

PHYSICS (LM38)

(Lecce - Università degli Studi)

Teaching

GenCod A007006

Owner professor Giuseppe MARUCCIO

Teaching in italian SCIENZE E
TECNOLOGIE QUANTISTICHE A STATO

Teaching

SSD code FIS/03

Reference course PHYSICS

Course type Laurea Magistrale

Credits 7.0

Teaching hours Front activity hours:
60.0

For enrolled in 2024/2025

Taught in 2024/2025

Course year 1

Language ITALIAN

Curriculum NANOTECNOLOGIE E FISICA
DELLA MATERIA, FISICA APPLICATA

Location Lecce

Semester Second Semester

Exam type Oral

Assessment Final grade

Course timetable

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

BRIEF COURSE DESCRIPTION

Inizialmente l'insegnamento fornisce conoscenze di base riguardanti:

- le proprietà elettroniche di nanostrutture inorganiche a bassa dimensionalità (2D, 1D e 0D) e nanostrutture organiche basate sul carbonio;
- la fisica che governa il trasporto di carica in nanostrutture 2D, 1D e 0D ed il funzionamento di dispositivi basati su trasporto quantistico e tunneling;
- interazioni ed ordinamenti magnetici nella materia, il magnetismo su scala nanometrica e molecolare, il concetto di magnetoresistenza e la fisica del trasporto di spin.

Successivamente l'insegnamento si focalizza su computazione quantistica e tecnologie quantistiche allo stato solido ed alla sua conclusione i/le partecipanti avranno appreso anche nozioni su:

- computazione quantistica e sue implementazioni fisiche allo stato solido;
- tecnologie quantistiche con superconduttori
- tecnologie quantistiche con quantum dots
- tecnologie quantistiche con nitrogen vacancies (NV), magneti molecolari e magnoni
- Quantum metrology e quantum sensing, inclusi esempi su detector quantistici per la ricerca fondamentale (es. materia oscura) e sensori quantistici per le scienze applicate (es. imaging e diagnostica).

A tal fine, oltre agli aspetti formali, saranno introdotti ed analizzati anche alcuni dei principali risultati/progressi sperimentali nel settore, discutendone la rilevanza scientifica ed il potenziale impatto tecnologico. In questo modo gli studenti saranno gradualmente introdotti nell'ambito della moderna ricerca nel settore.

REQUIREMENTS

Sono richieste in particolare conoscenze relative al corso di Struttura della materia.

COURSE AIMS

Conoscenze e comprensione. Comprendere le proprietà elettroniche delle nanostrutture inorganiche a bassa dimensionalità (2D, 1D e 0D) e delle nanostrutture organiche basate sul carbonio; la fisica che governa il trasporto di carica in nanostrutture 2D, 1D e 0D ed il funzionamento di dispositivi basati su trasporto quantistico e tunneling; le interazioni e gli ordinamenti magnetici nella materia, il magnetismo su scala nanometrica e molecolare, il concetto di magnetoresistenza e la fisica del trasporto di spin; la computazione quantistica e le tecnologie quantistiche, in particolare nelle loro implementazioni fisiche allo stato solido con superconduttori, quantum dots, nitrogen vacancies, magneti molecolari e magnoni e le loro applicazioni in metrologia quantistica e quantum sensing, inclusi detector quantistici per la ricerca fondamentale (es. materia oscura) e sensori quantistici per le scienze applicate (es. imaging e diagnostica).

Capacità di applicare conoscenze e comprensione. Essere in grado di condurre esperimenti avanzati, anche con attrezzature criogeniche, per la caratterizzazione di nuovi materiali e dispositivi ed il test di aspetti teorici studiati e per l'implementazione di tecnologie quantistiche.

Autonomia di giudizio. Migliorare la capacità dello studente di analizzare con spirito critico la moderna ricerca nel settore, gli articoli scientifici e le tecniche sperimentali disponibili/impiegate.

Abilità comunicative. Acquisire una buona padronanza degli argomenti ed esser in grado di presentare una tematica di ricerca attuale in una presentazione orale col supporto di slides.

Capacità di apprendimento. Maturare un approccio metodologico tale da permettere un apprendimento autonomo di nuovi argomenti ed ulteriori approfondimenti/ricerche tramite la letteratura scientifica.

TEACHING METHODOLOGY

Presentazioni power point multimediali contenenti animazioni ed immagini atte ad illustrare i principali argomenti del corso. Le presentazioni sono fornite agli studenti prima della lezione per permettere loro di prendere eventuali appunti durante la spiegazione in aula.

ASSESSMENT TYPE

L'esame consiste di una prova orale atta a verificare l'abilità di esporre in modo chiaro e rigoroso alcuni contenuti del corso partendo da una presentazione power point su un argomento a scelta dello studente e continuando con due domande su argomenti relativi ad altre unità didattiche. Gli studenti possono prenotarsi per l'esame finale esclusivamente utilizzando le modalità previste dal sistema VOL.

