



UNIVERSITÀ DI PISA

FISICA DEI SISTEMI A MULTICORPI

MARIA LUISA CHIOFALO

Academic year	2016/17
Course	FISICA
Code	276BB
Credits	9

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
FISICA DEI SISTEMI A MULTICORPI	FIS/03	LEZIONI	54	MARIA LUISA CHIOFALO

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

1. Sviluppare **conoscenza concettuale, procedurale e fattuale** nella fisica di sistemi con molte particelle (quantistiche) interagenti, dove agendo su temperatura, dimensionalità, e forza di interazione è possibile stabilire condizioni di forti correlazioni in proprietà di carica/densità e spin.

Per questo, si prevede di:

- (a) discutere qualitativamente mediante la fisica di base le idee emergenti da fatti sperimentali ed esempi di vita quotidiana, approfondendo all'occorrenza metodi sperimentali e possibili applicazioni;
- (b) formalizzare i concetti (**conoscenza concettuale**); e
- (c) sviluppare e classificare la conoscenza di metodi teorici e di simulazione per le predizioni quantitative (**conoscenza procedurale e fattuale**), incluso Teoria della Risposta Lineare e funzioni di correlazione, Fluido- e Idrodinamica quantistiche, Teoria del Funzionale di Densità (Dipendente dal Tempo), metodi Quantum Monte Carlo, Density Matrix Renormalization Group.

Modalità di verifica delle conoscenze

La verifica è formulata mediante **prova orale**. In particolare, la prova parte dall'esame di un problema di fisica dei molti corpi non discusso nel corso, che si richiede allo/a studente di individuare in autonomia o con l'accompagnamento del/la docente. Nel corso della prova, sarà possibile approfondire aspetti dei casi di studio discussi. La verifica viene effettuata secondo le seguenti Aree di competenza:

- (a) aver compreso idee e concetti e saperli comunicare utilizzando conoscenze di fisica di base;
- (b) saper formalizzare i concetti e saperli trattare attraverso l'uso di uno o più tra i metodi sviluppati nel corso e relative procedure;
- (c) saper connettere la comprensione concettuale e la formalizzazione del problema con la fenomenologia e i fatti sperimentali disponibili, e avere un'idea delle applicazioni;
- (d) autonomia, consapevolezza della mappa concettuale e di quanto appreso, efficacia ed efficienza nella comunicazione scientifica.

Nel corso della prova orale, utilizzando i seguenti criteri di valutazione della conoscenza procedurale e fattuale. In particolare, le capacità sono valutate in misura del 60% per la conoscenza concettuale del valore del punteggio massimo per ogni Area (a)-(c). I punteggi massimi per ogni Area sono così composti:

- fino a **18 punti** per l'Area (a)
- fino a **6 punti** per l'Area (b)
- fino a **4 punti** per l'Area (c)
- fino a **5 punti** per le competenze trasversali (d)

Capacità

2. Organizzare e mettere in relazione questa conoscenza disciplinare in una stessa mappa concettuale con termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, meccanica quantistica, teorie di campo, e struttura della materia nelle sue diverse realizzazioni, facendo emergere come le proprietà macroscopiche siano governate da leggi di conservazione e rotture di simmetria accompagnate da elasticità, modi dinamici a bassa frequenza e difetti.

- 3. Saper individuare la procedura più funzionale alla soluzione di un dato problema
- 4. Saper applicare le tecniche di calcolo relative alle diverse procedure di soluzione

Modalità di verifica delle capacità

La verifica è formulata mediante **prova orale**. In particolare, la prova parte dall'esame di un problema di fisica dei molti corpi non discusso nel corso, che si richiede allo/a studente di individuare in autonomia o con l'accompagnamento del/la docente. Nel corso della prova, sarà possibile approfondire aspetti dei casi di studio discussi. La verifica viene effettuata secondo le seguenti Aree di competenza:

- (a) aver compreso idee e concetti e saperli comunicare utilizzando conoscenze di fisica di base;
- (b) saper formalizzare i concetti e saperli trattare attraverso l'uso di uno o più tra i metodi sviluppati nel corso e relative procedure;
- (c) saper connettere la comprensione concettuale e la formalizzazione del problema con la fenomenologia e i fatti sperimentali disponibili, e



UNIVERSITÀ DI PISA

avere un'idea delle applicazioni;

(d) autonomia, consapevolezza della mappa concettuale e di quanto appreso, efficacia ed efficienza nella comunicazione scientifica.

