UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Elementi di Meccanica Quantistica e Struttura della Materia

2627-2-ESM02Q010

Obiettivi

Il corso si propone di fornire le conoscenze e insegnare l'applicazione pratica dei concetti fondamentali della meccanica quantistica, mostrando la sua radicale evoluzione rispetto alla fisica classica, necessari per descrivere e comprendere la struttura e le proprietà di atomi, molecole e materia condensata.

Nello specifico, il corso si prefigge i seguenti Obiettivi:

1. Conoscenza e capacità di comprensione (DnD 1).
   Il corso si propone di introdurre e sviluppare i concetti fondamentali della meccanica quantistica utilizzati per modellizzare le proprietà della materia a livello atomico

2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate. (DnD 2).
   Agli studenti saranno forniti gli strumenti formali necessari per comprendere le conoscenze acquisite al punto 1, da applicare nella comprensione e nell'utilizzo di alcuni aspetti fondamentali della materia, come lo spin, la struttura fine dell'atomo di idrogeno, le strutture elettroniche degli atomi a più elettroni e l'interazione luce-materia.

3. Autonomia di giudizio (DnD 3).
   Saranno proposte diverse ore di esercitazioni con il docente per preparare la parte scritta dell'esame, nonché una simulazione della prova scritta per autovalutare la propria preparazione.

4. Abilità comunicative (DnD 4).
   Ogni lezione comprende una parte di discussione aperta con il docente in modo da verificare e approfondire le conoscenze acquisite, la capacità critica di individuare le informazioni più cruciali. e la capacità di esporle e trasmetterle.

5. Capacità di apprendere (DnD 5).
   Gli esercizi discussi durante la lezione saranno integrati con esercizi aggiuntivi e

discussioni proposte dagli studenti, al fine di verificare la loro capacità di approfondire gli argomenti trattati e prepararsi all'esame..

Contenuti sintetici

PARTE 1

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

PARTE 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

PARTE 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 ? ed equazione delle onde per le onde di materia. ? 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 ?. 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 stazionati. 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 Rnl(r), numero quantico principale n ed energie En. Soluzione dell'eq. angolare; le armoniche sferiche Ylm(?,?) e le loro proprietà. Numeri quantici orbitale l e magnetico m. La soluzione generale ?nlm= Rnl(r) Ylm(?,?). Transizioni di dipolo elettrico e regole di selezione. Momento angolare e sua quantizzazione; eq. agli autovalori di L e Lz, limite classico. Atomo idrogenoide

PARTE 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 ligua italiana.

PARTE 1:
24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Erogativa (DE).
24 ore di lezioni frontali svolte in modalità Didattica Interattiva (DI).

PARTE 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.

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

testo di complemento:
Quantum Mechanics, L. Del Debbio and A. Berera

Periodo di erogazione dell'insegnamento

2° semestre.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame è diviso in una parte scritta e una orale. Gli studenti devono prima dimostrare, in una prova scritta composta solitamente da quattro problemi, di possedere gli strumenti formali per la gestione e l'utilizzo dei concetti di base della meccanica quantistica e della struttura della materia. I problemi saranno divisi equamente tra le due parti del corso (due sulla prima parte, due sulla seconda parte). Dopo la prova scritta, l'esame prevede un colloquio volto a valutare il livello di conoscenza acquisito sull'intero programma.

Su richiesta dello studente, è possibile sostenere separatamente le due parti dell'esame in appelli differenti. Ciascuna prova parziale comprenderà due problemi e un colloquio orale, finalizzati a verificare l'acquisizione degli strumenti formali e dei contenuti trattati nella rispettiva parte del corso.
In questo caso, il voto finale sarà determinato sulla base delle valutazioni conseguite nelle due prove parziali. Qualora la media aritmetica non sia un numero intero, la determinazione del voto finale sarà effettuata dai docenti, tenendo conto dell'andamento complessivo delle prove e del livello di preparazione dimostrato.

La graduazione dei voti sarà la seguente:
< 18: votazione insufficiente; non raggiunto il livello minimo di preparazione;
18-21: preparazione su un numero ridotto di argomenti presenti nel programma del corso, con capacità di trattazione e analisi limitate che emergono solo a seguito dell'aiuto e delle domande del docente; competenza espositiva e lessico non sempre corretti, capacità di elaborazione critica limitata;
22-24: preparazione su una parte degli argomenti presenti nel programma del corso, capacità di analisi autonoma limitata, uso di un lessico corretto anche se non del tutto accurato e chiaro e di una capacità espositiva a tratti incerta;
25-27: preparazione su un numero ampio di argomenti trattati nel programma del corso, capacità di svolgere in modo autonomo l'argomentazione e l'analisi critica, capacità di applicazione delle conoscenze ai casi concreti, uso di un lessico corretto e competenza nell'uso del linguaggio disciplinare;
28-30/30L: preparazione completa ed esaustiva sugli argomenti in programma d'esame, capacità personale di trattazione autonoma e di analisi critica dei temi, ottima capacità di pensiero critico e autonomo, piena padronanza del lessico disciplinare e di una capacità espositiva rigorosa e articolata.

Orario di ricevimento

Su appuntamento.
Contattare direttamente i docenti di riferimento:
angelo.monguzzi@unimib.it
emilio.scalise@unimib.it

Sustainable Development Goals