



QUANTUM PHASES OF MATTER

FIS/02 - 6 CFU - 2° semestre

Docenti titolari dell'insegnamento

GIUSEPPE FALCI

Email: gfalci@dmfci.unict.it

Edificio / Indirizzo: Dipartimento di Fisica e Astronomia, Città Universitaria, Ufficio 212

Telefono: 0953785337

Orario ricevimento: Lunedì 18:00-20:00 (ex DMFCI), Mercoledì 10:30-11:30 (DFA)

DARIO ZAPPALA'

Email: dario.zappala@unict.it

Edificio / Indirizzo: Dipartimento di Fisica e Astronomia/via S. Sofia 64

Telefono: 0953785441

Orario ricevimento: Martedì ore 11:00-12:00

OBIETTIVI FORMATIVI

Il corso si propone di fornire allo studente gli elementi di base della fisica dei sistemi fortemente correlati a bassa temperatura, ed alla fisica delle transizioni di fase di secondo ordine nonché alle transizioni di fase quantistica che interessano gli stati di più bassa energia. Verranno analizzati vari esempi per specifici modelli in modo da fornire allo studente una prima introduzione alla classificazione delle fasi della materia dominate da forti fluttuazioni quantistiche. Il corso vuole essere un'avviamento all'attività di ricerca.

- *Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding).* Comprensione critica dei principali fenomeni che caratterizzano le proprietà di bassa temperatura dei sistemi quantistici di molti corpi fortemente interagenti. Capacità di sintesi delle competenze acquisite durante il percorso didattico. Adeguata conoscenza degli strumenti matematici e informatici di uso corrente nei settori della ricerca di base, oltre alla padronanza del metodo scientifico e dei procedimenti adoperati nella ricerca in Fisica.
- *Capacità di applicare conoscenza e comprensione (applying knowledge and understanding)* Capacità di calcolo delle osservabili che caratterizzano le proprietà di bassa temperatura e lo stato fondamentale dei sistemi di molti corpi fortemente interagenti. Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno, in termini di ordine di grandezza e di livello di approssimazione necessario, ed essere in grado di effettuare le approssimazioni richieste. Capacità di utilizzare lo strumento della analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (problem solving). Capacità di utilizzo di strumenti di calcolo matematico analitico e numerico e delle tecnologie informatiche, incluso lo sviluppo di programmi software. Abilità di giudizio autonomo. Capacità di argomentare personali interpretazioni di fenomeni fisici, confrontandosi nell'ambito di gruppi di

lavoro.

- *Abilità comunicative (communication skills)*. Competenze nella comunicazione nell'ambito del corso e durante la prova di esame finale. Gli studenti saranno stimolati ad intervenire durante le lezioni in aula.
- *Capacità di apprendimento (learning skills)* Capacità di accedere alla letteratura specializzata. Capacità di utilizzare banche dati e risorse bibliografiche e scientifiche per estrarne informazioni e spunti atti a meglio inquadrare e sviluppare il proprio lavoro di studio e di ricerca. Capacità di acquisire, attraverso lo studio autonomo, conoscenze in nuovi campi scientifici.

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

L'insegnamento prevede lezioni frontali con spiegazioni o alla lavagna o mediante proiezione di slides.

Qualora per ragioni di emergenza l'insegnamento dovesse essere impartito in "modalità mista" o "a distanza", potrebbero essere introdotte delle variazioni rispetto a quanto dichiarato sopra, al fine di rispettare il programma previsto e riportato nel syllabus.

PREREQUISITI RICHIESTI

Fondamenti di meccanica statistica, fondamenti di Fisica dei molti corpi, seconda quantizzazione.

FREQUENZA LEZIONI

La frequenza alle lezioni è richiesta in quanto necessaria per un pieno apprendimento, a meno di casi eccezionali da valutare singolarmente.

CONTENUTI DEL CORSO

- 1 Path Integral and its application in quantum mechanics, statistical mechanics, quantum field theory.
 - 2 Classical phase transitions. Singularities and order of the transition. Symmetry, symmetry breaking and order parameter. Ginzburg Landau Theory.
 - 3 Dimensional scaling. Relation among critical exponents. Wilson Renormalization Group and determination of critical exponents. Epsilon expansion. Connection with the renormalization of Quantum Field Theory
 - 4 Mermin-Wagner theorem and no ferromagnetic ordered phase in two dimensions. Topological Kosterlitz-Thouless phase transition.
 - 5 Quantum Phase Transitions. Relation between d quantum, and $d+1$ classical phase transitions
-

- 6 Examples of quantum-classical dimensional crossover: one and two dimensional Ising model. Transfer matrix formalism. Quantum Rotor model.