Nel corso della prova orale, utilizzando i seguenti criteri di valutazione della conoscenza procedurale e fattuale. In particolare, le capacità sono valutate in misura del 30% per la conoscenza procedurale e del 10% per quella fattuale, del valore del punteggio massimo per ogni Area (a)-(d). I punteggi massimi per ogni Area sono così composti:

- fino a **18 punti** per l'Area **(a)**
- fino a **6 punti** per l'Area **(b)**
- fino a **4 punti** per l'Area **(c)**
- fino a **5 punti** per le competenze trasversali **(d)**

Comportamenti

- Curiosità e spirito critico
- Interesse
- Iniziativa e partecipazione attiva
- Correttezza al momento della valutazione

Modalità di verifica dei comportamenti

La verifica dei comportamenti viene operata in aula mediante osservazione, utilizzando i dati d'uso del materiale collocato sul portale elearning, e di nuovo mediante osservazione in aula nel corso dell'esame.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Prerequisito di accesso al corso è la conoscenza di base di dinamica, termodinamica ed elementi di meccanica statistica, elettromagnetismo, struttura della materia e meccanica quantistica acquisiti nel corso di studi triennale.

Utili e molto preferibili sebbene non indispensabili sono conoscenze di fisica dei solidi

Indicazioni metodologiche

Si intende utilizzare due esempi complementari rispetto alle caratteristiche di carica/densità e di spin, tratti da campi di ricerca di frontiera (fluidi elettronici in sistemi a bassa dimensionalità e gas atomici ultrafreddi quantistici) per acquisire le seguenti competenze, ovvero imparare a saper:

- (a)** discutere qualitativamente le idee emergenti a partire da concetti di fisica di base già acquisiti nel corso di studio triennale e dalla fenomenologia - preferibilmente disponibile dalla vita di tutti i giorni - e fatti sperimentali;
- (b)** formalizzare i concetti utili;
- (c)** sviluppare i principali strumenti e metodi teorici e di simulazione per le previsioni quantitative;
- (d)** discutere la connessione tra funzioni di correlazione e misure (teorema di fluttuazione e dissipazione) e, all'occorrenza, i principi alla base dei principali metodi sperimentali;
- (d)** mettere in luce le possibili applicazioni;
- (e)** al termine di ogni argomento, costruire in modo interattivo una mappa concettuale che lo rappresenta, evidenziando concetti e relazioni tra questi.
- (f)** al termine di ogni argomento, si sviluppa lo studio di un caso per acquisire pratica d'applicazione della conoscenza procedurale e fattuale

Programma (contenuti dell'insegnamento)

A. Introduzione al corso e mappa concettuale delle idee...

...discusse qualitativamente attraverso un esempio: l'acqua.

B. Struttura e scattering

Generalità e concetti essenziali. Misure e Funzioni di correlazione, Funzioni di risposta e Idrodinamica (quantistica) attraverso un semplice modello.

[Durante il corso saranno all'occorrenza discussi i seguenti temi: Principi e Metodi sperimentali per determinare la struttura della materia. Fenomenologia sulle caratteristiche essenziali di simmetria e di struttura dei gas e dei liquidi, dei solidi cristallini, dei cristalli liquidi, di quasi-cristalli, di sistemi superfluidi e di sistemi con ordine magnetico. Simmetrie discrete e continue e relazioni con termodinamica e meccanica statistica. Effetti della dimensionalità.]

C. Metodi Teorici per sistemi fortemente correlati

C.1 Sistemi a simmetria massima. Sviluppo di metodi teorici a partire dalla misura e dalle funzioni di correlazione trattate fenomenologicamente in B, e relazione tra questi:

- Teoria della Risposta lineare
- Teoria del Funzionale di Densità statico (DFT) e dipendente dal tempo (TDDFT)
- Funzioni di correlazione e funzioni di Green (un dizionario con le funzioni di risposta) e sviluppi perturbativi. Applicazioni a sistemi debolmente interagenti
- Dimensionalità e sistemi fortemente correlati: modelli e teorie per sistemi unidimensionali. Tecniche di bosonizzazione

C.2 Sistemi a simmetria rotta.

- Concetti di scaling, esponenti critici e universalità. Introduzione ai concetti di scaling, esponenti critici e universalità attraverso la soluzione di problemi esemplari in approssimazione di campo medio: modello di Ising (se il tempo a disposizione lo consente, anche alla transizione liquido-gas, transizione liquido isotropico-nematico, transizione liquido-solido)



UNIVERSITÀ DI PISA

- Condizioni di validità della teoria di campo medio e fluttuazioni. Calcolo di esponenti critici in campo medio
- Relazioni di scala in sistemi fortemente correlati
- Effetti della dimensionalità

Applicazione dei metodi attraverso lo studio di due casi con rottura di simmetria:

D.1 Rottura di simmetria continua. Applicazione della Teoria della Risposta Lineare e delle Correlazioni Dinamiche, DFT e sua estensione a fenomeni dipendenti dal tempo (TD-DFT), Idrodinamica ed equazioni di Navier-Stokes microscopiche, e relazioni concettuali e metodologiche queste. Caso di studio: superfluidità e condensazione di Bose-Einstein in gas atomici quantistici.

D.2 Rottura di simmetria discreta. Applicazione delle tecniche di bosonizzazione. Caso di studio: sistema di spin unidimensionale.

