

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO ANNO ACCADEMICO 2016/2017

DIPARTIMENTO INTERATENEO DI FISICA

Programma dell'insegnamento di: Meccanica statistica

Corso di Laurea Magistrale in Fisica

SSD insegnamento FIS/02, CFU 6, ore lezione 40, ore esercitazioni 14

Finalità del corso:

- giustificare l'approccio statistico nella descrizione di sistemi con tanti gradi di libertà;
- impartire le nozioni di base della teoria degli ensembles statistici, il loro uso nel ricavare le proprietà termodinamiche di sistemi macroscopici, con un'ampia scelta di esempi;
- introdurre la teoria moderna delle transizioni di fase.

Contenuti del corso (in dettaglio - lingua italiana - aggiungere righe se necessario)

1. Meccanica statistica classica

- a. Stati microscopici e macroscopici. Postulato fondamentale della meccanica statistica. Ruolo del carattere estensivo delle grandezze fisiche e dei teoremi limite. Derivazione della termodinamica. Gas ideale classico. Entropia di mescolamento, paradosso di Gibbs e corretta enumerazione degli stati microscopici. Distribuzione di probabilità microcanonica. Traiettorie nello spazio delle fasi, medie temporali e medie di fase, teoria ergodica.
- b. Distribuzione di probabilità canonica. Derivazione della termodinamica. Fluttuazioni dell'energia. Relazione di fluttuazione-dissipazione. Ensemble generalizzati. L'insieme P-T. Il gas di sfere dure. Distribuzione di probabilità gran-canonica. Derivazione della termodinamica. Fluttuazioni dell'energia e del numero di particelle. Principio variazionale di Gibbs. Teorema di equipartizione dell'energia e teorema del viriale.
- c. La statistica del paramagnetismo: modelli di Langevin e Brillouin. Legge di Curie. Temperature negative. Viriale di un sistema di particelle classiche. Funzione di distribuzione di coppia. Sviluppo a cluster per un gas classico. Sviluppo del viriale dell'equazione di stato.
- d. Problemi svolti in classe.

2. Meccanica statistica quantistica

- a. Caratteristiche generali di sistemi quantistici con un gran numero di particelle. Operatore statistico e matrice densità. Stati puri e miscele. Equazione di Liouville-von Neumann e soluzioni stazionarie. Postulato delle fasi random. Distribuzioni di probabilità microcanonica, canonica e gran-canonica. Gas ideali nel formalismo gran-canonico.

N.B. Barrare quello che non interessa

- b. Termodinamica del gas di fermioni non-interagenti. Sviluppo dell'equazione di stato a bassa e alta temperatura. Comportamento magnetico del gas di fermioni non-interagenti. Paramagnetismo di Pauli e diamagnetismo di Landau. Termodinamica del gas di bosoni non-interagenti. Condensazione di Bose-Einstein. Studio termodinamico delle stelle nane bianche.
- c. Problemi svolti in classe.

3. Transizione di fase e fenomeni critici

- a. Osservazioni generali sul problema della condensazione. Risultati di van Hove, Lee e Yang. Coesistenza liquido-gas e punto critico. Equazione di van der Waals. Singolarità ed esponenti critici. Miscela binarie e gas reticolare. Il modello di Ising. Simmetrie, rottura della simmetria e parametro d'ordine. Argomento di Peierls per la transizione di fase nel modello di Ising in $D=2$.
- b. Teoria di campo medio per il modello di Ising. Principio variazionale. Teoria di Landau per le transizioni di fase. Criterio di Ginzburg. Funzioni di correlazione. L'ipotesi di scaling per le funzioni termodinamiche. Universalità nel comportamento critico. Leggi di scala.

Contenuti del corso (in lingua inglese)

1. Classical Statistical Mechanics

- a. Microscopic and macroscopic states. Fundamental postulate of statistical mechanics. Extensive character of physical observables and limit theorems. Derivation of thermodynamics. Classical ideal gas. Mixing entropy, Gibbs paradox and correct enumeration of microscopic states. Microcanonical probability distribution. Trajectories in phase space, temporal averages and ergodic theory.
- b. Canonical probability distribution. Derivation of thermodynamics. Energy fluctuations. Fluctuations-dissipation relation. Generalized ensembles. Ensemble P-T. Hard sphere gas. Grand-canonical probability distribution and related thermodynamics. Fluctuations of energy and particle numbers. Gibbs variational principle. Equipartition of energy and theorem of virial.
- c. Statistics of paramagnetism: Langevin and Brillouin models. Curie's law. Negative temperatures. Virial of a system of classical particles. Pair distribution function. Cluster expansion for a classical gas. Virial expansion of state equation.
- d. Exercises and problems.

2. Quantum Statistical Mechanics

- a. General properties of quantum systems with a large number of particles. Density matrix. Pure states and mixtures. Liouville-von Neumann equation and stationary solutions. Microcanonical, canonical, and grand-canonical distributions. Ideal gas in grand-canonical approach.

- b. Thermodynamics of non-interacting fermions. High- and low-temperature expansion of state equation. Magnetic behavior of a gas of non-interacting fermions. Pauli's paramagnetism and Landau's diamagnetism. Thermodynamics of a gas of non-interacting bosons. Bose-Einstein condensation.
- c. Problems.

3. Phase transitions and critical phenomena

- a. General observations on the problem of condensation. Results by van Hove, Lee and Yang. Van der Waals equation, liquid-gas coexistence and critical point. Singularities and critical exponents. Lattice gas and binary mixtures. Ising model. Symmetries, symmetry breaking and order parameter. Peierls argument for existence of phase transition in the $D=2$ Ising model.
- b. Mean-field theory for Ising model. Variational version of mean-field theory. Landau theory for phase transitions. Ginzburg's criterium. Correlation functions and Ornstein-Zernike theory. Scaling hypothesis for free-energy. Universality in critical behavior. Scaling laws.

Bibliografia

Appunti del docente; L. Peliti, "Appunti di meccanica statistica", Boringhieri; R.K. Pathria, "Statistical Mechanics", Butterworth&Heinemann; K. Huang, "Meccanica Statistica", Zanichelli.

Modalità espletamento prova di esame: scritto e orale

E-mail del docente: gonnella@ba.infn.it

ricevimento studenti: dalle 15.00 alle 18.00 presso l'ufficio del docente

nel giorno di mercoledì o previo appuntamento.