



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Solid State Physics

2021-1-F5302Q001

Obiettivi

Il Corso si pone come obiettivo l'apprendimento di concetti, metodi e di modelli per la fisica dei solidi cristallini, perfetti ed infiniti. A tal fine, una prima parte del Corso è dedicata alla trattazione di quei fenomeni più semplicemente descrivibili in termini di particelle non interagenti, con particolare attenzione alle tecniche di calcolo delle grandezze macroscopiche, sulla base di variabili microscopiche. La seconda analizza invece quei fenomeni più complessi, originati dall'interazione tra particelle, che danno luogo a rilevanti proprietà macroscopiche dei solidi perfetti ed infiniti. In questa fase viene posta l'attenzione sulla comprensione di concetti poco intuitivi e sulla linea ideale del ragionamento, privilegiando - anche qui - il carattere metodologico rispetto a quello antologico. La complementazione di un Testo principale con altro materiale caricato sul sito del Corso, costituisce parte importante dell'insegnamento metodologico, che questo Corso della Laurea Magistrale intende dispensare.

Contenuti sintetici

Prima parte

1. RASSEGNA DELLE STRUTTURE CRISTALLINE E DEI RETICOLI DI BRAVAIS, DIRETTI E RECIPROCI
2. DINAMICA RETICOLARE IN TRE DIMENSIONI
3. PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLIDI NELL' APPROCCIO ARMONICO ED ANARMONICO
4. GAS DI ELETTRONI LIBERI ED INDIPENDENTI, PROPRIETÀ TERMICHE CONNESSE
5. FONDAMENTI DELLE BANDE ELETTRONICHE E CASI REALISTICI
6. TRASPORTO DI CARICA E DI CALORE CON ELETTRONI

Seconda parte

7. CALCOLO DELLE BANDE ELETTRONICHE CON METODI DA PRINCIPI PRIMI
8. SCREENING ELETTRONICO ED ENERGIE STRUTTURALI NEI METALLI

- 9. DIAMAGNETISMO, PARAMAGNETISMO E LIVELLI DI LANDAU
- 10. FERROMAGNETISMO ITINERANTE E PER SPIN LOCALIZZATI
- 11. LA SUPERCONDUTTIVITÀ E LA TEORIA DI BCS

Programma esteso

STRUTTURE CRISTALLINE E DIFFRAZIONE

- Brevi richiami di reticolo diretto e di strutture cristalline notevoli
- Costruzione di reticolo reciproco e zona di Brillouin di un fcc e di un bcc
- Calcolo delle distanze tra punti ad alta simmetria nella zona di Brillouin del silicio.

DINAMICA RETICOLARE

- Matrice delle costanti di forza e sue simmetrie
- Matrice dinamica ed equazioni di moto
- Costruzione e diagonalizzazione matrice dinamica per fcc monoatomico: autovalori e displacement patterns
- Catena lineare biatomica
- Curve di dispersione di cristalli reali
- Scattering inelastico di radiazione e misura della dispersione da scattering neutronico

PROPRIETÀ TERMICHE

- Dai modi normali ai fononi come quasiparticelle
- Densità di stati vibrazionali
- Calore specifico di Debye e di Einstein
- Potenziali anarmonici e calore specifico nel regime di Dulong Petit

- Equazione di stato di un solido
- Espansione termica e parametro di Gruneisen
- Conducibilità termica

GAS DI ELETTRONI LIBERI

- Richiami sul gas elettronico a $T = 0$, repulsione sterica
- Densità di stati in 1, 2 e 3 dimensioni
- Andamento del potenziale chimico in T
- Contributo elettronico al calore specifico e i Fermioni pesanti
- La funzione lavoro e l'emissione termica di elettroni

BANDE ELETTRONICHE

- Espansione in onde piane ed equazione centrale
- Onde di Bloch e nuovo significato del momento p
- Costruzione dello schema a bande in reticolo vuoto
- Apertura del gap a bordo zona e sua interpretazione

- Espansione dell'onda di Bloch in orbitali atomici: tight binding (TB)
- Energie di banda in funzione di parametri TB e dei vicini.
- Costruzione e diagonalizzazione matrice tight binding a primi vicini per silicio.
- Interpretazione di bande reali e loro densità di stati
- Misura della dispersione di bande per fotoemissione risolta in angolo

TRASPORTO ELETTRONICO

- Il modello semiclassico dei pacchetti di onde di Bloch
- Il tensore di massa efficace e il concetto di buca positiva
- L'equazione di Boltzman: bilancio tra processi di drift e quelli di scattering
- L'approssimazione del tempo di rilassamento per i processi di scattering
- Meccanismi microscopici che presiedono allo scattering di cariche
- Il modello classico del trasporto di Drude e i suoi limiti
- La conducibilità elettrica come integrale della superficie di Fermi
- Dipendenza della resistività dalla temperatura nei solidi metallici
- Trasporto di calore da elettroni
- Relazione di Wiederman-Franz
- Effetti termoelettrici (Peltier e Seebeck)

