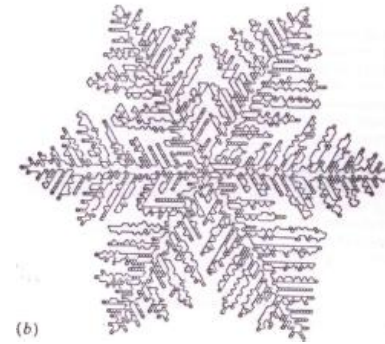
(b)



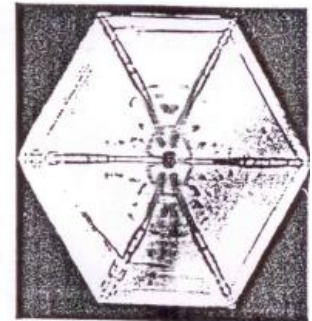
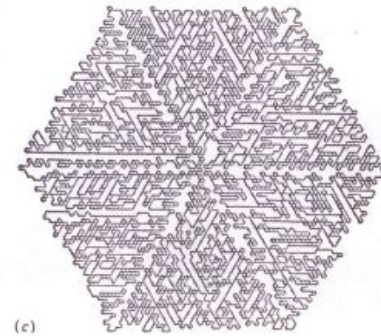
(c)



(a)



(b)

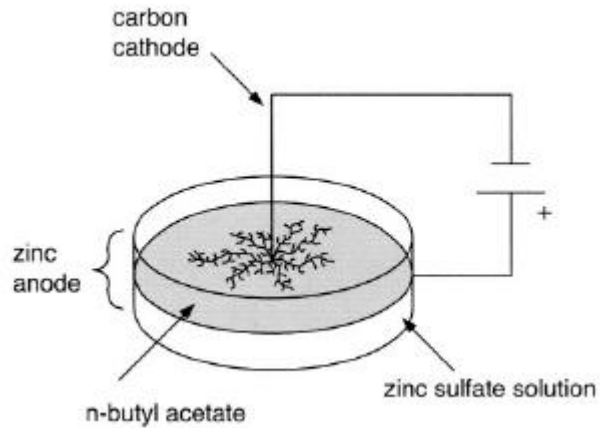


(c)

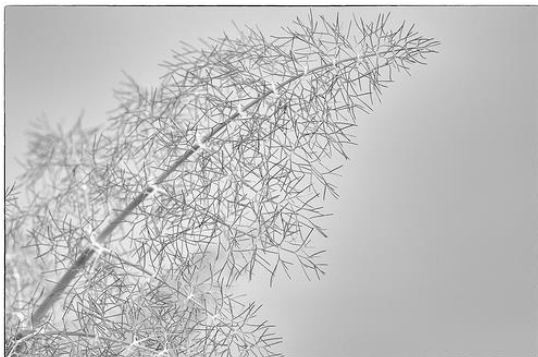
Płatki śniegu: **algorytm** i „au naturel”

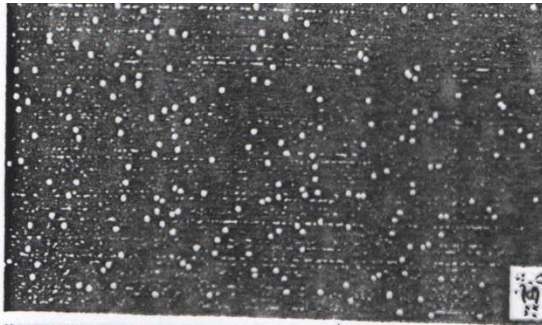
Procesy wzrostu: **algorytm** i „au naturel”

Procesy wzrostu na płytce Petri'ego (przewidywalne ?)



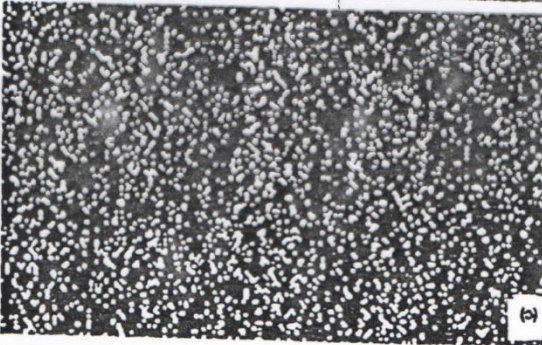
Procesy wzrostu w Naturze (przewidywalne ?)





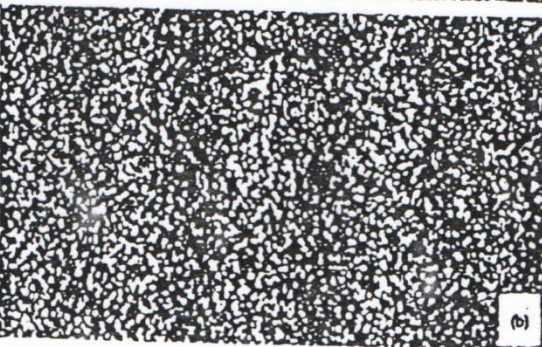
100

Jeśli to gra losowa, to jakie prawa (Natury) nią rządzą ?

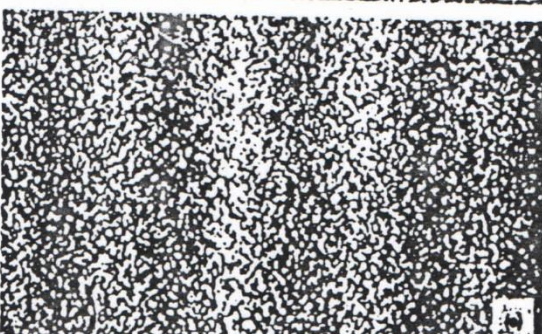


3.000

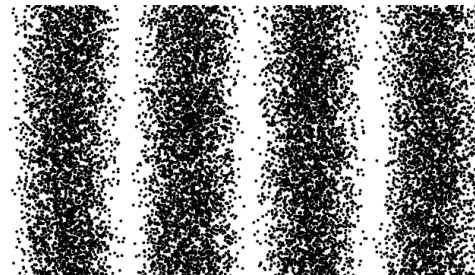
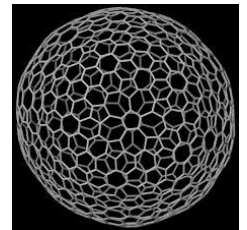
Odpowiedź: kanoniczne doświadczenie potwierdzające matematyczne **reguły gry** w teorii fizycznej nazywanej **mechaniką kwantową**: **interferencja** - fotonów, elektronów, neutronów, atomów, dużych molekuł (jak fullereny czy fragmenty DNA)



50.000



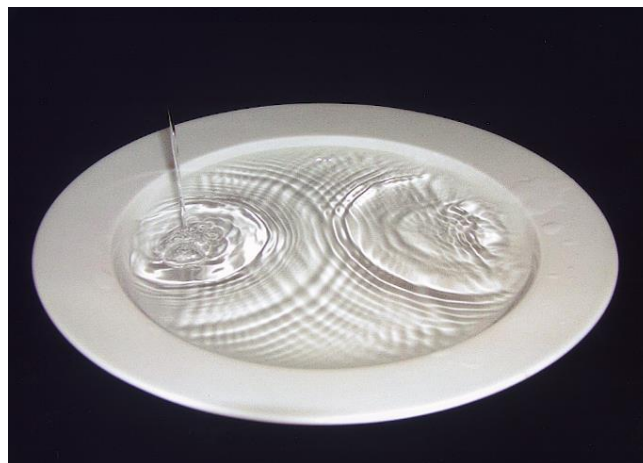
70.000



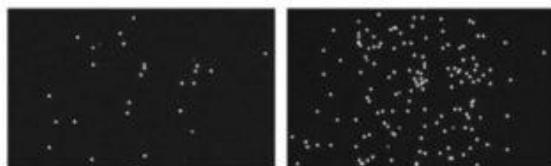
Interferencja dla niewtajemniczonych: fale - klasycznie i kwantowo



