

1. INTRODUZIONE

Che cosa è un Sistema Complesso ? Meccanica statistica e Caos Deterministico: due discipline importanti per descrivere un sistema complesso. Che cosa è il Caos Deterministico ? Introduzione storica alla meccanica statistica.

PARTE I: Meccanica Statistica

0. CORSO COMPATTO DI TERMODINAMICA

Variabili di stato. Equazioni di stato. Leggi della termodinamica. Potenziali termodinamici. Funzioni di risposta. Derivazione delle proprietà termodinamiche di un gas ideale classico.

1. CARATTERISTICHE TIPICHE DEI SISTEMI MACROSCOPICI

Proprietà dello stato di equilibrio. Fluttazioni all'equilibrio. Raggiungimento dell'equilibrio. Alcune grandezze tipiche: calore, temperatura, pressione, libero cammino medio.

2. CALCOLO DELLE PROBABILITÀ

Insiemi statistici e definizione di probabilità. Valori medi ed altre caratteristiche di una distribuzione di probabilità. Distribuzione binomiale. Distribuzione Gaussiana. Distribuzione di Poisson. Random walk e equazione di diffusione. Teorema del limite centrale.

3. TEORIA DEGLI ENSEMBLES STATISTICI

Macrostat e microstat. Descrizione statistica di un sistema macroscopico di N particelle. Dalla dinamica all'approccio statistico. Ensemble Microcanonico. Postulato di uguale probabilità a priori. Calcolo del numero di stati accessibili ad un sistema macroscopico e concetto di densità dei livelli. Entropia. Distribuzione dell'energia fra due sistemi in interazione termica. Principio zero della termodinamica e definizione di temperatura. Stabilità e raggiungimento dell'equilibrio. Prima e seconda legge della termodinamica.

4. ENSEMBLE CANONICO ED ALTRI ENSEMBLES

Sistema in contatto con un serbatoio di calore. Ensemble Canonico e Peso di Boltzmann. Equivalenza fra ensembles. Esempi di applicazioni: 1) paramagnetismo, 2) sistemi a due livelli e anomalia di Schottky, 3) energia media e pressione in un gas ideale. Ensemble grandcanonico e potenziale chimico.

5. GAS IDEALE CLASSICO

Quando vale l'approssimazione classica. Spazio delle fasi. Distribuzione di Maxwell-Boltzmann delle velocità. Teorema di equipartizione. Calori specifici di gas e di solidi.

6. GAS IDEALI QUANTISTICI ***

Particelle identiche e condizioni di simmetria. Statistica di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac. Applicazioni: radiazione di corpo nero, elettroni in un metallo.

7. TRANSIZIONI DI FASE

Effetti delle interazioni. Due evidenze sperimentali di fenomeni critici: transizione di fase liquido-gas, transizioni di tipo ferromagnetico. Punti critici ed Esponenti critici. Due teorie di campo medio: equazione di Van der Waals per i gas reali e teoria di Weiss per i sistemi ferromagnetici. Modello di Ising. Scaling, universalità e teoria della rinormalizzazione. Applicazione della tecnica di rinormalizzazione ad Ising-1D.

PARTE II: Complementi sotto forma di argomenti monografici

Questa parte del corso, consiste di tre diverse applicazioni dei metodi statistici ai sistemi complessi.

1. L'ARCHITETTURA DI UN SISTEMA COMPLESSO: NETWORKS COMPLESSI

Studi sperimentali sui sistemi sociali. Fenomeno dello small-world. Formalizzazione matematica e modello di Watts e Strogatz. Efficienza e Costo di un network. Applicazioni a network sociali, neurali e tecnologici (WWW, Internet, e sistemi di trasporto). Networks di tipo Scale-Free. Modello di Barabasi e Albert per la crescita dei networks di tipo scale-free. Propagazione di malattie su networks scale-free. Resistenza dei networks agli attacchi e agli errori.

2. SOCIOFISICA: MODELLI PER LA FORMAZIONE DI OPINIONI

Modellizzazione di sistemi sociali. Una variazione del modello di Ising: il modello di Sznajd. Modello di Deffuant et al., e modello di Hegselmann-Krause. Modelli basati su teoria dei giochi.

3. APPLICAZIONI ALLA BIOLOGIA: PROTEOMICA

Metodi standard per la costruzione di alberi filogenetici. k-peptidi significativi e k-dizionari. Una nuova definizione di distanza basata sulle co-occorrenze. Applicazioni

PARTE III: Complementi sotto forma di seminari

Gli studenti sono invitati a partecipare ai seguenti seminari che danno un'idea di alcune attuali linee di ricerca sui sistemi complessi, e che possono fornire spunti di applicazione di quanto studiato (i seminari e le date verranno aggiunti durante il corso dell'anno).

- 1.
- 2.
- 3.

TESTI CONSIGLIATI

Testo di base

F. Reif, *Fisica Statistica*, La fisica di Berkeley, Vol.5, Zanichelli Bologna.

Per i richiami di termodinamica:

L.E. Reichl, *A Modern Course in Statistical Physics*, University of Texas Press 1980.

Per gli approfondimenti:

F. Reif, *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*, McGraw-Hill 1965.

Pathria, *Statistical Mechanics*, Butterworth and Heinemann, Second Edition 1996.

R. Balescu, *Equilibrium and Nonequilibrium Statistical Mechanics*, 1975.

D. Chandler, *Introduction to modern statistical mechanics*, Oxford Press, 1987.

Sui sistemi complessi

Y. Bar-Yam, *Dynamics of Complex Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1997.

S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, *Complex networks*, Physics Reports 424 (2006) 175-308.