- 7 Examples of Quantum Phase Transitions. The Bose-Hubbard model and physical realizations.

- 8 Transverse Ising Model in one-dimension: ground state, quantum critical point, duality argument, exact solution by Jordan-Wigner transformation.

- 9 Effects of quantum criticality at finite temperature. Thermal crossover and quantum critical region. Thermal crossover in one dimensional Ising model.

- 10 Quantum fluids of matter and light. Superradiance and subradiance.

- 11 Goldstone theorem and the Anderson-Higgs mechanism

TESTI DI RIFERIMENTO

1. R. Feynmann, "Statistical Mechanics: A Set Of Lectures", (Frontiers in Physics) CRC press, 1972.
2. S. Sachdev, "*Quantum Phase Transitions*" (Cambridge University press 2011). X.G. Wen, "*Quantum Field Theory of Many-body Systems: From the Origin of Sound to an Origin of Light and Electrons*", (Oxford University press 2007).
3. X.G. Wen, "*Quantum Field Theory of Many-body Systems: From the Origin of Sound to an Origin of Light and Electrons*", (Oxford University press 2007).
4. G. Mussardo, "Il modello di Ising. Introduzione alla teoria dei campi e delle transizioni di fase", Boringheri 2010
5. Appunti delle lezioni

ALTRO MATERIALE DIDATTICO

Materiale di supporto alle lezioni ed esercitazioni verrà distribuito in classe durante il corso.

PROGRAMMAZIONE DEL CORSO

Argomenti	Riferimenti testi
1 Path Integral and its application in quantum mechanics, statistical mechanics, quantum field theory.	[1,5]
2 Classical phase transitions. Singularities and order of the transition. Symmetry, symmetry breaking and order parameter. Ginzburg Landau Theory.	[2,5]

3	Dimensional scaling. Relation among critical exponents. Wilson Renormalization Group and determination of critical exponents. Epsilon expansion. Connection with the renormalization of Quantum Field Theory	[5]
4	Mermin-Wagner theorem and no ferromagnetic ordered phase in two dimensions. Topological Kosterlitz-Thouless phase transition.	[5]
5	Quantum Phase Transitions. Relation between d quantum, and d+1 classical phase transitions	[2,5]
6	Examples of quantum-classical dimensional crossover : one and two dimensional Ising model. Transfer matrix formalism. Quantum Rotor model.	[2,5]
7	Examples of Quantum Phase Transitions. The Bose-Hubbard model and physical realizations.	[2,5]
8	Transverse Ising Model in one-dimension: ground state, quantum critical point, duality argument, exact solution by Jordan-Wigner transformation.	[3,4,5]
9	Effects of quantum criticality at finite temperature. Thermal crossover and quantum critical region. Thermal crossover in one dimensional Ising model.	[3,4,5]
10	Quantum fluids of matter and light. Superradiance and subradiance.	[5]
11	Goldstone theorem and the Anderson-Higgs mechanism	[5]

VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

- L'esame orale standard comprende: (a) esposizione di un argomento a scelta del candidato, concordato in anticipo col docente; (b) esposizione di un argomento scelto dal candidato tra tre proposti dal docente, di diversa difficoltà. Il superamento dell'esame dipende dalla prova (a) mentre la (b) determina la valutazione.
- A richiesta dello studente, e previo il consenso del docente, la prova (a) può essere sostituita da un elaborato che comprenda un calcolo analitico o numerico che lo studente dovrà sviluppare in maniera indipendente ma assistita.
- La valutazione è operata tenendo conto di: pertinenza delle risposte rispetto alle domande formulate; livello di comprensione dei contenuti esposti; accuratezza nell'esposizione dei calcoli; capacità di collegamento con altri temi dell'insegnamento (o di insegnamenti precedenti) e di riportare esempi; proprietà di linguaggio e chiarezza espositiva.