UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

# COURSE SYLLABUS

# Advanced Solid State Physics

**2324-1-FSM01Q021**

## Obiettivi

Gli obiettivi di questo corso avanzato di Fisica dello Stato Solido sono di fornire quegli strumenti concettuali e quelle nozioni che sono particolarmente utili a chi intraprende un percorso di approfondimento dei materiali per le tecnologie digitali e per le tecnologie quantistiche. Tuttavia, questo corso rimane utile anche per chi è interessato ai materiali per l'efficienza energetica, come quei materiali che entrano nei cavi superconduttori, nei LED e nei dispositivi per l'elettronica di potenza.

## Contenuti sintetici

Oltre il modello del solido infinito e periodico: superfici dei solidi e difetti sostituzionali in semiconduttori, nello schema di elettroni non interagenti.
Oltre il modello di elettroni non interagenti in un solido perfetto: teorie dei multi-elettroni, schermo elettronico, effetti di un campo magnetico, ferromagnetismo e superconduttività.

## Programma esteso

Oltre il cristallo periodico infinito: superfici e difetti sostituzionali da bande

- Cos'è una superficie, o un'interfaccia, reticoli di Bravais 2-D
- La tecnica LEED
- Microscopie di superficie
- Densità di carica alle superfici metalliche
- Stati di superficie da elettroni quasi liberi
- Stati superficiali da elettroni localizzati

- Spettroscopia di fotoemissione
- Stati superficiali nei metalli
- L'approccio dell' orbitale ibrido
- Superfici ideali di semiconduttori
- Le complesse ricostruzioni della Si (111)
- Coppie di dimeri nelle ricostruzioni delle (100) e (110)
- Trasferimento di carica alle superfici polari
- Energia superficiale e tensione superficiale
- Le morfologie di equilibrio di nano- micro-cristalli
- Vibrazioni superficiali
- Scattering anelastico di He e dispersioni realistiche
- Impurezze in semiconduttori: livelli energetici e funzioni inviluppo
- Allineamento di bande a giunzioni metallo/semiconduttore ed eterogiunzioni

Il problema a molti elettroni e gli effetti dello screening elettronico

- Dal sistema a molti elettroni all'equazione di campo medio: l'equazione di Hartree
- Le equazioni di Hartree-Fock e significato del contributo energetico di scambio
- Il gas interagente di elettroni liberi
- Fondamenti della teoria del funzionale densità: il teorema di Hohenberg e Kohn e l'equazione di Kohn-Sham
- Proprietà dello stato fondamentale ed eccitazioni elementari
- Metodi cellulari, potenziale di muffin tin e onde piane aumentate
- Ortogonalizzazione di stati di valenza a stati core: onde piane ortogonalizzate e pseudopotenziali
- Schermo elettronico nel modello Thomas-Fermi
- Schermo elettronico nel modello perturbativo di Lindhard
- Legame e struttura cristallina in metalli semplici e altri solidi

Proprietà magnetiche dei solidi

- Modello di Stoner per il ferromagnetismo di banda nei solidi metallici
- Effetto della temperatura nel modello di Stoner, temperatura di Curie
- Il ferromagnetismo nei solidi isolanti e l'hamiltoniana di Heisenberg
- Antiferromagnetismo e suscettività magnetica anisotropa
- Stati magnetici eccitati: onde di spin, o magnoni
- Spettroscopia di neutroni, ruolo dei magnoni a bassa temperatura
- domini ferromagnetici

Superconduttività

- Introduzione alla superconduttività: esperimento di Onnes ed effetto Meissner-Ochsenfeld
- Le equazioni di London e London: penetrazione delle correnti e dei campi magnetici
- La termodinamica della fase superconduttiva: energia libera, entropia e capacità termica
- Coppie di Cooper e instabilità del mare di Fermi
- Stato fondamentale nella teoria di Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS).
- Esistenza del gap, sua natura e definizione degli stati eccitati nella teoria BCS
- La supercorrente come stato stazionario, valori critici di corrente e campo magnetico ed effetto Meissner nella teoria BCS
- Misure sperimentali del gap, sua dipendenza dalla temperatura ed effetto isotopico
- Superconduttori ad alta Tc

## Prerequisiti

Teoria dei solidi perfetti e infiniti nello schema di particella singola (corso di base dello stato solido).
Meccanica quantistica.

## Modalità didattica

Lezioni, esercitazioni e discussione con gli studenti.

## Materiale didattico

TESTI PRICIPALI:

H. LUTH, Solid Surfaces.., Sixth Edition, Springer Verlag, 2015;
A. ZANGWILL, Physics at Surfaces, Cambridge 1990;
H. IBACH AND H. LUTH, Solids State Physics, Fourth Edition, Springer Verlag 2009.

TESTI DI COMPLEMENTO (tutto il materiale didattico strettamente necessario all'esame è caricato sotto forma di presentazioni pdf delle lezioni sulla pagina e-learning del Corso)

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

Secondo semestre del primo anno della Laurea Magistrale

## Modalità di verifica del profitto e valutazione

Eame orale con tre domande aperte, riferite alle diverse parti del programma. Il voto riflette una media delle tre prestazioni.

## Orario di ricevimento

Su appuntamento tramite e-mail con il docente e/o con i colleghi della commissione d'esame

## Sustainable Development Goals

ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE