

Caos, entropia e outros “mistérios”: a física da complexidade

Leonardo P. Maia
lpmaia@ifsc.usp.br

Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo

17 de Julho de 2017
EFC 2017

Estrutura da Apresentação

- 1 Caos determinístico
- 2 Entropia, a seta do tempo e urnas

Estrutura da Apresentação

- 1 Caos determinístico
- 2 Entropia, a seta do tempo e urnas

Estrutura da Apresentação

- 1 Caos determinístico
- 2 Entropia, a seta do tempo e urnas

Relógios celestiais

- Newton: cálculo!!!
- Eqs. diferenciais -> determinismo
- Regularidade e periodicidade: oscilador harmônico como modelo

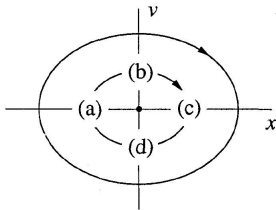
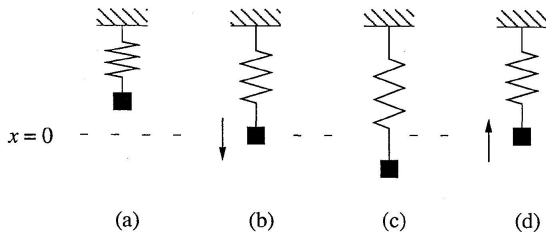
Espaço de fase 0

$$m\ddot{x} = -kx$$

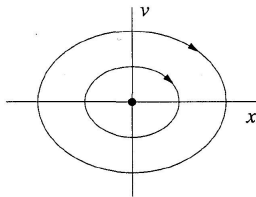
ou

$$\dot{x} = p/m \quad \text{e} \quad \dot{v} = -kx/m$$

Espaço de fase



Condições iniciais?



Atrator de Lorenz

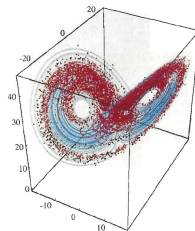
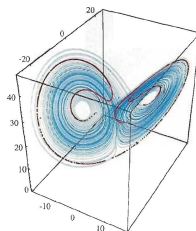
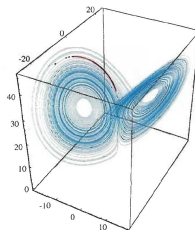
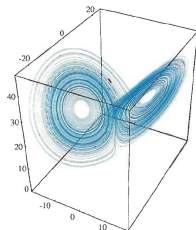
Edward Lorenz (1963), convecção na atmosfera:

$$\dot{x} = \sigma(y - x)$$

$$\dot{y} = rx - y - xz$$

$$\dot{z} = xy - bz$$

Fim da previsibilidade!!!



Pêndulo duplo

<http://www.clausewitz.com/Flash/FLVs/DualDbIPendulumVid.htm>

Por quê???? Mapa do padeiro, $0 < a \leq 0.5$

- se $0 \leq x_n < 0.5$,

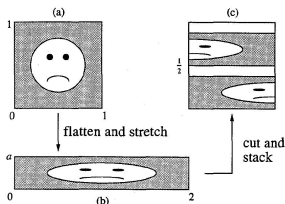
$$x_{n+1} = 2x_n$$

$$y_{n+1} = ay_n$$

- se $0.5 \leq x_n \leq 1$,

$$x_{n+1} = 2x_n - 1$$

$$y_{n+1} = ay_n + 0.5$$



Estrutura da Apresentação

- 1 Caos determinístico
- 2 Entropia, a seta do tempo e urnas

Termodinâmica

- Leis da termodinâmica
- Lei zero: equilíbrio térmico, “ok”.
- 1a. Lei: conservação de energia, ok!
- 2a. Lei: irreversibilidade??? seta do tempo????!!!!
- **As leis básicas das mecânicas clássica e QUÂNTICA são reversíveis no tempo!!!**

Clausius e Kelvin

- “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.”
- “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.”

Solução: coarse-graining

Observáveis que equivalem à composição de diversas outras grandezas dinâmicas, “elementares”, não precisam apresentar o mesmo comportamento de evolução temporal. Da probabilidade, vem o teorema central do limite.

Urnas de Ehrenfest

<http://www.math.uah.edu/stat/apps/EhrenfestExperiment.html>

Conclusão

- Como Poincaré, precisamos aprender a fazer as “perguntas certas” para estudar “sistemas complexos”.
- Minha convicção é que a busca das “perguntas certas” levará a progressos na Física e na Matemática.

Recursos adicionais

<http://www.modelingreality.net/>



<http://www.math.uah.edu/stat/>

