UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Solid State Physics

2324-1-FSM01Q001

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, il Corso si compone di due parti. Nella prima parte vengono trattati fenomeni più semplicemente descrivibili in termini di particelle non interagenti (elettroni, o fononi), con particolare attenzione alle tecniche di calcolo delle grandezze macroscopiche sulla base di variabili microscopiche. La seconda parte include quei fenomeni legati agli elettroni nel reticolo cristallino, che determinano la struttura a bande e le proprietà di trasporto, e si basa anch'essa sulla combinazione tra ragionamento fisico e analisi matematica. Alla fine di ogni argomento verranno dedicate due ore di esercitazioni per rendere familiari i concetti e migliorare la comprensione attraverso una discussione con gli studenti. La complementazione di un Testo principale con il materiale caricato sul sito del Corso costituisce parte importante dell'insegnamento metodologico che questo Corso fonfamentale della Laurea Magistrale intende dispensare.

Contenuti sintetici

Parte 1
I. Strutture cristalline e diffrazione
II. Dinamica reticolare e teoria elastica dei solidi
III. Proprietà termiche dei solidi
IV. Gas di elettroni liberi

Parte 2
V. Bande elettroniche
VI. Trasporto elettronico di carica
VII. Trasporto elettronico di calore ed effetti termoelettrici

Programma esteso

PARTE 1

I. Strutture cristalline e diffrazione

- Reticoli di Bravais e strutture cristalline notevoli
- Teoria della diffrazione e tecniche sperimentali
- Costruzione di reticolo reciproco e zona di Brillouin, in particolare per strutture FCC, BCC e HCP
- Calcolo della distanze tra punti ad alta simmetria nella zona di Brillouin del Silicio.

II. Dinamica reticolare

- Elementi di dinamica reticolare: matrice delle costanti di forza e sue simmetrie, matrice dinamica ed equazioni di moto
- Relazioni di dispersione e spostamenti di una catena lineare biatomica
- Teoria della elasticità ed onde sonore
- Costruzione e diagonalizzazione matrice dinamica per fcc monoatomico: autovalori e displacement patterns
- Modi normali come modi collettivi
- Fononi e loro statistica.
- Scattering inelastico e misura della dispersione dei fononi tramite scattering neutronico

III. Proprietà termiche dei solidi

- Densità di stati vibrazionali
- Calore specifico di Debye e di Einstein
- Potenziali anarmonici e loro effetti: espansione termica e calore specifico di oscillatore 1-D
- Espansione termica e parametro di Gruneisen in 3-D
- Conducibilità termica tramite vibrazioni reticolari in 3-D

IV. Gas di elettroni liberi

- Modello degli elettroni liberi
- La statistica di Fermi-Dirac per gli elettroni
- Densità degli stati: definizione e calcolo per gas 3-D, 2-D e 1-D.
- Andamento del potenziale chimico con la temperatura
- Contributo elettronico al calore specifico e i fermioni pesanti
- Emissione termica di elettroni: fisica ed applicazioni

PARTE 2

V. Bande elettroniche

- Potenziale periodico, equazione centrale e stati di Bloch
- Costruzione dello schema a bande nel caso di reticolo-vuoto
- Bande nel modello di elettrone quasi-libero: apertura del gap al bordo della zona di Brillouin ed interpretazione
- Introduzione al modello Tight-Binding (TB)
- Calcolo di bande nel modello TB: ruolo dei vicini e della base di orbitali atomici e integrali di hopping
- Costruzione e diagonalizzazione della 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

**VI. Trasporto elettronico di carica **

- Il modello semiclassico e moto degli elettroni in banda in presenza di un campo elettrico
- 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
- La conducibilità elettrica nei metalli
- Dipendenza della conducibilità elettrica dalla temperatura
-
- **VII. Trasporto elettronico di calore **
- Equazione di Boltzman generalizzata ai gradienti termici
- Trasporto di calore da elettroni e relazione di Wiederman-Franz
- Effetti termoelettrici (Peltier e Seebeck) e applicazioni

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 di Fourier

Modalità didattica

Lezioni frontali ed esercitazioni.

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 O DISPONIBILI DALLA BIBLIOTECA DI ATENEO:

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

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

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

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo semestre a diversa periodicità di lezioni. Le lezioni inizieranno con densità crescente nella seconda parte del primo semestre, per permettere al corso di analisi funzionale di impartire gran parte delle nozioni necessarie a seguire questo corso. Gli studenti sono invitati quindi a seguirlo con attenzione e costanza.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in uno scritto, discusso e argomentato durante una sessione orale di correzione individuale. In particolare, l'esame consiste in una prova scritta con quattro domande aperte, inclusa la derivazione matematica di alcuni risultati fisici, seguita da un colloquio orale di discussione e approfondimento sullo scritto.Questa modalità vale per gli studenti di qualsiasi coorte, a partire dall' a.a. 2023/2024, che vogliano dare un esame unico nelle nove sessioni annuali previste durante le pause delle lezioni. Ovviamente, uno studente che segue le lezioni dell'anno accademico, può usare questa modalità solo nelle sessioni d'esame che seguono il termine delle lezioni.

Durante il periodo delle lezioni, tuttavia, gli studenti frequentati il corso avranno la possibilità di suddividere l'esame in due prove parziali, una relativa agli argomenti della Parte 1 del corso e l'altra relativa agli argomenti della Parte 2. Tali prove parziali consisteranno di una prova scritta con domande aperte, inclusa la derivazione matematica di alcuni risultati fisici, seguita da un breve colloquio orale di discussione sullo scritto. Dal momento che questo percorso assistito tramite prove parziali richiede che gli studenti studino in parallelo allo svolgimento delle lezioni, la partecipazione attiva alle lezioni è fortemente raccomandata. Per agevolare la preparazione, organizzare e spiegare le modalità d'esame e rispondere a qualsiasi domanda sugli argomenti delle lezioni, prima di ciascun esame parziale verrà organizzato un incontro con gli studenti iscritti, e aperto a tutti gli altri. Se uno studente fallisce il test sulla prima parte, avrà una (sola) ulteriore occasione di riprovarlo, prima che le lezioni della seconda parte del corso siano terminate; se fallisce il test sulla seconda parte,, avrà una (sola) ulteriore occasione di riprovarlo, entro il termine di inizio del secondo semestre.

Orario di ricevimento

Per appuntamento, scrivendo una e-mail a leo.miglio@unimib.it, oppure - per domande riguardati gli esami - a roberto.bergamaschini@unimib.it

Sustainable Development Goals

ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE