

## **Fisica Statistica** **(6CFU, secondo semestre)**

**Prof. Alessandro Pluchino**

[www.dfa.unict.it/home/pluchino/](http://www.dfa.unict.it/home/pluchino/)

### **Parte I – Sistemi dinamici**

1. Introduzione alla fisica dei sistemi dinamici: dalla teoria del caos alla nuova scienza della complessità - Invarianza di scala e leggi di potenza - Cenni sulla criticità auto-organizzata (SOC) e le reti complesse - Cenni sulla sincronizzazione - Fenomeni emergenti ed applicazioni della fisica ai sistemi sociali ed economici - Introduzione alla programmazione ad agenti: l'ambiente di sviluppo NetLogo.

2. Sistemi dinamici continui (flussi) dissipativi - Spazio degli stati - Teorema di non-intersezione - Flussi in una dimensione - Attrattori a punto fisso - Punti fissi stabili (nodi) e instabili (repulsori) - Punti di sella (saddle points)

3. Flussi in due dimensioni - Attrattori a punto fisso e a ciclo limite - Brussellator - Sezione di Poincarè - Teoria delle biforcazioni – Biforcazione tangente o “saddle-node” - Biforcazione di Hopf

4. Flussi in tre dimensioni - Punti fissi e cicli limite in tre dimensioni - Piano di Poincarè - Matrice di Floquet - Stabilità dei cicli limite - Attrattori quasi-periodici - Rotte verso il caos - Caos omoclinico - Il modello di Lorenz - Esponenti di Lyapunov

5. Sistemi dinamici discreti (mappe) dissipativi - Mappe unidimensionali - La mappa logistica - Attrattori e mappe iterate - Diagramma di biforcazione - Le costanti di Feigenbaum - Caos ed esponente di Lyapunov - Stretching and folding - Il margine del caos (“edge of chaos”)

6. Mappe dissipative bidimensionali - La mappa di Hénon - Autosimilarità e frattali - La curva di Koch - Dimensione frattale di box-counting - Dimensione di correlazione - Dimensione di Hausdorff

7. Flussi Hamiltoniani (conservativi) - Equazioni di Hamilton - Spazio delle fasi - Teorema di Liouville - Costanti del moto e variabili azione-angolo - Sistemi integrabili e non integrabili - Sistemi Hamiltoniani in una dimensione - Il pendolo conservativo e il pendolo forzato-smorzato

8. Flussi Hamiltoniani in più dimensioni - Il teorema KAM - Orbite periodiche, quasiperiodiche e caotiche - Il modello di Hénon-Heiles

### **Parte II – Fisica Statistica**

1. Introduzione alla fisica statistica - Ordine e disordine, caos e complessità nei sistemi a molti gradi di libertà - Meccanica statistica all'equilibrio e fuori dall'equilibrio - Esponenziali e leggi di potenza:

teoria di Boltzmann-Gibbs e meccanica statistica generalizzata

2. Richiami di Termodinamica - L'equazione di stato dei gas perfetti - La prima legge della termodinamica - Applicazioni della prima legge - La seconda legge della termodinamica - Il teorema di Carnot - L'entropia

3. Potenziali termodinamici - La terza legge della termodinamica - Descrizione termodinamica delle transizioni di fase - Transizioni di fase del primo ordine e di ordine n-esimo - Equazione di stato di Van der Waals - Elementi di statistica - Teoria cinetica dei gas

4. La teoria cinetica secondo Boltzmann: lo spazio  $\mu$  e la funzione di distribuzione - Collisioni binarie - Diffusione classica e quantistica - L'equazione del trasporto di Boltzmann - Il Teorema H - La distribuzione di Maxwell-Boltzmann - Distribuzioni non Maxwelliane per sistemi a lungo raggio - Teorema H ed Entropia - Vita e opera di Ludwig Boltzmann (film)

5. Meccanica statistica classica - Il teorema di Liouville - Lo spazio Gamma e gli "ensemble" di Gibbs - Il teorema ergodico - Il postulato dell'equiprobabilità a priori - Media temporale e media di ensemble - L'ensemble microcanonico - Additività ed estensività - Il teorema di equipartizione - Termodinamica ed equazione di stato di un gas ideale classico in ensemble microcanonico

6. L'ensemble Canonico - La funzione di partizione canonica - Termodinamica di un gas ideale in ensemble canonico - Fluttuazioni di energia nell'ensemble canonico - Equivalenza tra gli ensembles canonico e microcanonico - L'ensemble grancanonico - Funzione di partizione grancanonica - Fluttuazioni di densità nell'ensemble grancanonico

7. I postulati della meccanica statistica quantistica - La matrice densità - Il teorema di Liouville quantistico - Gli ensembles in meccanica statistica quantistica - I gas ideali di Bose e di Fermi - Applicazioni alla radiazione di Corpo Nero

8. Considerazioni cosmologiche intorno alla seconda legge della termodinamica - Altre eventuali applicazioni (reti neurali, vetri di spin, plasmi, sistemi a lungo raggio, sistemi fuori dall'equilibrio o al margine del caos, meccanica statistica non estensiva, superstatistica, modello di Kuramoto, sociofisica ed econofisica).

### **Libri di testo o di consultazione**

- Robert C. Hilborn, "*Chaos and nonlinear dynamics*", Oxford University Press, 2<sup>nd</sup> Ed. 2000
- Steven Strogatz, "*Nonlinear dynamics and chaos*", Westview Press 2001
- Claudius Gros, "*Complex and adaptive dynamical systems*", Springer 2<sup>nd</sup> Ed. 2010
- Kerson Huang, "*Meccanica Statistica*", Zanichelli 1997;
- James P. Sethna, "*Entropy, Order parameters and Complexity*", Oxford University Press 2006
- Constantino Tsallis, "*Introduction to nonextensive statistical mechanics*", Springer 2009
- Alessandro Pluchino, "*La firma della complessità. Una passeggiata al margine del caos*", Malcor D' Edizione 2015