

Elettronica dello stato solido LS-A

Introduzione

Presentazione del corso. Scopi del corso. Orario delle lezioni e di ricevimento. Nozioni che si suppongono già acquisite in precedenza da parte degli Studenti. Modalità dell'esame e iscrizione agli appelli. Programma e bibliografia.

Programma

Calcolo delle variazioni. Principio di Hamilton. Determinazione della lagrangiana del caso conservativo. Equazioni di Hamilton. Principio di Maupertouis. Esempi. Principio di Fermat. Esempi. Richiami di elettromagnetismo. Trasformazioni di gauge. Equazione delle onde. Hamiltoniana di una particella soggetta a un campo elettromagnetico. Richiami sul teorema di Poynting. Momento del campo elettromagnetico. Modi del campo elettromagnetico. Energia del campo elettromagnetico in funzione dei parametri caratteristici dei modi. Momento del campo elettromagnetico in funzione dei parametri caratteristici dei modi. Analogia fra i Principi variazionali dell'Ottica e della Meccanica. Ipotesi di generalizzazione della Meccanica.

Modello planetario dell'atomo. Spiegazione di alcuni fenomeni atomici per mezzo del modello planetario. Risultati sperimentali non spiegati dalle leggi classiche. Il problema della stabilità degli atomi. Proprietà delle righe spettrali degli atomi eccitati. Effetto fotoelettrico. Proprietà della radiazione di corpo nero. Ipotesi di Planck. Legge di Planck. Teoria di Einstein dell'effetto fotoelettrico. Relazioni dinamiche relativistiche. Effetto Compton e trattazione di questo con l'ipotesi del fotone. Effetto Hall. Ipotesi di Bohr. Quantizzazione delle grandezze dinamiche. Ipotesi di De Broglie. Funzione d'onda per il moto rettilineo e uniforme. Esperimento di Davisson e Germer. Descrizione qualitativa del Principio d'indeterminazione. Contrazione della funzione d'onda. Perturbazione indotta da una misura. Proprietà di normalizzazione della funzione d'onda.

Equazione di Schrödinger indipendente dal tempo: deduzione euristica. Esempi di applicazione: particella libera e particella nella buca di energia potenziale a pareti infinite. Operatore hamiltoniano: definizione e proprietà generali. Prodotto scalare di funzioni. Definizione di operatore hermitiano. Ortogonalità delle autofunzioni e realtà degli autovalori di operatori hermitiani. Completezza delle autofunzioni. Principio di sovrapposizione degli stati. Deduzione dell'equazione di Schrödinger dipendente dal tempo. Teorema di conservazione della norma.

Pacchetto d'onde. Introduzione ai metodi generali della Meccanica quantistica. Misure successive di posizione e quantità di moto. Misure di energia. Sistema completo di operatori. Teoremi sugli operatori. Grandezze simultaneamente osservabili. Operatori commutativi. Esempi.

Concetti statistici associati alla distribuzione degli autovalori di un operatore. Valore di aspettazione. Dimostrazione del Principio d'indeterminazione. Funzione d'onda a incertezza minima. Derivata temporale del valore di aspettazione. Teorema di Ehrenfest.

Esempi di soluzione dell'equazione di Schrödinger. Gradino di energia potenziale (descrizione qualitativa e calcolo esplicito della soluzione). Pacchetto d'onde e casi limite. Barriera di energia potenziale (descrizione qualitativa). Effetto tunnel (descrizione qualitativa). Buca di energia potenziale (descrizione qualitativa).

Introduzione al problema dell'oscillatore armonico lineare. Importanza del problema dell'oscillatore armonico lineare. Calcolo degli autovalori e delle autofunzioni. Quantizzazione dell'energia e della quantità di moto del campo elettromagnetico. Concetto di fotone.

Operatori di trasposizione (cenni). Funzioni e operatori simmetrici o antisimmetrici. Sistemi costituiti da particelle identiche. Distinzione fra fermioni e bosoni. Costruzione di funzioni d'onda simmetriche o antisimmetriche a partire dalle soluzioni dell'equazione di Schrödinger. Principio di esclusione di Pauli.

Trattazione statistica di sistemi di particelle identiche. Generalità sulle statistiche di equilibrio. Derivazione della statistica di Fermi-Dirac. Passaggio al limite classico. Derivazione della formula di Stirling. Derivazione della statistica di Bose-Einstein. Calcolo della densità degli stati per il campo e.m. in una cavità di forma parallelepipedica. Derivazione della legge di Planck. Calcolo del moltiplicatore di Lagrange della legge di Planck.

Vibrazioni reticolari. Sviluppo dell'energia potenziale troncato al secondo ordine. Diagonalizzazione della matrice dei coefficienti elastici. Approssimazione adiabatica. Hamiltoniano di singolo elettrone. Simmetria degli autovalori. Bande di energia. Esempio: il caso del silicio. Densità degli stati nello spazio delle fasi. Densità degli stati in energia nel caso delle bande paraboliche.

Quantizzazione dell'energia del reticolo. Concetto di fonone. Operatori di traslazione. Operatori periodici. Teorema di Bloch. Funzioni di Bloch. Periodicità degli autovalori degli operatori di traslazione. Modello di Krönig e Penney.

Cenni al calcolo degli autovalori nel caso a tre dimensioni. Andamento delle bande nel germanio, silicio e arseniuro di gallio. Pacchetti d'onda in un potenziale periodico.

Introduzione alla dinamica di un elettrone in un cristallo. Hamiltoniano perturbato. Teorema dell'Hamiltoniano equivalente. Relazioni dinamiche nel cristallo. Momento cristallino. Teorema di Ehrenfest nel cristallo. Sviluppo dell'Hamiltoniano equivalente nell'intorno di un estremo di una banda. Tensore della massa efficace. Anisotropia della relazione forza-accelerazione. Dinamica di un elettrone in prossimità di un estremo di banda. Teorema di Liouville. Equazione del trasporto di Boltzmann. Calcolo del termine di collisione. Approssimazione perturbativa. Metodo dei momenti.

Momento di ordine zero. Deduzione dell'equazione di continuità per gli elettroni della banda di conduzione. Momento di ordine uno. Approssimazioni sul momento di ordine uno. Insieme dei momenti e condizione di chiusura. Calcolo del tensore di temperatura all'equilibrio. Tensore del tempo di rilassamento. Momento di ordine uno per la singola valle. Espressione della densità di corrente di una valle. Semplificazioni per campi magnetici piccoli. Semplificazione del termine diffusivo. Tensore mobilità e tensore diffusività. Compensazione dell'anisotropia nel caso delle piccole perturbazioni. Equazione del trasporto di tipo ohmico-diffusivo includenti il campo magnetico. Relazioni di Einstein.

Approssimazione semiclassica dell'interazione fra una particella e un campo elettromagnetico. Giustificazione dell'assenza di emissione da parte di un elettrone appartenente a uno stato stazionario. Equazioni del trasporto di tipo puramente ohmico includenti il campo magnetico. Applicazione alla tecnica di misura basata sull'effetto Hall. Tensione di Hall e coefficiente di Hall.