Fale na wodzie

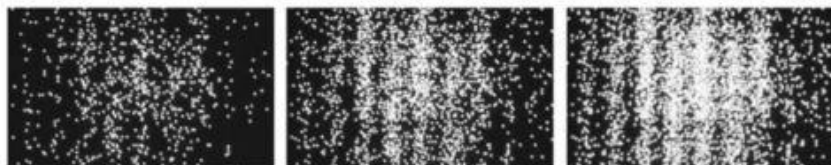


Fotony i elektrony



(a)

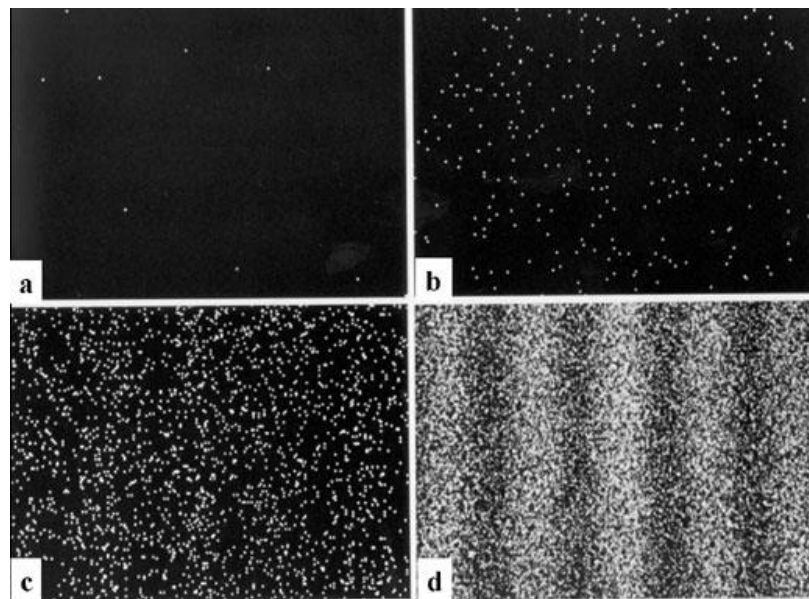
(b)



(c)

(d)

(e)



a

b

c

d

Wodny świat: współistnienie chaosu i porządku (fale i zmarszczki)

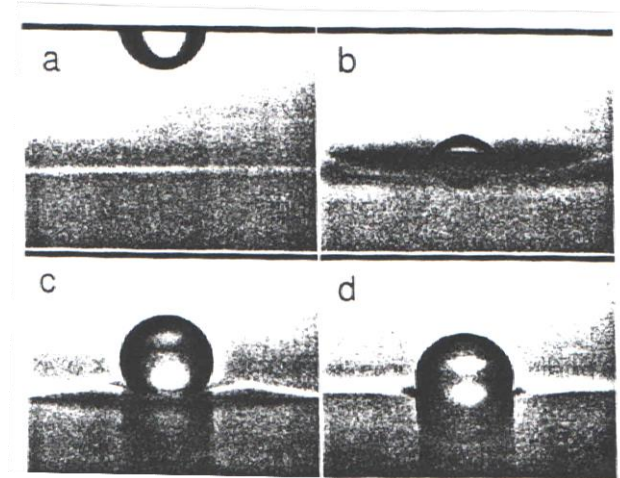
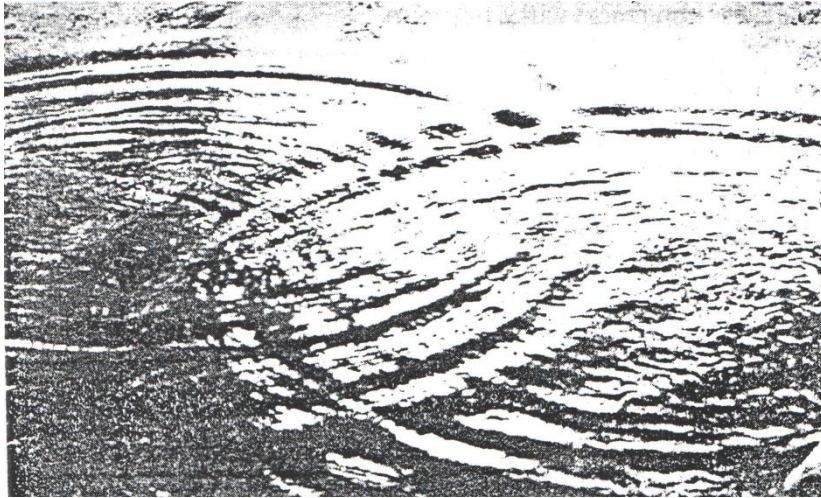
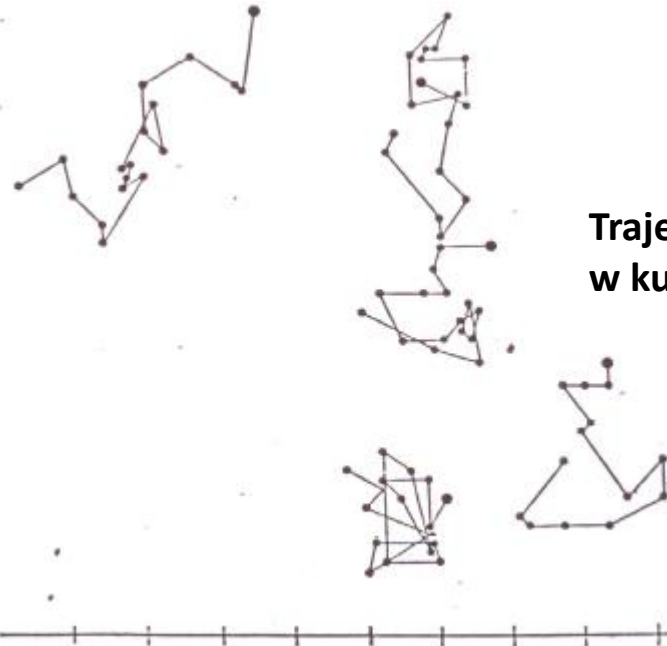
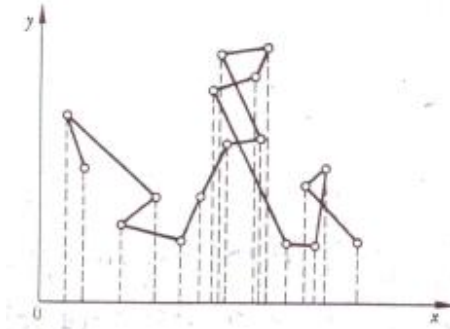
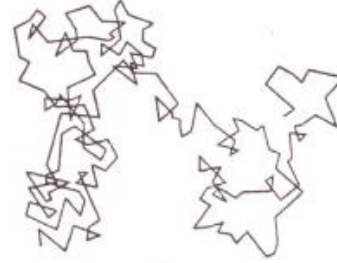
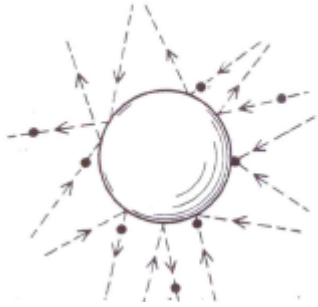
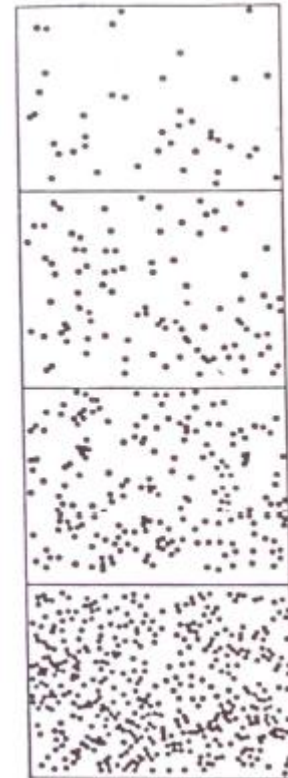


Figure 1. The orbits of surface particles in a deep water wave. The particles move from ● to ■ as the wave moves from the full curve to the broken curve.