OLTRE L'ELETTRONE SINGOLO

- Dal sistema a più elettroni all'equazione di campo medio: Hartree
- L'equazione di Hartree-Fock e il significato del termine di scambio
- Energia del gas di elettroni liberi e interagenti come funzionale di densità
- Il teorema di Hohenberg e Kohn e l'equazione di Kohn-Sham
- Il metodo del funzionale di densità nella approssimazione locale DFT-LDA
- Il calcolo autoconsistente delle funzioni di particella indipendente
- Il metodo cellulare, il potenziale muffin-tin e lo sviluppo in onde piane aumentate
- L'ortogonalizzazione sugli stati di core: onde piane ortogonalizzate e pseudopotenziale

LO SCHERMO DL GAS DI ELETTRONI

- Dalle equazioni di Poisson alle relazioni tra χ e χ_0 : modello classico
- Il modello di schermo elettrostatico di Thomas-Fermi (susceptività costante)
- Il modello di schermo elettrostatico di Linhard (susceptività dipende da q)
- L'interpretazione quantistica della inefficacia dello schermo per $q > 2k_F$ e le onde di densità di carica
- Dal modello a Jellium al metallo reale: calcolo perturbativo al primo ordine
- Energia di coesione per diverse strutture nei metalli semplici: il potenziale a due corpi efficace.

PROPRIETÀ MAGNETICHE DEI SOLIDI

- Definizione di M e χ ; introduzione alla Hamiltoniana con potenziale vettore
- Diamagnetismo e paramagnetismo di isolanti, valori trascurabili
- Paramagnetismo di Pauli, derivazione stati di Landau e diamagnetismo del gas di elettroni liberi
- Effetto de Haas - van Alphen

IL FERROMAGNETISMO

- Modello di Stoner del ferromagnetismo itinerante per solidi metallici
- Effetto della temperatura nel modello di Stoner, temperatura di Curie
- Origine delle interazioni ferromagnetiche nei solidi isolanti e modello di Heisenberg
- Ferromagnetismo di isolanti, temperatura di Curie e suscettibilità vs T
- Stati eccitati magnetici: onde di spin. Altre eccitazioni collettive nei solidi
- Domini ferromagnetici

LA SUPERCONDUTTIVITÀ

- Esperienza di Onnes e introduzione alla superconduttività
- Effetto Meissner Ochsenfeld: espulsione del campo magnetico
- Termodinamica della transizione a superconduttore: entropia e calore specifico
- Equazioni di London e London : spessore di penetrazione di correnti e di campo magnetico

- Origine attrazione nella coppia di Cooper; instabilità del mare di Fermi
- Derivazione dello stato fondamentale BCS da metodo variazionale
- Esistenza del gap, sua natura e definizione di stati eccitati
- Dipendenza di gap da T, relazione tra Tc e gap a T = 0; effetto isotopico
- La supercorrente come stato stazionario e valore critico di corrente e campo magnetico

Prerequisiti

Struttura della materia, fisica quantistica di atomi e di molecole

Introduzione elementare alla fenomenologia dei materiali

Elementi di analisi complessa, funzioni speciali, serie e trasformate

Modalità didattica

Lezioni frontali ed esercitazioni. Per questo anno accademico 2020/2021, in osservanza delle disposizioni di ateneo contro il Covid 19, le lezioni e le esercitazioni verranno erogate a distanza, in modalità asincrona, ma verranno anche organizzati degli incontri periodici via Webex in modalità sincrona, in cui gli studenti saranno invitati ad esporre dubbi e richiedere chiarimenti.

Materiale didattico

TESTO PRINCIPALE

H. IBACH AND H. LUTH, *Solids State Physics*, Springer Verlag

CAPITOLI AGGIUNTIVI PRESI DAI SEGUENTI TESTI, COME RESI DISPONIBILI SULLA PIATTAFORMA E-LEARNING:

N.W ASHCROFT AND N.D. MERMIN, *Solid State Physics*, Saunders College Publishing

F. BASSANI E U. GRASSANO, *Fisica dello Stato Solido*, Casa Editrice Boringhieri

G. GROSSO AND G. PASTORI PARRAVICINI, *Solid state Physics*, Academic Press

A.P. SUTTON, *Electronic Structure of Materials*, Oxford University Press

J.R. HOOK and H.E. Hall, *Solid State Physics*, John Wiley & Sons

S. BLUNDELL, *Magnetism in Condensed Matter*, Oxford University Press.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo e secondo semestre a diversa periodicità di lezioni. Si segnala che le lezioni inizieranno con la seconda parte del primo semestre, per permettere al corso di azzeramento in meccanica quantistica e al corso di analisi funzionale di impartire gran parte delle nozioni necessarie a seguire questo corso. Gli studenti sono invitati quindi a seguirli con attenzione e costanza.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in un colloquio finale, eventualmente segmentabile in due tranches, in cui si verificherà la capacità di sviluppare derivazioni matematiche e interpretazioni relative alla prima parte del corso, formalmente più semplice, e una descrizione, maggiormente basata sulla comprensione dei fenomeni, della seconda e più complessa parte del corso stesso. Per questo anno accademico 2020/2021, in base alle disposizioni di ateneo per l'emergenza Covid 19, gli esami sono previsti in modalità remota via Webex, almeno fino a quando tali disposizioni rimarranno vigenti.

Orario di ricevimento

Per appuntamento, scrivendo una e-mail a leo.miglio@unimib.it, oppure a roberto.bergamaschini@unimib.it. In particolare, sono incoraggiati gli incontri in remoto, via Webex, almeno fino a quando non sarà rientrata l'emergenza Covid 19.