PARTE A / NOZIONI BASE**I. Proprietà elettroniche dei nanomateriali.**

- Fisica delle nanostrutture inorganiche: Ingegnerizzazione di struttura a bande e densità degli stati, confinamento quantistico, quantum wells/wires/dots.
- Fisica dei nanosistemi organici, in particolare nanostrutture di carbonio e grafene.

II. Trasporto di carica ed applicazioni in nanoelettronica.

- Effetto Hall Quantistico: 2D electron gas (2DEG) in campo magnetico, Livelli di Landau, fenomeni oscillatori, effetti de Haas-van Alphen e Shubnikov-de Haas, Effetti Hall quantistici (intero e frazionario), Spin Hall Effect, Effetto Hall Anomalo, stati di bordo e cenni su materiali topologici e interazione spin-orbita nello stato solido, Utilizzo dell'effetto Hall quantistico in metrologia.
- Trasporto quantistico mesoscopico: Regimi di trasporto, formalismo di Landauer-Buttiker, Quantum point contacts, Elettronica quantistica ed esempi di dispositivi mesoscopici.
- Tunneling: Cenni su microscopia a scansione, Spettroscopia ad effetto tunnel, Dispositivi nanoelettronici basati sul tunneling, Coulomb blockade, Transistor a singolo elettrone, cenni su Effetto Kondo

III. Magnetismo, spintronica e magnonica.

- Introduzione al magnetismo quantistico e termini magnetici nelle Hamiltoniane.
- Magnetismo nella materia, Campo molecolare di Weiss, Interazioni di scambio ed ordinamenti magnetici, Modello di Heisenberg, Magnetismo di banda.
- Magnetismo alla nanoscala: Domini magnetici, termini energetici (di scambio, magnetostatico, magnetocristallino e magnetostrettivo), Superparamagnetismo e nanoparticelle magnetiche
- Magnetismo molecolare, Magneti molecolari e Tunneling quantistico della Magnetizzazione
- Magnetoresistenza e spintronica: tipologie e loro origine fisica, Modello di Julliere, Spin-dependent tunneling e scattering, SP-STM, Dispositivi logici magnetici, Nanospintronica e Spintronica molecolare, Semiconduttori ed isolanti magnetici, Dielettrici e ferroelettrici e Materiali multiferroici

PARTE B / COMPUTAZIONE QUANTISTICA E TECNOLOGIE QUANTISTICHE ALLO STATO SOLIDO**IV. Computazione quantistica - introduzione, basi ed implementazione fisica**

- Cenni sull'evoluzione della computazione e dei sistemi fisici impiegati per l'immagazzinamento e il processing dell'informazione; Oltre la legge di Moore: dalla nanoelettronica alla computazione molecolare e quantistica
- Fondamenti di teoria quantistica dell'informazione, stati entangled, paradosso EPR, non località, teletrasporto quantistico, no cloning theorem (in base a conoscenze ed interessi della classe)
- Computazione quantistica: Criteri di Di Vincenzo ed esempi di implementazioni fisiche

V. Tecnologie quantistiche a stato solido

- Superconduttività - richiami, fenomenologia ed applicazioni, Giunzioni Josephson e SQUID
- Tecnologie quantistiche con superconduttori: Dalla Cavity QED alla circuit QED, Charge Qubits e trasmoni
- Magnetismo: dalla risonanza magnetica al computer quantistico
- Tecnologie quantistiche con quantum dots ed implementazione di charge e spin qubits
- Cenni su Materiali topologici e Topological Quantum Computation
- Onde di spin e magnoni, introduzione alla magnonica, risonanza ferromagnetica e Magnon-photon coupling
- Utilizzo di nitrogen vacancies (NV), magneti molecolari e magnoni per computazione e tecnologie quantistiche,
- Materiali piezoelettrici, onde acustiche, dispositivi SAW & quantum acoustodynamics
- Dalla Sensoristica al Quantum sensing

Attività in laboratorio

Laboratorio di Spintronica, Superconduttività e Magnetismo / Micro- e Nano-fabbricazione, Misure di Magnetotrasporto, Nanoelettronica, Effetto Hall quantistico, Giunzioni Josephson

Laboratorio di Spintronica, Superconduttività e Magnetismo / Magnetometria e Tecniche di Caratterizzazione Magnetica, Ferroelettrici e Multiferroici, Magnonica

Laboratorio di Sensoristica / Sensoristica, Dispositivi SAW, SPR, Microfluidica e lab on a chip

REFERENCE TEXT BOOKS

Dispense fornite dal docente e per supporto/approfondimenti:

- Solid State Physics, N. W. Ashcroft, N. D. Mermin
- Quantum semiconductor structures, C. Weisbuch, B. Vinter
- Mesoscopic quantum transport, Markus Büttiker (European School on Nanosciences and Nanotechnologies)
- Magnetic Materials: Fundamentals and applications, N. A. Spaldin