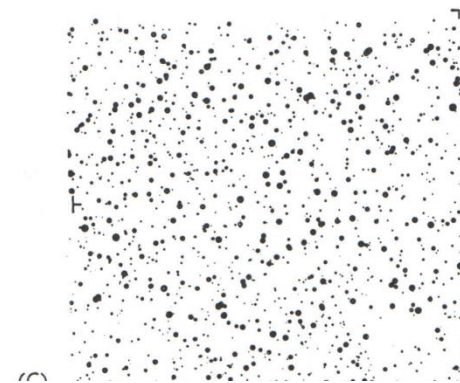
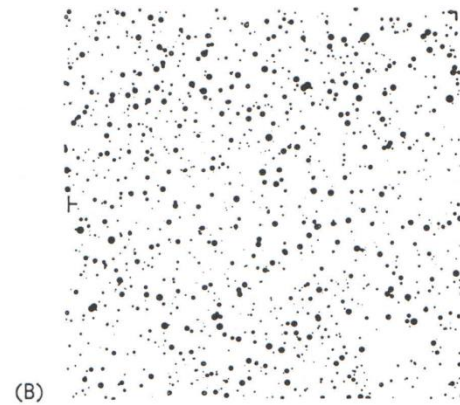
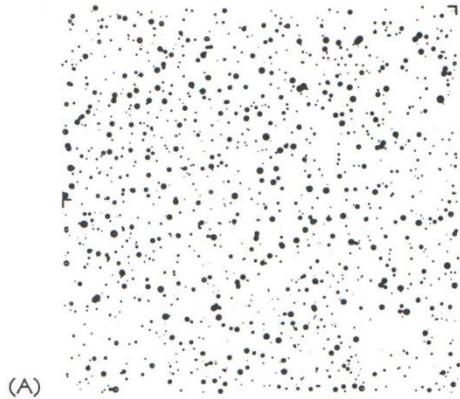
Drobiny zawiesiny w wodzie: co się z nimi dzieje ? **Losowość i nielosowy porządek**



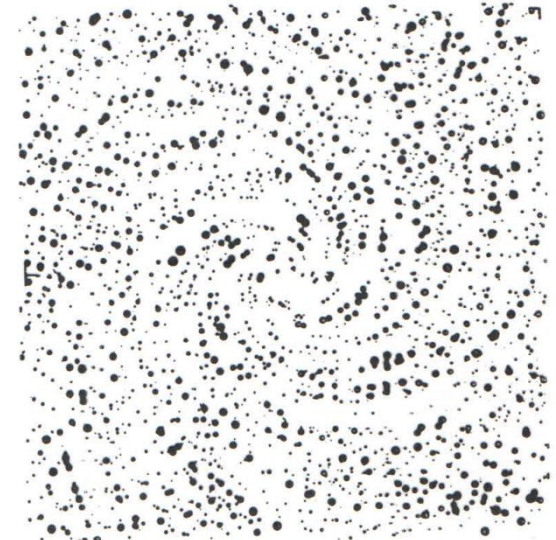
**Trajektorie drobin
w kuwecie z barwnikiem**



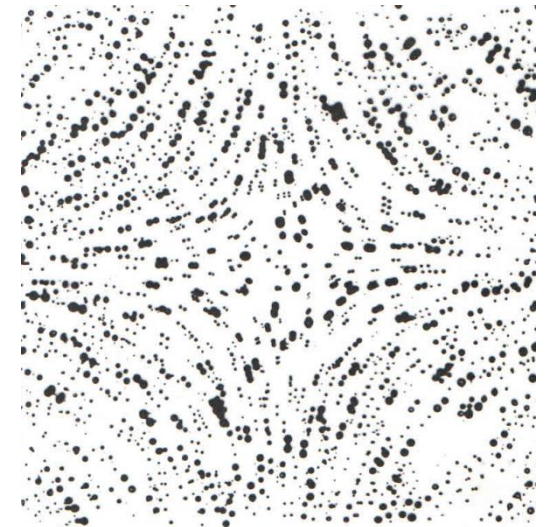
Grajmy (losowo) dalej: **wytwarzanie porządku z nieporządku** (iluzja sprzątacza)



Superimposing pattern A on pattern B with a rotation of 0.1 radians creates the flow near a focus.



Superimposing pattern A on pattern C, with no rotation, creates the flow near a saddle.

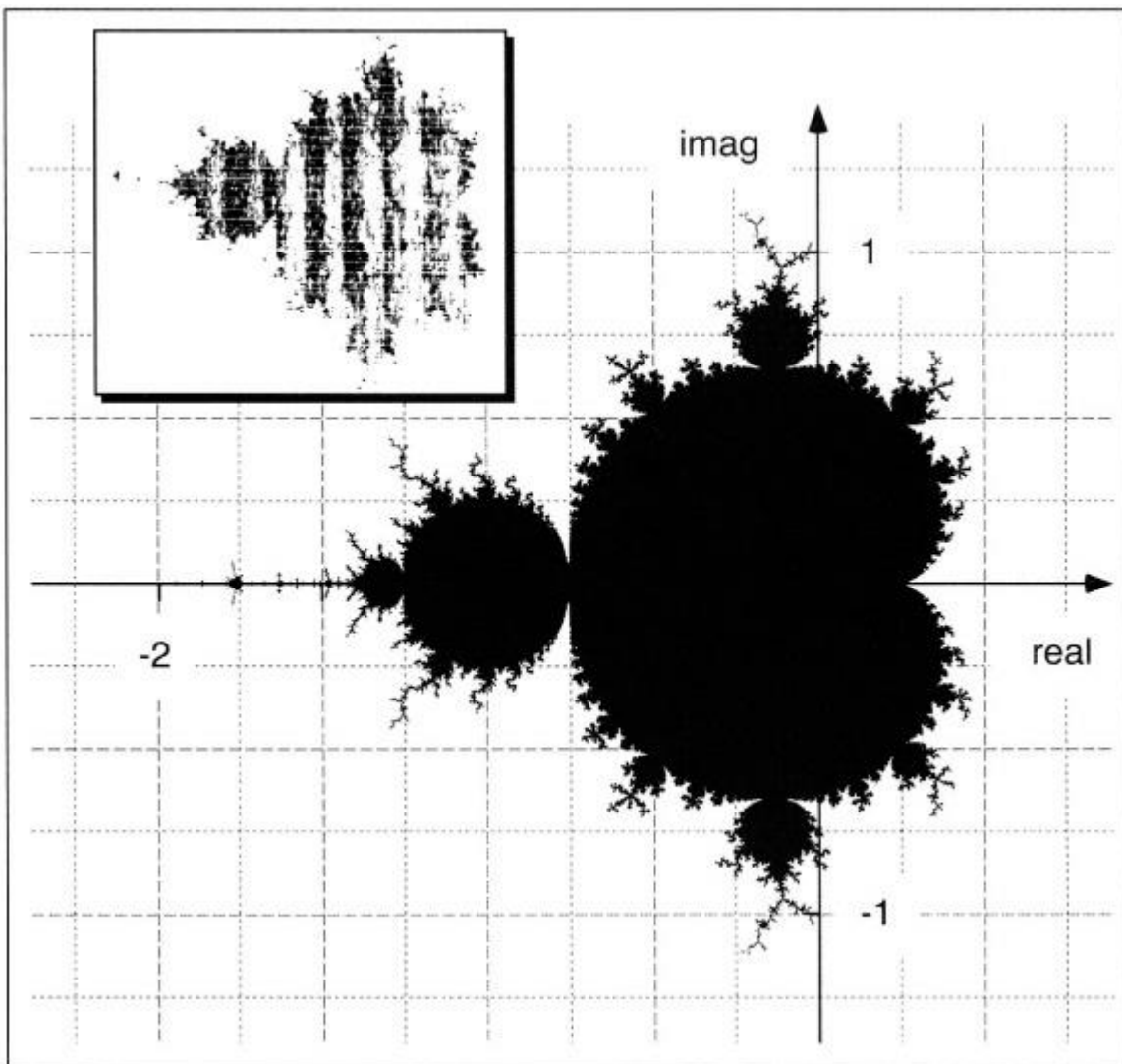
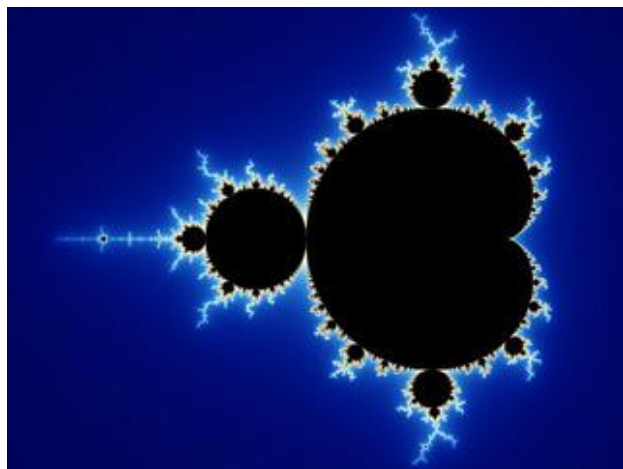


