

CORSO DI STUDIO *Physics (LM-17)*
ANNO ACCADEMICO 2024-2025
DENOMINAZIONE DELL'INSEGNAMENTO *Critical and Non Equilibrium Phenomena*

Principali informazioni sull'insegnamento	
Anno di corso	1°
Periodo di erogazione	2° semestre: Marzo - Maggio 2025
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 "Critical and Non Equilibrium Phenomena"
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"> - Consolidamento di metodi di fisica statistica per la descrizione di sistemi con molte particelle interagenti e transizioni di fase. - Conoscenza e comprensione della descrizione termodinamica di base dei sistemi non in equilibrio e sua derivazione sulla base di metodi microscopici. - Elementi di base della teoria dei processi stocastici, applicati al moto browniano e alla fisica statistica del non equilibrio.
Prerequisiti	Teoria degli insiemi statistici, conoscenza della fenomenologia generale dei sistemi con transizioni di fase, del campo medio e della teoria di Landau, come studiata nel corso di meccanica statistica. Calcolo e conoscenze di fisica generale a livello del corso triennale di fisica. Termodinamica a livello di libro di testo universitario.

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

Risultati di apprendimento previsti <i>Da indicare per ciascun Descrittore di Dublino (DD=</i>	Descrittore di Dublino 1: Conoscenza e capacità di comprensione <ul style="list-style-type: none"> • Comprensione del metodo scientifico, della natura e delle modalità della ricerca in Fisica • Conoscenza della meccanica statistica e dei metodi statistici • Consolidamento di metodi di fisica statistica per la descrizione di sistemi con molte particelle interagenti e transizioni di fase.
--	---

<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"> • Conoscenza e comprensione della descrizione termodinamica di base dei sistemi non in equilibrio e sua derivazione sulla base di metodi microscopici e teoria dei processi stocastici. <p>Descrittore di Dublino 2: Capacità di applicare conoscenza e comprensione</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno • Capacità di utilizzare lo strumento dell'analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (problem solving) • Capacità di utilizzo di strumenti di calcolo matematico analitico e numerico • Comprensione dei fondamenti, dei modelli paradigmatici e delle tecniche di analisi che rendono possibile la descrizione di sistemi a molti gradi di libertà, anche in assenza di equilibrio termodinamico. • Sviluppo della capacità di applicare i metodi teorici acquisiti nel corso allo studio dell'equilibrio e delle proprietà dinamiche di sistemi classici con particelle interagenti. <p>Descrittore di Dublino 3: Autonomia di giudizio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacità di lavorare con crescenti gradi di autonomia, anche assumendo responsabilità nella programmazione di progetti e nella gestione di strutture • Sviluppo della capacità di interpretare e valutare criticamente la letteratura scientifica più recente e significativa nel campo della meccanica statistica dei fenomeni critici e di non equilibrio. • Capacità di analizzare diverse strategie di ricerca per problemi dinamici per sistemi con molti gradi di libertà interagenti, avendo come punto di riferimento le nozioni apprese nel corso. <p>Descrittore di Dublino 4: Abilità comunicative</p> <ul style="list-style-type: none"> • Competenze nella comunicazione in lingua italiana e in lingua inglese nei settori avanzati della Fisica • Sviluppo della capacità di lavorare in gruppi di 2-3 unità, ai quali è proposta la soluzione di problemi anche complessi di meccanica statistica. • Sviluppo di abilità comunicative 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"> • Acquisizione di strumenti conoscitivi di base per l'aggiornamento continuo delle conoscenze • Capacità di comprendere i progressi attuali e le prospettive di sviluppo nel settore della meccanica statistica avanzata. • Competenze nella consultazione di materiale bibliografico, banche dati e materiale presente sul web.
<p>Contenuti di insegnamento (Programma)</p>	<p>Riepilogo: Comportamento critico dei sistemi all'equilibrio: gruppo di rinormalizzazione, modelli e metodi esatti. Introduzione alla meccanica statistica dei sistemi fuori equilibrio. Processi di non equilibrio: descrizione matematica e modelli</p>

fondamentali. Elementi di Termodinamica del non equilibrio. Teoria di base della meccanica statistica del non equilibrio.

