

## SYLLABUS DEL CORSO

### Elementi di Meccanica Quantistica e Struttura della Materia

2425-2-ESM01Q010

---

#### Obiettivi

Il corso si prefigge di introdurre e sviluppare i concetti base della meccanica quantistica utilizzati per modellizzare le proprietà della materia a livello atomico. Si forniranno inoltre allo studente gli strumenti formali adatti a comprendere alcuni aspetti fondamentali della struttura della materia, quali: lo spin, la struttura fine dell'atomo di idrogeno, la struttura elettronica di atomi a molti elettroni e l'interazione luce-materia.

#### Contenuti sintetici

##### MODULO 1

- Crisi della fisica classica
- Particella quantistica
- Equazione di Schroedinger
- L'atomo idrogenoide

##### MODULO 2:

- Assiomatica della meccanica quantistica
- Lo spin dell'elettrone
- Metodi approssimati
- Interazione spin-orbita
- Struttura fine dell'atomo di idrogeno
- Effetto Zeeman
- Formalismo a molte particelle
- Atomo di Elio
- Atomi a molti elettroni
- Interazione luce-materia

## Programma esteso

### MODULO 1:

#### CRISI DELLA FISICA CLASSICA

Spettro di corpo nero, teoria classica e proposta di Planck; il quanto di energia. Effetto fotoelettrico: apparato e osservazioni sperimentali; interpretazione classica e interpretazione quantistica. Modello corpuscolare della luce; il fotone. Effetto Compton: aspetti sperimentali e interpretazione. Produzione e annichilazione di coppie e-e+. Spettro e.m. e interazione fotone-materia. Modello di Bohr: costruzione e risultati; conseguenze. Transizioni e spettri. Esperimento di Franck-Hertz e interpretazione. Ipotesi di De Broglie; esperimenti di Davisson e Germer e di Thomson.

#### PARTICELLA QUANTISTICA

Funzione d'onda  $\psi$  ed equazione delle onde per le onde di materia.  $\psi$  come onda armonica o come pacchetto. Vantaggi del pacchetto; principi di indeterminazione. Richiami su pacchetto d'onde, velocità di gruppo, trasformata di Fourier, pacchetto gaussiano. Discussione e conseguenze dei principi di indeterminazione. Interpretazione probabilistica di Born della funzione d'onda  $\psi$ . Misura e valori di aspettazione. Operatori e regole di rappresentazione; esempi.

#### EQUAZIONE DI SCHRÖDINGER

L'equazione di Schrödinger: derivazione, significato, proprietà. Densità di corrente di probabilità e conservazione. Separazione delle variabili, eq. di Schrödinger agli stati stazionari. Autostati e autovalori di H. Probabilità ed energia di uno stato stazionario. Probabilità e energia di stati non stazionari; densità di carica. Soluzione dell'eq. di Schrödinger 1D: la particella quantistica in una buca di potenziale infinita. Autostati ed energie. Esempi di buca infinita; conseguenze. La particella quantistica in una buca infinita 3D. Degenerazione. Buca di potenziale finita: soluzioni pari e dispari ed autovalori dell'energia; stati del continuo; riflessione e trasmissione. Caratteristiche di buca infinita e finita, con discussione di problemi. Gradino di potenziale e barriera di potenziale 1D. Coefficienti di riflessione e trasmissione, densità di corrente di probabilità. Effetto tunnel. Oscillatore armonico 1D: soluzione dell'eq. di Schrödinger, stati stazionari, energie. Potenziale con un minimo: stati legati e del continuo.

#### ATOMO IDROGENOIDE

Equazione di Schrödinger per una particella in campo centrale; equazione angolare e radiale. Densità di probabilità radiale e angolare. Soluzione dell'eq. radiale; funzioni  $R_{nl}(r)$ , numero quantico principale  $n$  ed energie  $E_n$ . Soluzione dell'eq. angolare; le armoniche sferiche  $Y_{lm}(\theta, \phi)$  e le loro proprietà. Numeri quantici orbitale  $l$  e magnetico  $m$ . La soluzione generale  $\psi_{nlm} = R_{nl}(r) Y_{lm}(\theta, \phi)$ . Transizioni di dipolo elettrico e regole di selezione. Momento angolare e sua quantizzazione; eq. agli autovalori di  $L$  e  $L_z$ , limite classico. Atomo idrogenoide