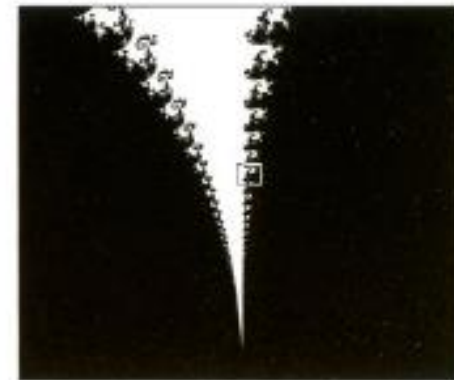
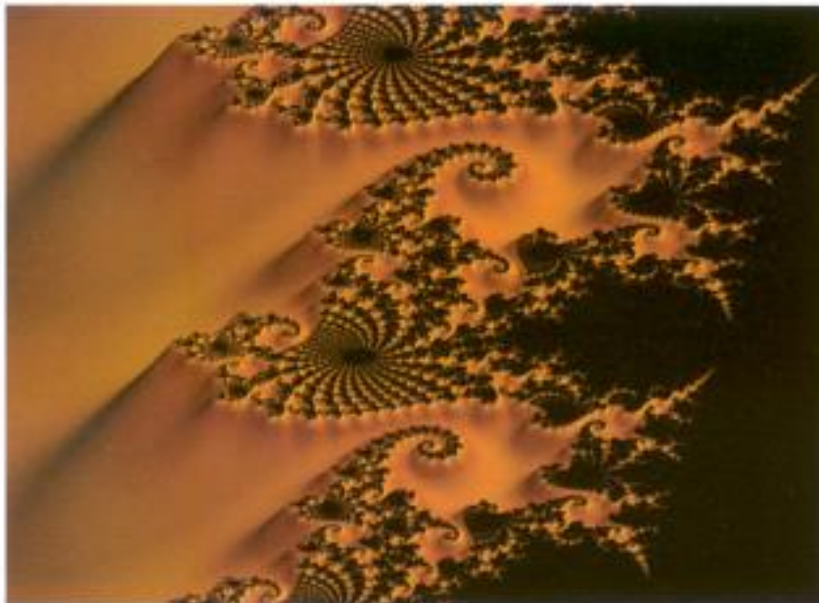
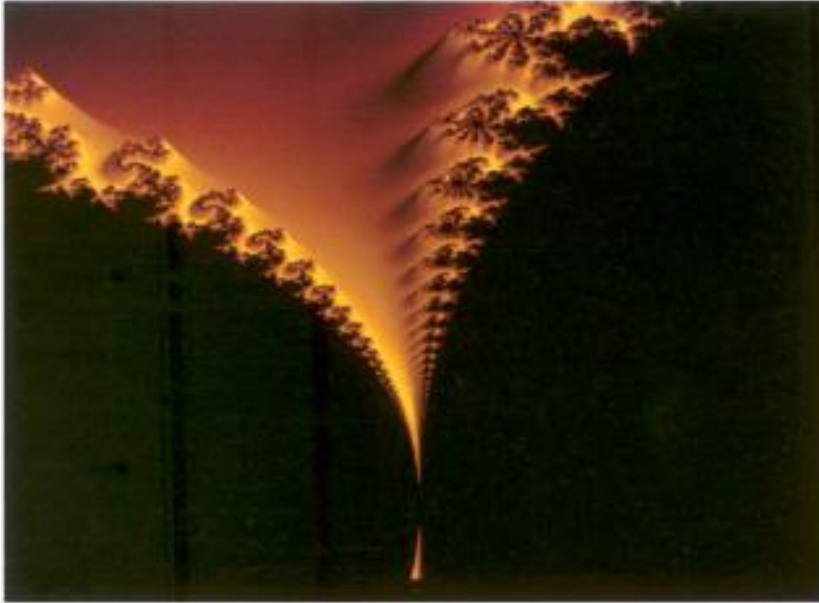