Contenuto dettagliato:

I Parte: Comportamento critico dei sistemi all'equilibrio

Risultati esatti: Trasformazioni di dualità e punto critico per il modello di Ising in $D=2$. Metodo della matrice di trasferimento. Soluzione del modello di Ising in $D=1$. Soluzione esatta del modello di Ising in $D=2$ in termini di passeggiate aleatorie. I problemi.

Gruppo di rinormalizzazione e fenomeni critici: Trasformazioni di scala (blocco, decimazione, ecc.). Simmetria di scala dell'energia libera. Il metodo del gruppo di rinormalizzazione. Il problema della proliferazione delle interazioni. Esempi di calcolo degli esponenti critici nei modelli reticolari.

Approccio teorico sul campo ai fenomeni critici: Teoria dei campi medi e approccio di Landau-Ginzburg. Approssimazione lineare delle equazioni del gruppo di rinormalizzazione e punto fisso gaussiano. Modello Φ^4 . Approccio in serie perturbativa ed espansione dei diagrammi di Feynman al primo e al secondo ordine e della costante di accoppiamento. ϵ -espansione. Equazioni del gruppo di rinormalizzazione e punti fissi non banali. Flusso del gruppo di rinormalizzazione nello spazio dei parametri e calcolo degli esponenti critici.

Altre applicazioni della teoria dello scaling:

Polimeri lineari. Argomento di Fleury per l'interazione del volume escluso. Limite di de Gennes per modelli di spin con simmetria $O(n)$ e polimeri autoevitanti. Esponenti critici.

Modello XY e transizioni di fase mediate da difetti topologici. Modello vettoriale in $D=2$. Approssimazione delle onde di spin. Elementi di classificazione dei difetti topologici. Transizione Kosterlitz-Thouless. Dislocazioni e disclinazioni. Transizioni di fase nei sistemi a disco rigido.

II Parte: Introduzione alla meccanica statistica dei sistemi fuori equilibrio.

Processi di non equilibrio: descrizione matematica e modelli fondamentali:

Processi di non equilibrio: descrizione matematica e modelli fondamentali. Equazione di Chapman-Kolmogorov. Equazione di Fokker-Planck. Catene di Markov. Proprietà spettrali ed ergodicità. Metodi Montecarlo. Esempi di catene di Markov.

Moto browniano. Equazione di diffusione e relazione di Einstein. Equazione di Langevin. Espansione di Kramers-Moyal. Relazione con l'equazione di Fokker-Planck. Equazione di Kramer. Integrali stocastici di Ito e Stratonovich. Tempo medio di fuga da una buca di potenziale.

Elementi di Termodinamica del non equilibrio:

Descrizione continua dei sistemi fluidi. Variabili conservate ed equazioni di bilancio. Continuità ed equazioni di Eulero. Le equazioni di Navier-Stokes.

Equazione di bilancio dell'energia ed equazione generale del calore. Formulazione locale del secondo principio della termodinamica e della produzione di entropia.

Funzioni di risposta e dissipazione. Relazioni fenomenologiche. Teorema di Onsager. Il principio di Curie. La funzione di risposta complessa. Relazioni di dispersione. Regole di somma.

Meccanica statistica del non equilibrio:

Origine del rumore e dei termini di memoria nell'equazione di Langevin. Moto browniano generalizzato. Approssimazione gaussiana. Rallentamento critico e teoria di van Hove. Inversione del tempo. Funzione di correlazione dinamica.

	Funzione di risposta e suscettibilità lineare. (Relazioni Kubo). Teorema delle fluttuazioni-dissipazioni. Principio di regressione di Onsager. Relazioni di reciprocità. Temperatura efficace in sistemi con stati stazionari di non equilibrio.
Testi di riferimento	L. Peliti, "Statistical Mechanics", Princeton University Press. R.K. Pathria, "Statistical Mechanics", Butterworth&Heinemann. K. Huang, "Statistical Mechanics", Zanichelli. S. Ma, "Modern Theory of Critical Phenomena", Westview Press. De Groot , P. Mazur "Non-equilibrium thermodynamics", Dover. P.M. Chaikin, T.C. Lubenski, "Principles of Condensed Matter", Cambridge University Press. R. Kubo, M. Toda, N. Hashitsume, "Non Equilibrium Statistical Mechanics", Springer. R. Zwanzig, "Nonequilibrium Statistical Mechanics".
Note ai testi di riferimento	Note del docente disponibili su tutto il programma
Materiali didattici	Note disponibili su Team Class "Critical and Non Equilibrium Phenomena"

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	