



Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche

CORSO DI LAUREA IN FISICA

PROGRAMMA DI “ISTITUZIONI DI FISICA TEORICA”

Docente: Prof. Sergio Ciuchi **CFU:** 12

Scopo del corso

Lo scopo del corso è fornire una introduzione al formalismo della meccanica quantistica ed inoltre fornire alcune nozioni di base di meccanica statistica.

Lo studente dovrà comprendere i concetti fondamentali della meccanica quantistica, della teoria delle perturbazioni, delle basi della teoria atomica. Inoltre dovrà apprendere le basi dell'approccio statistico alla comprensione dello stato termodinamico di equilibrio dei gas perfetti classici e quantistici.

URL: <http://www.aquila.infn.it/ciuchi/>

Programma

1. Formalismo della meccanica quantistica

Stato astratto, spazio duale prodotto scalare. Il formalismo di Dirac, Basi ortonormali, rappresentazioni di uno stato astratto, relazioni di completezza.

Operatori lineari elementi di matrice, operatori autoaggiunti, autovettori ed autovalori di operatori autoaggiunti, degenerazione, grandezze fisiche, autostati di grandezze fisiche, significato fisico delle ampiezze di probabilità, misura di una grandezza fisica.

Operatore coordinata, autostati della coordinata. Rappresentazione della coordinata, elementi di matrice, calcolo dei prodotti scalari nella rappresentazione della coordinata.

L'impulso come generatore infinitesimo della traslazione in meccanica classica, richiami sulle trasformazioni canoniche in meccanica classica e funzione generatrice. L'impulso in Meccanica Quantistica come generatore infinitesimo delle traslazioni. Operatore impulso, autofunzioni ed hermiticità dell'operatore. Rappresentazione dell'impulso, calcolo di elementi di matrice nella rappresentazione dell'impulso. Espressione dei prodotti scalari, relazione con la rappresentazione delle coordinate.

Gruppo delle traslazioni, sua commutatività, traslazione della funzione d'onda e dello stato astratto. Normalizzazione degli autostati dell'impulso.

2. L'equazione di Schrödinger ed il principio di indeterminazione

Hamiltoniano come generatore infinitesimo del moto classico, Equazione di Schrodinger dipendente dal tempo, evoluzione temporale e sua unitarietà. La rappresentazione dell'energia, equazione di Schrodinger indipendente dal tempo.

Il pacchetto gaussiano espressione della funzione d'onda nella rappresentazione degli impulsi evoluzione temporale, calcolo della varianza della distribuzione della posizione nel tempo, prodotto di indeterminazione, invarianza per inversione temporale.

Grandezze fisiche compatibili. Base comune di grandezze compatibili, principio di indeterminazione generalizzato, commutazione di variabili canoniche.

Rappresentazione di Heisenberg, equazioni del moto degli operatori, valori medi e teorema di Ehrenfest. Conservazione dell'impulso e simmetria di traslazione, applicazione all'evoluzione del pacchetto gaussiano. Quantità conservate in MQ.

Corrente di probabilità, equazione di continuità, velocità di gruppo di un pacchetto.

3. Oscillatore armonico quantistico ed altri problemi unidimensionali

Proprietà generali della soluzione dell'equazione di Schrodinger indipendente dal tempo ad una dimensione. Comportamenti qualitativi per gli stati a una dimensione. Particella in una buca infinita di potenziale. Non degenerazione dello spettro discreto ad una dimensione, Buca finita di potenziale autostati e autovalori dello spettro discreto, stima di indeterminazione della energia di punto zero.

Gradino di potenziale coefficienti di riflessione e trasmissione, limite classico. Barriera di potenziale effetto tunnel e scattering risonante.

Oscillatore armonico, soluzione classica principio di corrispondenza, operatori di creazione e distruzione, derivazione costruttiva degli autostati ed autovalori. Elementi di matrice di coordinata e impulso, loro calcolo ed evoluzione temporale nel formalismo di Heisenberg. Teorema di Ehrenfest per l'oscillatore armonico. Oscillatore armonico spostato autostati ed auto valori.

