



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Solid State Physics

1819-1-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 dalla 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 diversi altri, a seconda dell'argomento, costituisce parte importante dell'insegnamento metodologico, che questo Corso della Laurea Magistrale intende dispensare.

Contenuti sintetici

Prima parte

BREVE RASSEGNA DELLE STRUTTURE CRISTALLINE E RETICOLI DI BRAVAIS

DINAMICA RETICOLARE IN TRE DIMENSIONI

PROPRIETÀ TERMICHE DEI SOLIDI NELL' APPROCCIO ARMONICO ED ANARMONICO

GAS DI ELETTRONI LIBERO ED INDIPENDENTI

FONDAMENTI E CALCOLO DELLE BANDE ELETTRONICHE

TRASPORTO DI CARICA IN METALLI

PARAMAGNETISMO E DIAMAGNETISMO; LIVELLI DI LANDAU

Seconda parte

CALCOLO DELLE BANDE ELETTRONICHE CON METODI DA PRINCIPI PRIMI

SCREENING ELETTRONICO ED ENERGIE STRUTTURALI NEI METALLI

FERROMAGNETISMO ITINERANTE E PER SPIN LOCALIZZATI

LA SUPERCONDUTTIVITÀ E LA TEORIA DI BCS

Programma esteso

STRUTTURE CRISTALLINE E DIFFRAZIONE

- _ Brevi richiami di reticolo diretto.
- _ Costruzione di reticolo reciproco e zona di Brillouin di un fcc e di un bcc; calcolo della distanza tra Γ e W in 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
- _ 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
- _ 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
- _ Energia 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 DI CARICA

- _ 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
- _ Relazione di Wiederman-Franz
- _ Trasporto di calore da elettroni
- _ Effetti termoelettrici (Peltier e Seebeck)

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

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 ϵ e χ : modello classico
- _ Il modello di schermo elettrostatico di Thomas-Fermi (susceptività costante)
- _ Il modello di schermo elettrostatico di Linhard (susceptività dipende da q)
- _ La 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.

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 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

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
- _ 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 T_c e gap a $T = 0$; effetto isotopico
- _ La supercorrente come stato stazionario e valore critico di corrente e campo magnetico

DIFETTI NEI SOLIDI

- _ Stato dell'impurezza sostituzionale in semiconduttori mediante onde di Bloch

Prerequisiti

Struttura della materia, fisica quantistica di atomi e di molecole

Introduzione elementare alla fisica dei solidi, o dei materiali

Elementi di analisi complessa, funzioni speciali, serie e trasformate

Modalità didattica

Lezioni frontali

Materiale didattico

TESTO PRINCIPALE

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

CAPITOLI AGGIUNTIVI PRESI DAI SEGUENTI TESTI:

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

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in un colloquio finale, eventualmente segmentabile in due tranches, in cui si verifica la capacità di sviluppare derivazioni e interpretazioni scritte, relative alla prima parte, formalmente più semplice, del corso e una descrizione, sempre orale, della seconda parte, più complessa, del corso stesso.

Orario di ricevimento

Per appuntamento scrivendo una e-mail a leo.miglio@unimib.it. Normalmente di Lunedì, Mercoledì o Venerdì nella settimana stessa.