E. Principi alla base dei Metodi Simulativi per sistemi fortemente correlati: in forma seminariale/laboratoriale, con la collaborazione di esperti/e del settore o in collegamento con altri corsi

E.1 Quantum Monte Carlo (QMC): Variational, Diffusion, Reptation, Path-Integral QMC.

E.2 Implementazioni della DFT.

E.3 Density Matrix Renormalization Group (DMRG).

E.4 Approfondimenti seminariali/laboratoriali facoltativi, da concordare con i/le partecipanti.

[F. Difetti: un " dizionario" (se il tempo a disposizione lo consente)]

Caratterizzazione secondo le proprietà di simmetria della struttura. Generalità sui difetti topologici, esempi ed applicazioni: vortici e dislocazioni, transizione di Kosterlitz-Thouless. Generalità su domini e solitoni, esempi e applicazioni.

Bibliografia e materiale didattico

Testi e articoli sono disponibili o in Biblioteca di Fisica e/o online, o in copia. Altro materiale didattico è sul portale elearning del corso, dove sono anche suggerimenti per l'uso ragionato dei diversi testi, per ogni argomento.

5.1 Generali:

– P.M. Chaikin and T.C. Lubensky, *Principles of Condensed Matter Physics*, Cambridge University Press (1995)

– L.P. Kadanoff and G. Baym, *Quantum Statistical Mechanics*, Benjamin (1962)

– G.D. Mahan, *Many-Particle Physics*, Springer (2000)

– C. Kittel, *Quantum Theory of Solids*, Wiley (1987)

– P. Nozières and D. Pines, *Theory of Quantum Liquids I – II*, Westview Press (1999)

– D. Forster, *Hydrodynamic Fluctuations, Broken Symmetry, And Correlation Functions*, Adv. Books Classics (1995)

– T. Giamarchi, *Quantum Physics in One Dimension*, Clarendon Press

– G. Iadonisi, G. Cantele, and M.L. Chiofalo, *Introduction to Solid State Physics and Crystalline Nanostructures*, Springer (2014)

– G. Grosso and G. Pastori Parravicini, *Solid State Physics*, Academic Press (2000)

5.2 Utili per specifiche parti del programma:

– P.C. Martin, *Measurements and Correlation Functions*, Gordon and Breach (1968)

– P.C. Hohenberg and P.C. Martin, *Microscopic Theory of Superfluid Helium*, *Annals of Physics* 34, 291-359 (1965)

– G. Vignale, C. A. Ullrich, S. Conti, *Time-Dependent Density Functional Theory and beyond the Adiabatic Local Density Approximation*, *Phys. Rev. Lett.* 79, 4878 (1997)

– W.M. Foulkes, L. Mitas, R.J. Needs, and G. Rajagopal, *Quantum Monte Carlo Simulations of Solids*, *Review of Modern Physics* 73, 33 (2001)

– U. Schollwöck and S.R. White, *Methods for Time Dependence in DMRG*, in *Effective Models for Low-Dimensional Strongly Correlated Systems*, G.G. Batrouni and D. Poilblanc Eds., p. 155 AIP, Melville, New York (2006)

5.3 Altre letture consigliate

– L. A. Bloomfield, *How Things Work*, Wiley (2013)

Indicazioni per non frequentanti

Si consiglia di utilizzare al massimo delle potenzialità il materiale e le opportunità di verifica sul portale elearning di Fisica

Modalità d'esame

La valutazione è formulata mediante **prova orale**. In particolare, si richiede allo/a studente di individuare, in autonomia o con l'accompagnamento del/la docente, un problema di fisica dei molti corpi non discusso nel corso ovvero approfondire aspetti dei casi di studio discussi e dimostrare:



UNIVERSITÀ DI PISA

- (a) di aver compreso idee e concetti e saperli comunicare utilizzando conoscenze di fisica di base;
(b) di saper formalizzare i concetti e saperli trattare attraverso l'uso di uno o più tra i metodi sviluppati nel corso e relative procedure;
(c) di saper connettere la comprensione concettuale e la formalizzazione del problema con la fenomenologia e i fatti sperimentali disponibili, e avere un'idea delle applicazioni;
(d) autonomia, consapevolezza della mappa concettuale e di quanto appreso, efficacia ed efficienza nella comunicazione scientifica.

Pagina web del corso

<https://elearning.df.unipi.it>

Altri riferimenti web

<https://www.dm.unipi.it/elearning>

Note

L'intenzione è destinare il corso sia a studenti che vogliano specializzarsi nella fisica della materia condensata che a coloro che vogliano semplicemente complementare le proprie conoscenze. La scelta del corso è dunque privilegiare l'ampiezza di visione concettuale e metodologica piuttosto che il dettaglio delle tecniche, che possono poi essere sempre approfondite all'occorrenza.

Ultimo aggiornamento 22/05/2017 01:39