Żuk Mandelbrota - największe osiągnięcie gry algorytmicznej

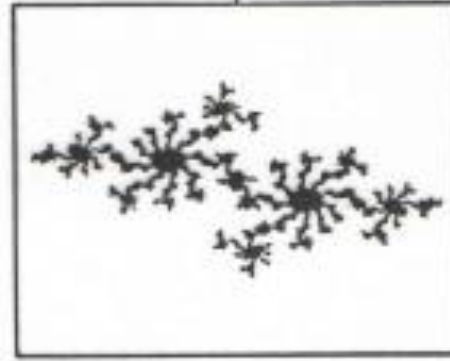
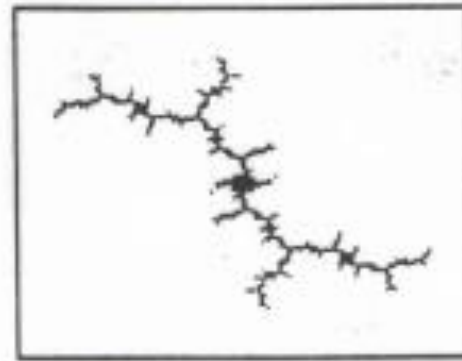
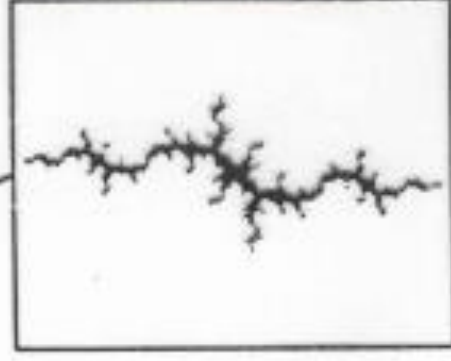
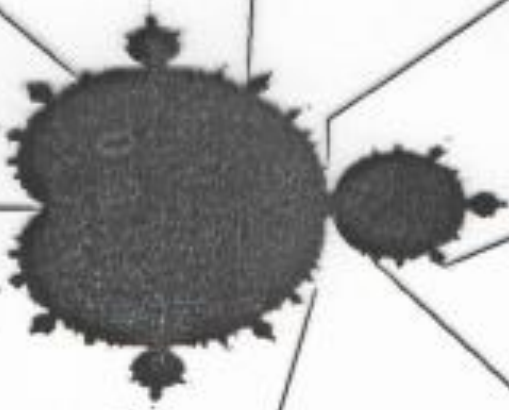
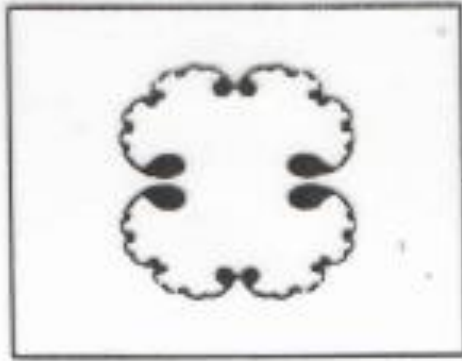
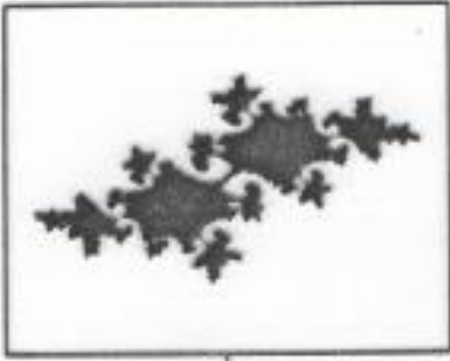
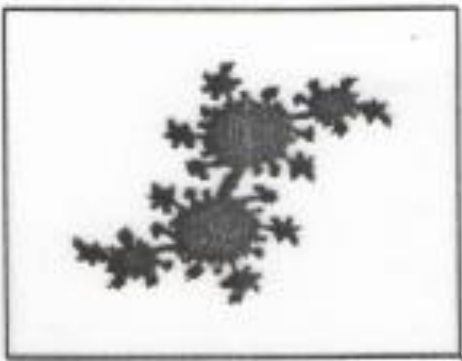
Co możemy przewidzieć, albo wykluczyć ?

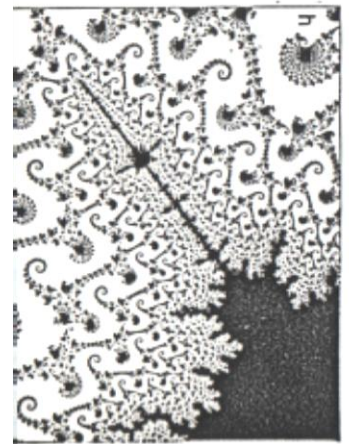
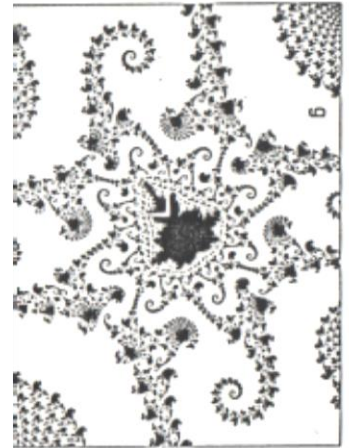
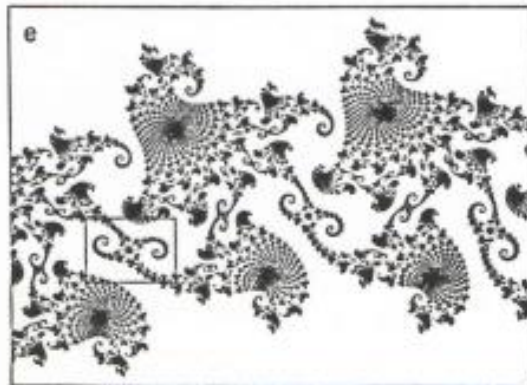
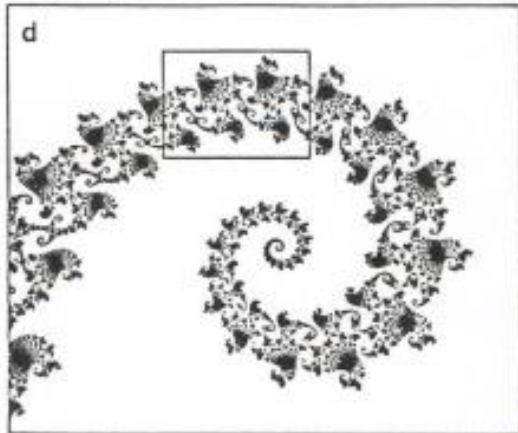
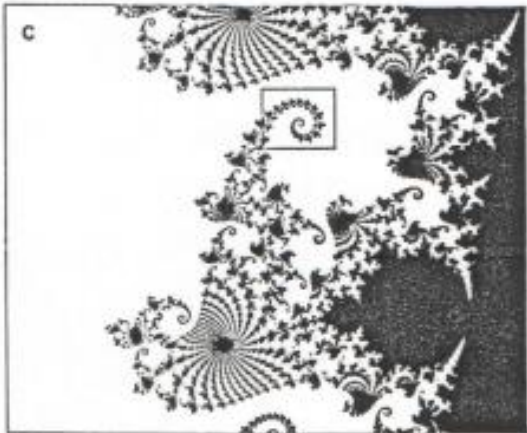
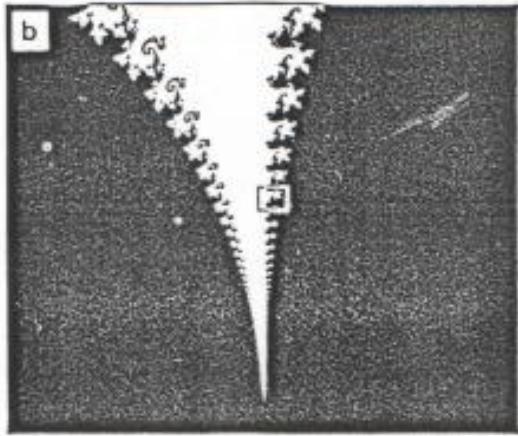
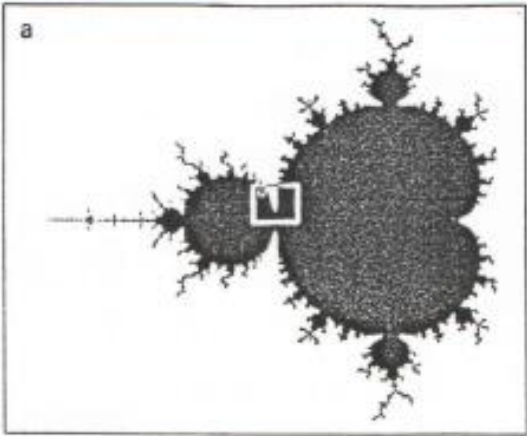
Algorytm = konieczność;
nic tutaj nie jest przypadkowe





