UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2021/2022

NANOSTRUTTURE QUANTISTICHE

Anno immatricolazione	2020/2021
Anno offerta	2021/2022
Normativa	DM270
SSD	FIS/03 (FISICA DELLA MATERIA)
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI FISICA
Corso di studio	SCIENZE FISICHE
Curriculum	Fisica della materia
Anno di corso	2°
Periodo didattico	Secondo Semestre (01/03/2022 - 15/06/2022)
Crediti	6
Ore	48 ore di attività frontale
Lingua insegnamento	Italiano o in Inglese su richiesta degli studenti (insegnamento English friendly)
Tipo esame	ORALE
Docente	GERACE DARIO (titolare) - 3 CFU GERACE DARIO (titolare) - 3 CFU
Prerequisiti	Il corso tratta argomenti di natura interdisciplinare, a cavallo tra la fisica della materia e la fisica teorica, con particolare attenzione agli aspetti quantistici. La conoscenza delle nozioni di base di elettromagnetismo, ottica, fisica quantistica, struttura della materia, e fisica dei solidi, a livello della laurea triennale in Fisica, può facilitare la comprensione degli argomenti trattati. Il corso si rivolge preferenzialmente a studenti della Laurea Magistrale in Scienze Fisiche, e può eventualmente essere mutuato come corso di Dottorato. Può risultare propedeutica la frequenza dei corsi di 'Fisica dello Stato Solido I' e 'Magnetismo e Superconduttività', nel primo semestre.
Obiettivi formativi	Il corso si propone di fornire una preparazione di base sui concetti e fenomeni relativi alla fisica delle nanostrutture per il confinamento quantico, che rivestono oggi grande rilevanza nello sviluppo delle

tecnologie quantistiche. Si darà particolare attenzione alle proprietà ottiche e di trasporto in materiali semiconduttori e superconduttori a bassa dimensionalità, ottenuti a partire dalle moderne tecniche di crescita epitassiale e di fabbricazione. Inoltre, il corso è mirato a fornire una panoramica sulle più recenti applicazioni alle principali tecnologie quantistiche, come le sorgenti di stati quantistici della radiazione elettromagnetica, i transistor a singolo elettrone, e la definizione dei bit quantistici (qubits) per la codifica dell'informazione. Gli obiettivi formativi principali possono essere così riassunti:
1 - conoscenza delle principali tecniche di crescita e nanofabbricazione di materiali semiconduttori e superconduttori, nonché degli aspetti teorici di base relativi alla modifica delle proprietà ottiche e di trasporto in funzione della dimensionalità dei portatori di carica, e delle principali tecniche sperimentali volte a caratterizzare la fisica di tali nanostrutture quantistiche;
2 - applicazione dei concetti acquisiti, ad esempio nella risoluzione di problemi pratici nell'ambito della fisica delle nanostrutture quantistiche; essere in grado di confrontare le diverse nanostrutture sulla base di andamenti qualitativi riguardanti le principali proprietà ottiche e di trasporto;
3 - essere in grado di leggere, capire, e comunicare i risultati principali di articoli di ricerca recente.
Alla fine del corso, viene organizzata una sessione di 'suggested reading', in cui gli studenti presentano i risultati di almeno un articolo scientifico da loro selezionato tra una rosa di lavori proposti dal docente, e riguardanti sviluppi di ricerca recente in fisica delle nanostrutture per il confinamento quantico dei portatori di carica.

Programma e contenuti

Il corso tratta la fisica e le principali applicazioni dei sistemi a stato solido nanostrutturati alle moderne tecnologie quantistiche; in particolare verranno approfonditi sistemi costituiti da materiali semiconduttore e superconduttore, in cui si hanno fenomeni di confinamento quantico in una, due o tre dimensioni per gli elettroni (e/o le lacune) con la conseguente realizzazione di sistemi a dimensionalità ridotta.

Vengono trattati i seguenti argomenti:

- Nanostrutture di semiconduttori: richiamo sui concetti base della fisica dei semiconduttori, eterostrutture e discontinuità di banda, metodo della funzione inviluppo;
- Sistemi bidimensionali: buche quantiche e gas di elettroni bidimensionale. Proprietà ottiche: assorbimento ed emissione, transizioni interbanda e intersottobanda in buche quantiche, cenni ai laser a semiconduttore; eccitoni e polaritoni confinati, cenni agli effetti quantistici di polaritone. Proprietà di trasporto: effetti di campi elettrici e magnetici; effetto Hall quantistico, intero e frazionario.
- Sistemi mono- e zero-dimensionali: quantum wires e quantum dots, livelli elettronici, proprietà di trasporto e proprietà ottiche, effetti di correlazione. Definizione di qubits in quantum dots e applicazioni alle tecnologie quantistiche. Cenni ai sistemi a confinamento fotonico, elettrodinamica quantistica in cavità, modello di Jaynes-Cummings, sorgenti a singolo fotone.

	- Nanostrutture di superconduttori: richiamo sulla fisica di base dei materiali superconduttori, teoria dei circuiti a superconduttore, qubits a superconduttore con giunzioni Josephson, elettrodinamica quantistica circuitale, applicazioni delle nanostrutture a superconduttore alle tecnologie quantistiche, cenni all'implementazione delle porte logiche quantistiche.
Metodi didattici	Il corso è organizzato in lezioni frontali, svolte mediante presentazioni in PowerPoint proiettate su schermo, e approfondimenti delle stesse mediante l'ausilio diretto della lavagna. Le presentazioni in PowerPoint consentono di facilitare l'apprendimento dei concetti mediante la proiezione di immagini esemplificative, fotografie di campioni ad alta risoluzione, grafici e andamenti sia teorici che sperimentali, mentre le dimostrazioni alla lavagna consentono di soffermarsi sugli argomenti che richiedono una attenzione maggiore da parte dello studente. Gli aspetti teorici vengono trattati prevalentemente mediante lezioni alla lavagna. Sebbene non siano previste ore di esercitazione pratica e guida alla risoluzione di problemi, brevi e mirati esempi di risoluzione di problemi pratici vengono svolti durante le lezioni frontali.
Testi di riferimento	-L.C. Andreani, Dispense del corso (1998/1999). -J.H. Davies, The Physics of Low-dimensional Semiconductors: An Introduction (Cambridge University Press, 1998). -M.H. Devoret, Quantum fluctuations in electrical circuits, in Les Houches Session LXIII, Quantum Fluctuations (edited by S Reynaud, E Giacobino & J Zinn-Justin, 1995). -S.M. Girvin, Superconducting Qubits and Circuits: Articial Atoms Coupled to Microwave Photons, Lectures delivered at Ecole d'Eté Les Houches (Oxford University Press, 2011).
Modalità verifica apprendimento	Il corso prevede una verifica dell'apprendimento e dell'acquisizione degli obiettivi formativi mediante un colloquio orale. La valutazione del colloquio è in trentesimi. Il colloquio orale verte su almeno tre degli argomenti trattati nel corso, e lo studente ha facoltà di iniziare la discussione partendo da un argomento a sua scelta, o un approfondimento dello stesso. La durata complessiva del colloquio è in genere compresa tra 45 e 60 minuti, circa. La valutazione finale è il risultato delle valutazioni sui singoli argomenti trattati durante il colloquio. Nella valutazione della prova di esame, viene richiesto allo studente di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.
Altre informazioni	
Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile	$lbl_legenda_sviluppo_sostenibile