

CORSO DI STUDIO *Physics (LM-17)*
ANNO ACCADEMICO 2024-2025
DENOMINAZIONE DELL'INSEGNAMENTO *Statistical Mechanics*

| Principali informazioni sull'insegnamento | |
|--|--|
| Anno di corso | 1° |
| Periodo di erogazione | 1° semestre: Settembre – Dicembre 2024 |
| Crediti formativi universitari (CFU/ECTS): | 6 |
| SSD | FIS/02 |
| Lingua di erogazione | Inglese |
| Modalità di frequenza | Raccomandata, non obbligatoria |

| Docente | |
|----------------|---|
| Nome e cognome | Giuseppe Gonnella |
| Indirizzo mail | gonnella@ba.infn.it |
| Telefono | 080-5442435 |
| Sede | Dipartimento di Fisica via Amendola 173 |
| Sede virtuale | Team Class "Statistical mechanics" |
| Ricevimento | Lunedì e Martedì, 11.00-13.00 o su appuntamento |

| Organizzazione della didattica | | | |
|--------------------------------|--------------------|--|--------------------|
| Ore | | | |
| Totali | Didattica frontale | Pratica (laboratorio, campo, esercitazione, altro) | Studio individuale |
| 150 | 40 | 15 | 95 |
| CFU/ECTS | | | |
| 6 | 5 | 1 | |

| | |
|----------------------------|--|
| Obiettivi formativi | <ul style="list-style-type: none"> - Giustificazione dell'approccio statistico nella descrizione di sistemi fisici con molti gradi di libertà; - Acquisizione delle nozioni di base della teoria degli <i>ensembles</i> statistici e conseguente determinazione delle proprietà termodinamiche di sistemi macroscopici, classici e quantistici, con un'ampia scelta di esempi; - Introduzione alla teoria delle transizioni di fase e dei fenomeni critici. |
| Prerequisiti | Contenuti di calcolo, fisica generale e fisica moderna, così come impartiti nella laurea triennale in fisica. Termodinamica al livello del libro di testo del Callan. |

| | |
|-------------------------|--|
| Metodi didattici | Lezioni ed esercitazioni in aula alla lavagna. |
|-------------------------|--|

| | |
|--|--|
| Risultati di apprendimento previsti <i>Da indicare per ciascun Descrittore di Dublino (DD=</i> | <p>Descrittore di Dublino 1: Conoscenza e capacità di comprensione</p> <ul style="list-style-type: none"> o Comprensione del metodo scientifico, della natura e delle modalità della ricerca in Fisica o Conoscenza della meccanica statistica e dei metodi statistici o Consolidamento delle conoscenze di fisica statistica o Comprensione dell'origine microscopica delle leggi della termodinamica. <p>Descrittore di Dublino 2: Capacità di applicare conoscenza e comprensione</p> <ul style="list-style-type: none"> o Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno |
|--|--|

| | |
|--|--|
| <p>DD1 Conoscenza e capacità di comprensione</p> <p>DD2 Conoscenza e capacità di comprensione applicate</p> <p>DD3-5 Competenze trasversali</p> | <ul style="list-style-type: none"> o Capacità di utilizzare lo strumento dell'analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (problem solving) o Capacità di utilizzo di strumenti di calcolo matematico analitico e numerico o Conoscenza dei fondamenti che rendono possibile una descrizione statistica di sistemi con molte particelle. o Conoscenza degli elementi teorici utili a descrivere l'equilibrio termodinamico nei sistemi classici e quantistici. o Capacità di applicare i concetti appresi ad un'ampia varietà di sistemi fisici. <p>Descrittore di Dublino 3: Autonomia di giudizio</p> <ul style="list-style-type: none"> o Capacità di lavorare con crescenti gradi di autonomia, anche assumendo responsabilità nella programmazione di progetti e nella gestione di strutture o Sviluppo della capacità di interpretare e valutare criticamente la letteratura scientifica più recente e significativa nel campo della meccanica statistica, avendo come punto di riferimento le nozioni apprese nel corso e anche discutendo possibili strategie di ricerca alternative. <p>- Descrittore di Dublino 4: Abilità comunicative</p> <ul style="list-style-type: none"> o Competenze nella comunicazione in lingua italiana e in lingua inglese nei settori avanzati della Fisica o Sviluppo della capacità di lavorare in gruppi di 2-3 unità, ai quali è proposta la soluzione di problemi anche complessi di meccanica statistica. o Le abilità comunicative sono anche sviluppate mediante la presentazione di seminari, a cura degli studenti su base volontaria, su argomenti complementari a quelli del corso. <p>- Descrittore di Dublino 5: Capacità di apprendere in modo autonomo</p> <ul style="list-style-type: none"> o Acquisizione di strumenti conoscitivi di base per l'aggiornamento continuo delle conoscenze o Sviluppo delle capacità di consultazione e comprensione di materiale bibliografico, banche dati e materiale in rete, da effettuare in modo autonomo, su argomenti legati a quelli trattati nel corso. |
| <p>Contenuti di insegnamento (Programma)</p> | <p>1. I fondamenti della meccanica statistica</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Reversibilità e irreversibilità temporale nelle leggi della fisica. I paradossi di Loschmidt e Zermelo. Punti di vista microscopico e macroscopico. Analogia con la teoria delle probabilità. La distribuzione binomiale. La legge dei grandi numeri ed il teorema del limite centrale. Considerazioni geometriche. Entropia di Kullback-Leibler. La spiegazione dei paradossi. b. Ipotesi ergodica. Postulato fondamentale della meccanica statistica. Espressioni equivalenti per l'entropia di Boltzmann. Additività dell'entropia. Esistenza di quantità termodinamiche intensive. Derivazione della termodinamica. Gas ideale classico. Entropia di mescolamento, paradosso di Gibbs e corretta enumerazione degli stati microscopici. . Distribuzione di |

probabilità microcanonica. Il problema ergodico. Risultati rigorosi per le proprietà di ergodicità di variabili estensive.

2. Meccanica statistica classica

- a. Distribuzione di probabilità canonica. Derivazione della termodinamica e consistenza con la descrizione microcanonica. Fluttuazioni dell'energia. Relazione di fluttuazione-dissipazione. *Ensembles* 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.
- b. 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 e calcolo dei primi due coefficienti del viriale.
- c. Problemi svolti in classe.

3. 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.
- 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.
- c. Problemi svolti in classe.

4. 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. Miscele binarie e gas reticolare. Il modello di

| | |
|-------------------------------------|---|
| | <p>Ising. Simmetrie, rottura della simmetria e parametro d'ordine. Argomento di Peierls per la transizione di fase nel modello di Ising in $D=2$.</p> <p>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.</p> |
| Testi di riferimento | <p>L. Peliti, "Statistical Mechanics", Princeton University Press.</p> <p>R.K. Pathria, "Statistical Mechanics", Butterworth&Heinemann.</p> <p>K. Huang, "Statistical Mechanics", Zanichelli.</p> <p>D. Dalvit, J. Frastai, I. Lawrie, "Problems on Statistical Mechanics", Institute of Physics Publishing 1999.</p> <p>M. Falcioni, A. Vulpiani, "Meccanica Statistica Elementare: I Fondamenti", Springer 2014.</p> |
| Note ai testi di riferimento | Note del docente disponibili su tutto il programma |
| Materiali didattici | Notes available on Team Class "Statistical Mechanics" |

| | |
|---|---|
| Valutazione | |
| Modalità di verifica dell'apprendimento | Colloquio orale con deduzioni analitiche da riportare per iscritto. |
| Criteri di valutazione | <ul style="list-style-type: none"> ● Conoscenza e capacità di comprensione Capacità di discutere modelli, concetti e principi matematici introdotti nel corso. ● Conoscenza e capacità di comprensione applicate Comprensione adeguata, conoscenza globale e dettagliata degli argomenti e degli sviluppi matematici proposti nel corso. ● Autonomia di giudizio Abilità di interpretare criticamente la rilevanza di risultati specifici nel contesto più generale della fisica statistica e della fisica teorica. ● Abilità comunicative Capacità di discutere in modo chiaro gli argomenti discussi nel corso e la loro rilevanza in un contesto più generale. |
| Criteri di misurazione dell'apprendimento e di attribuzione del voto finale | Il voto finale è attribuito in trentesimi. L'esame si intende superato quando il voto è maggiore o uguale a 18. Il voto deriva in misura del 60% dal grado con cui sono soddisfatti i criteri prima elencati ed in misura del 40% dalla descrizione analitica per iscritto di specifici modelli ed argomenti tra quelli presentati nel corso. La lode è attribuibile quando non si riscontrano incertezze nella conoscenza globale e dettagliata degli argomenti proposti nel corso, dal punto di vista fisico e matematico. |
| Altro | |