Mandelbrot Set Zoom.mp4





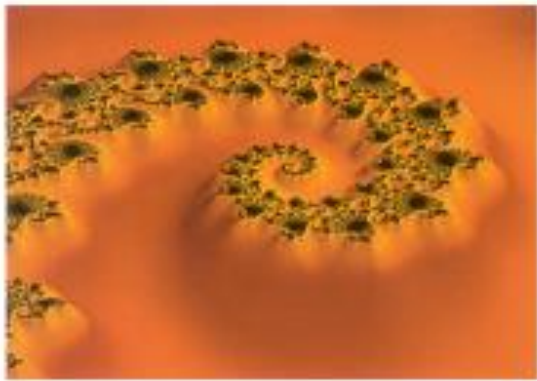
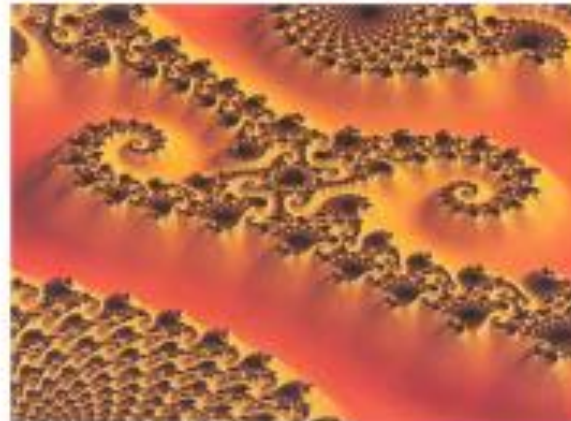
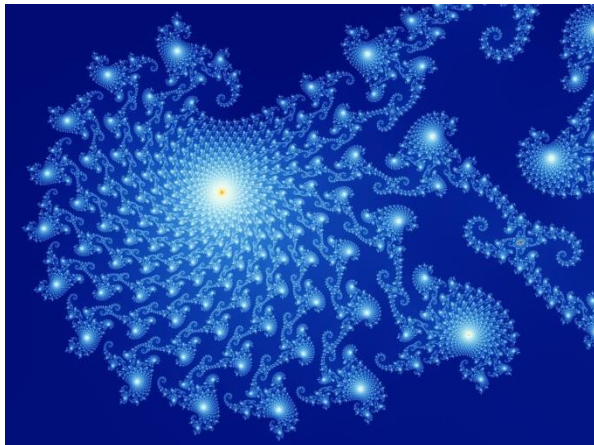
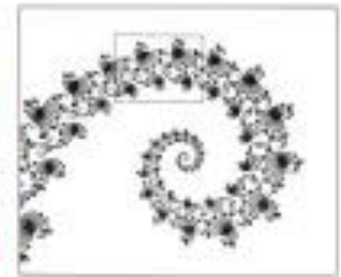
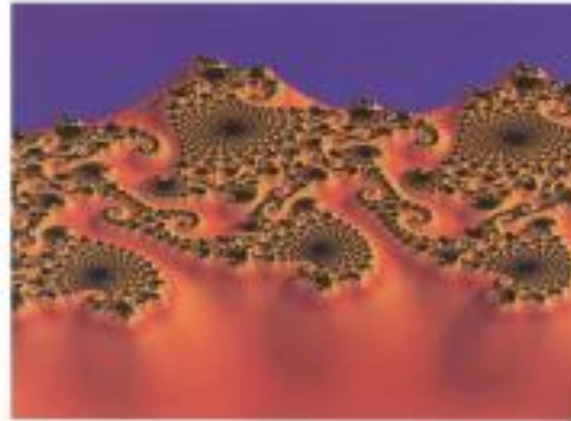
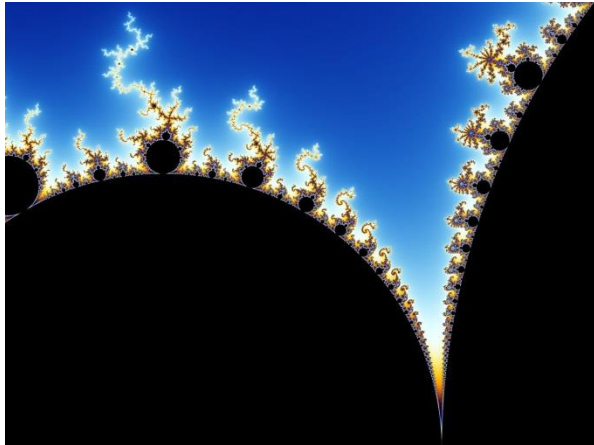
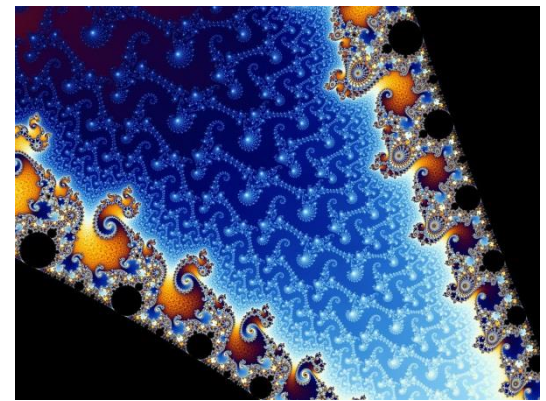


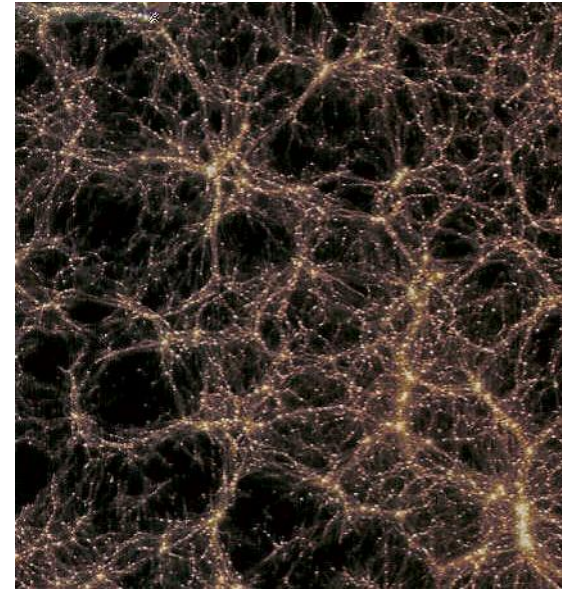
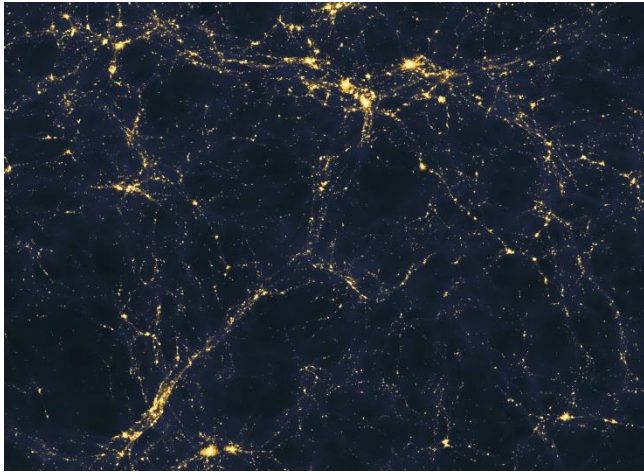
Plate 31: 3D-zoom sequence of details of the Mandelbrot set. Height corresponds to distance. The black-and-white images indicate the location of the closeups.