### MODULO 2:

#### ASSIOMATICA DELLA MECCANICA QUANTISTICA

Spazi di Hilbert  
Operatori associati ad osservabili fisiche  
Osservabili compatibili  
Principio di indeterminazione generalizzato  
Costanti del moto  
Teorema di Ehrenfest

#### LO SPIN DELL'ELETTRONE

Momento magnetico orbitale  
Esperimento di Stern e Gerlach  
Momento magnetico di spin  
Spinori e matrici di Pauli

Numero quantico di spin ed estensione del formalismo

### **METODI DI APPROSSIMAZIONE**

Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo per livelli non degeneri e degeneri  
Principio variazionale

### **INTERAZIONE SPIN-ORBITA**

Hamiltoniana d'interazione spin-orbita  
Operatore momento angolare totale

### **STRUTTURA FINE DELL'ATOMO DI IDROGENO**

Correzione ai livelli energetici dovuta all'interazione spin-orbita e alla correzione relativistica  
Effetto Zeeman

### **EFFETTI DI UN CAMPO MAGNETICO**

Effetto Zeeman forte e debole

### **FORMALISMO A MOLTE PARTICELLE**

Particelle identiche  
Determinanti di Slater  
Principio di esclusione di Pauli

### **ATOMO DI ELIO**

Stato fondamentale dell'atomo di He trascurando l'interazione elettrone-elettrone  
Trattazione perturbativa dell'effetto dell'interazione elettrone-elettrone  
Trattazione variazionale  
Stati di singoletto e tripletto  
Integrali di Hartree e di scambio  
Atomi a molti elettroni

### **INTERAZIONE LUCE MATERIA**

Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo  
Approssimazione di dipolo elettrico  
Assorbimento  
Emissione stimolata e spontanea

## **Prerequisiti**

Preparazione consigliata:  
Fisica I, Fisica II, Matematica I, Matematica II e Matematica III.

## **Modalità didattica**

Il corso è erogato in lingua italiana.

### **MODULO 1:**

24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Erogativa (DE).  
24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Interattiva (DI).

## MODULO 2:

24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Erogativa (DE).

24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Interattiva (DI).

## Materiale didattico

Appunti e libri di testo consigliati.

testi di riferimento:

*The Physics of Atoms and Quanta* Introduction to Experiments and Theory, Haken, Hermann, Wolf, Hans Christoph Editor: Springer

*Introduzione alla Meccanica Quantistica* (o versione inglese), David J. Griffiths

testo di complemento:

*Fondamenti di Fisica Atomic e Quantistica*, Franco Ciccacci, Editor: Edises

*Quantum Mechanics*, L. Del Debbio and A berera

## Periodo di erogazione dell'insegnamento

2° semestre.

## Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame sarà diviso in una parte scritta e una orale. Gli studenti devono prima dimostrare, in una prova scritta composta solitamente da quattro esercizi, di possedere gli strumenti formali per la gestione e l'utilizzo dei concetti di base della meccanica quantistica e della struttura della materia. Dopo la prova scritta, l'esame prevede un colloquio volto a valutare il livello di conoscenza acquisito sull'intero programma.

### PROVE PARZIALI

Durante il corso sarà possibile sostenere due prove d'esame parziali, ciascuna centrata sui contenuti dei due moduli del corso. Ciascuna prova parziale prevede una prova scritta composta da due esercizi, in cui gli studenti dovranno dimostrare di possedere gli strumenti formali per la gestione e l'utilizzo dei concetti illustrati durante la prima o seconda parte del corso (Modulo 1 o 2). Dopo la prova scritta, gli esami parziali prevedono un colloquio volto a valutare il livello di conoscenza acquisito sulle rispettive parti del programma (Modulo 1 o 2).

La valutazione complessiva sarà calcolata come la media aritmetica delle valutazioni ricevute nelle due prove parziali.

## Orario di ricevimento

Su appuntamento.

Contattare direttamente i docenti di riferimento:

angelo.monguzzi@unimib.it

emilio.scalise@unimib.it

## **Sustainable Development Goals**

---