4. Momento angolare, spin

Momento angolare come generatore infinitesimo delle rotazioni e sua espressione nella rappresentazione delle coordinate, regole di commutazione. Autofuzioni simultanee di L^2 ed L_z , derivazione dello spettro. Elementi di matrice di L_+ L_- L_x L_y , espressione degli operatori del momento angolare nelle coordinate sferiche. Armoniche sferiche, calcolo esplicito per $l=0, l=1$. Orbitali p. Parità della armoniche sferiche.

Lo spin. Una particella carica di spin $1/2$ in un campo magnetico statico. Momento angolare orbitale e spin. Spinori di Pauli. Matrici di Pauli e loro proprietà. Espressione di una generica matrice 2×2 in termini di matrici di Pauli. Rotazione dello spin. Sistemi a due livelli, evoluzione temporale. Precessione dello spin.

Composizione di due momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, costruzione della base J_1, J_2, J^2, J_z . Esempio: composizione di due spin $1/2$.

5. Potenziale centrale ed atomo di idrogeno.

Equazione di Schrödinger nel caso di potenziali centrali, equazione radiale. Oscillatore armonico isotropo: soluzione per separazione di variabili e nelle coordinate sferiche.

Problema dei due corpi separazione delle coordinate baricentriche. Hamiltoniane separabili, forma della soluzione generale. Atomo di Idrogeno unità atomiche ed equazione radiale.

Atomo di Idrogeno soluzione per serie della equazione per la parte radiale, autovalori, degenerazione accidentale, schema dei livelli e loro degenerazione, stato fondamentale.

6. Teoria delle perturbazioni indipendente dal tempo

Teoria delle perturbazioni stati non degeneri. Correzione alle energie al primo e secondo ordine e correzione agli stati al primo ordine.

Teoria delle perturbazioni spettro degeneri: correzione al primo ordine nelle energie e all'ordine zero per gli stati. Rottura spontanea delle simmetrie (cenni).

7. Particelle identiche sistemi a più particelle

Particelle identiche: simmetria di scambio, operatore di scambio di due particelle e sue proprietà, bosoni e fermioni. Funzioni d'onda simmetriche ed antisimmetriche determinate dal Slater principio di Pauli.

Fermioni confinati in un volume a $d=1,2,3$: energia di Fermi e sua dipendenza dalla densità. Densità degli stati

8. Fondamenti di meccanica statistica

Distribuzione di Maxwell, distribuzione di posizioni e momenti, teorema di Liouville, distribuzione stazionaria. Equiprobabilità nello spazio delle fasi occupato, volume dello spazio delle fasi occupato dal sistema, dimensione elementare dello spazio delle fasi. Distribuzione micro canonica.

Entropia nella formulazione di Boltzmann, caso del gas perfetto, relazioni termodinamiche, secondo principio, paradosso di Gibbs, corretto conteggio di Boltzmann. Distribuzione di Maxwell ricavata dalla distribuzione micro canonica

Distribuzione delle energie di singolo sistema in sistemi indipendenti. Distribuzione canonica: potenziale termodinamico, fluttuazioni della energia, lunghezza d'onda di De Broglie. Entropia e formula di Sackur Tetrode, equipartizione della energia, gas perfetto in presenza di un campo esterno.

Sistemi termodinamici aperti, distribuzione grand canonica, fluttuazioni del numero di particelle

Distribuzione delle energie di particelle quantistiche. Funzione di partizione come somma sugli stati. Gas perfetti quantistici, Bosoni Fermioni. Gas di Fermi a $T=0$. Corpo nero.

Testi consigliati:

J.J. Sakurai "Meccanica quantistica moderna", Zanichelli

C. Cohen Tannoudji et al., Quantum Mechanics, Vol I-II, John Wiley & Sons

P.A.M. Dirac Principi della Meccanica Quantistica, Boringhieri

K. Huang "Meccanica Statistica", Zanichelli

Appunti del corso.

Modalità di valutazione: Interrogazione orale + 3 prove in itinere durante il corso o, in alternativa, prova scritta finale.