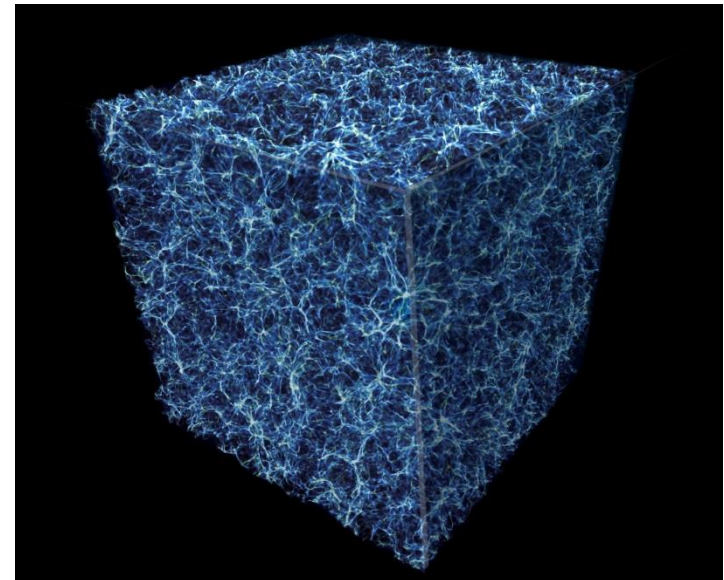


Gra w Wszechświat (dostępny obserwacjom optycznym i w widmie radiowym)

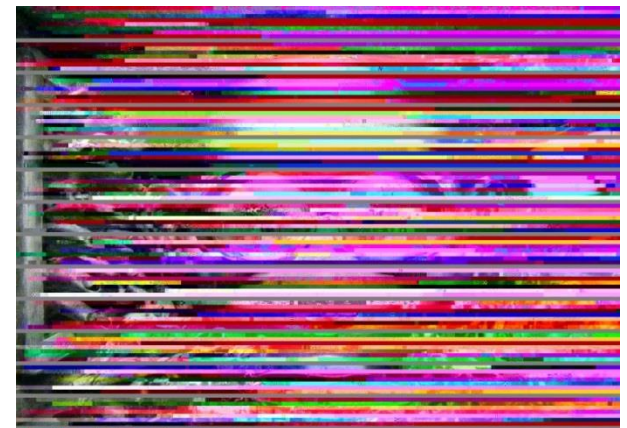
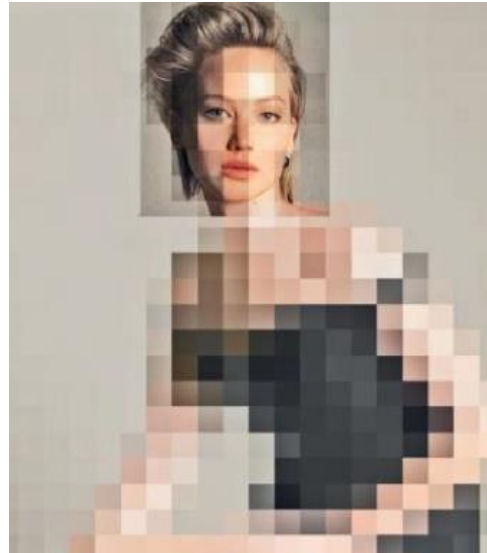
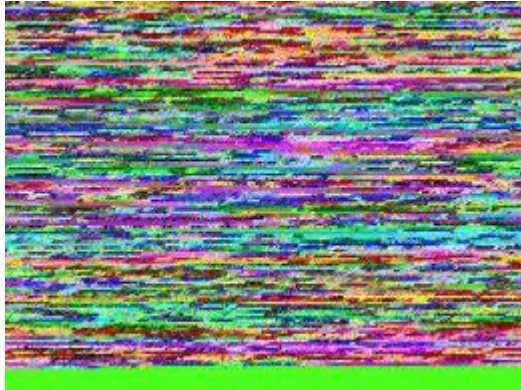
„fizyka baśniowa” lub „bajeczna” ?



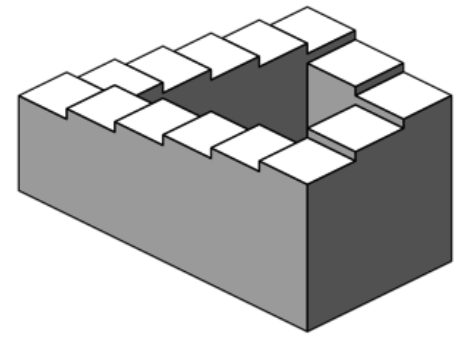
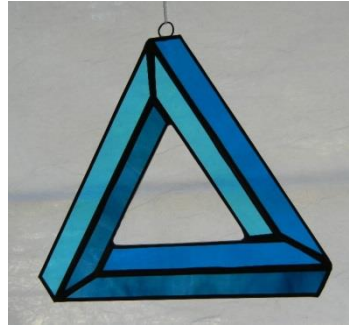
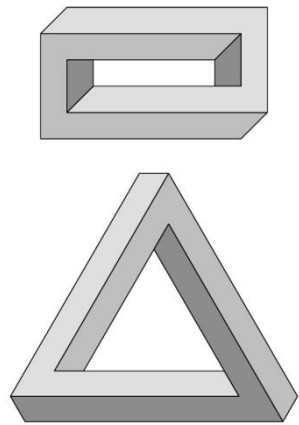
Kosmiczna piana („bicie piany” ?)



Gra w błędy (zamierzone imitacje efektów zaburzeń napięcia w urządzeniach elektronicznych (ekran komputera , TV lub monitorów kontrolnych); **glitch art**.



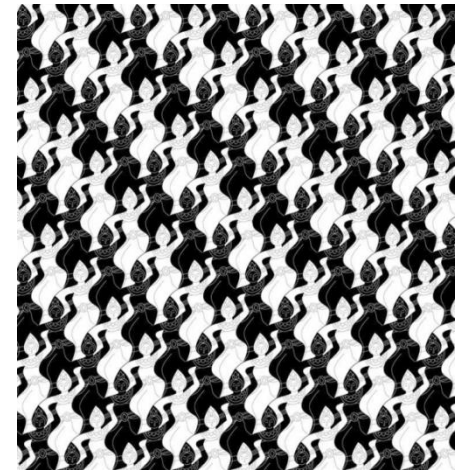
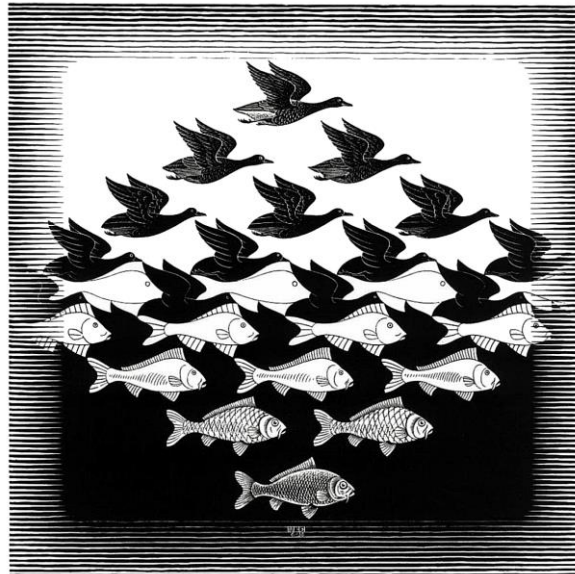
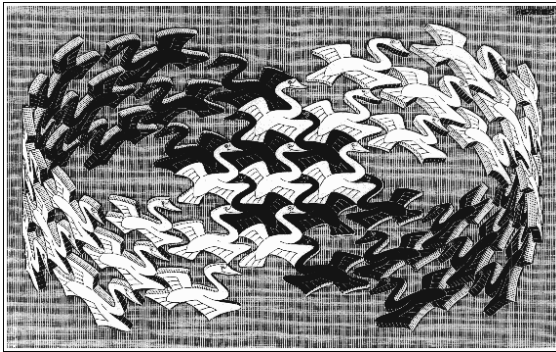
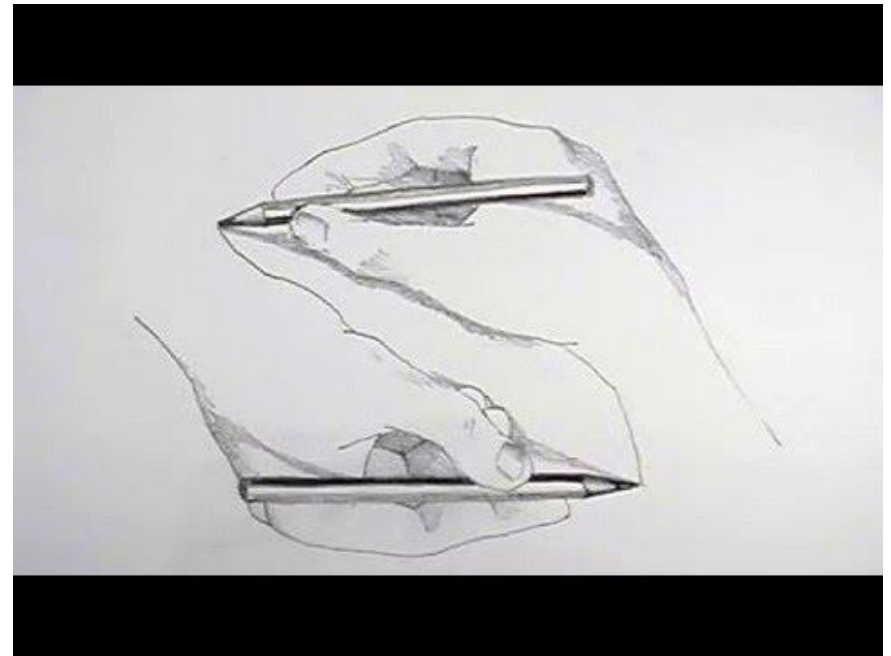
Błąd, czy wybryk nieskrępowanej wyobraźni? Żarty z „Praw Natury”





See notes, no. 79.

M. C. Escher



Estetyka kontrolowanego chaosu: nieodparty wdzięk **złożoności**



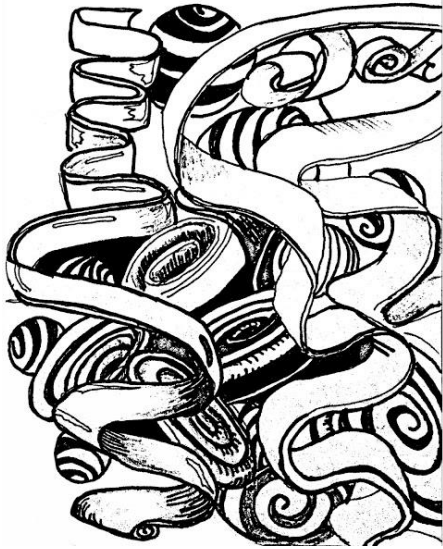


Praca naukowa fizyka ma czasem coś wspólnego z chaosem fruwających puszek z farbą u Jacksona Pollocka („rzucanie” pomysłami, klejenie „dziur” w teorii, czasem „na ślepo”, „burza mózgów”).

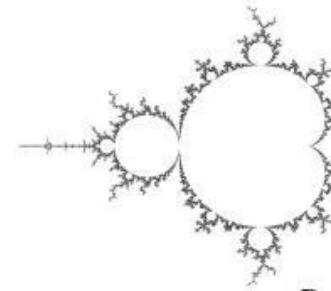


Życie idei jest życiem motyla - krótkotrwałym, ulotnym, czasami pięknym. Ale piękno też często ląduje na śmietniku nauki.

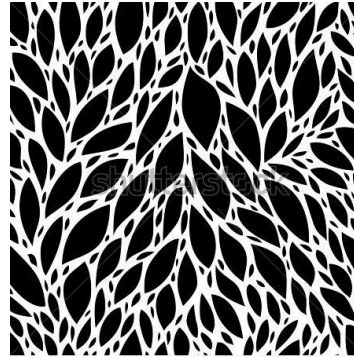
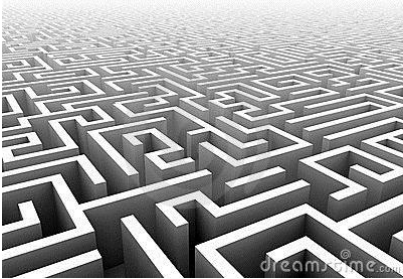




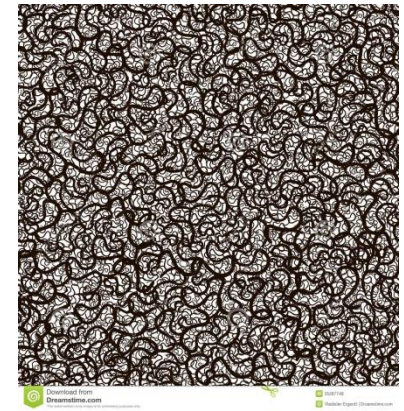
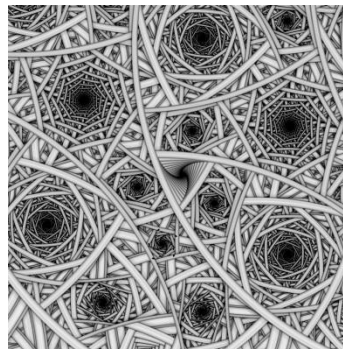
"My life seemed to be a series of events and accidents. Yet when I look back I see a pattern."



-Benoit B. Mandelbrot

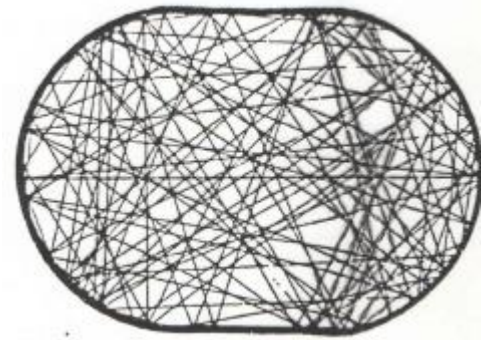
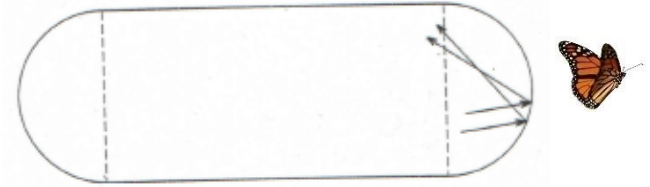


www.shutterstock.com - 130745711



www.shutterstock.com - 130745711

Zamiast puenty: Jeśli wiesz co to jest chaos deterministyczny nie stracisz obrączki (ślubnej)



- Jak obrączka wpadnie do umywalki, ludziom się zdaje, że wiedzą, gdzie polecą, bo jej ruch ma cechy uporządkowanego odbijania się. Próbują więc ją łapać, ale po każdym kolejnym odbiciu obrączka jest nie tam, gdzie byśmy się jej spodziewali, i w końcu wpada do odpływu. A dzieje się tak dlatego, że kształt umywalek jest na ogół elipsoidalny, pozwalający na takie właśnie chaotyczne odbijanie się. Co więc trzeba zrobić, żeby złapać obrączkę?

- Natychmiast zatkać zlew.
- Brawo.

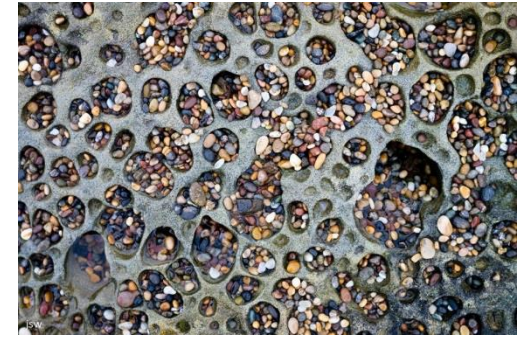
nie przewidzisz, co się będzie po drodze działo, ale wiesz, że koniec końców obrączka wpadnie do zlewu. Możesz się więc na to przygotować. Podobnie jak na powódź. Huragan. Czy trzęsienie ziemi.

Odpływ to **atraktor** dla ruchu obrączki w umywalce

Cyt. GW, „Duży Format”, 26.03.15



Motyl jest unieruchomiony na szpilce. Każdy może spróbować sam wybrać warunek początkowy, czyli ustalić swoje (bardzo niepewne) „przeznaczenie”... za pół roku.



Dziękuję za uwagę