

Elettronica dello stato solido LS-B

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. Bibliografia.

Programma

Vibrazioni reticolari. Sviluppo dell'energia potenziale troncato al secondo ordine. Diagonalizzazione della funzione hamiltoniana. Calcolo dei modi normali di vibrazione. Equazione agli autovalori per la determinazione delle frequenze proprie di oscillazione del sistema. Definizione degli indici e della matrice dinamica. Applicazione del teorema di Bloch. Scomposizione del sistema algebrico in sottosistemi. Rappresentazione matriciale della derivazione della matrice dinamica.

Esempio: la catena lineare monoatomica. Calcolo della relazione di dispersione. Andamento del ramo acustico. Velocità di fase e di gruppo, limite della velocità di gruppo per grandi lunghezze d'onda. Esempio: la catena lineare biatomica. Calcolo della relazione di dispersione. Andamento del ramo acustico e del ramo ottico. Caso generale: rami acustici e rami ottici. Proprietà generali della relazione di dispersione.

Alcune proprietà di conservazione della meccanica analitica. Proprietà di simmetria dei coefficienti elastici. Invarianza per traslazione. Invarianza per simmetria. Invarianza per rotazione. Uso dei risultati della teoria microscopica per la derivazione delle leggi elastiche macroscopiche. Calcolo delle vibrazioni reticolari nell'approssimazione di grandi lunghezze d'onda. Definizione del tensore elastico. Equazione descrittiva delle vibrazioni reticolari.

Simmetrie del tensore elastico dovute alle proprietà d'invarianza. Ulteriori simmetrie introdotte nel caso d'interazioni di tipo centrale. Definizione e proprietà del tensore delle deformazioni e del tensore degli sforzi. Legge di Hooke. Significato del tensore delle deformazioni. Deformazioni normali e scorrimenti. Tensore degli sforzi. Condizioni di equilibrio.

Cambiamento di base per vettori e tensori. Tensioni principali. Geometria delle masse nel piano. Momenti del primo ordine. Baricentro. Momenti del secondo ordine: momenti d'inerzia e momento centrifugo. Raggi d'inerzia. Assi principali d'inerzia. Principio di Saint Venant. Esempi: il caso dello sforzo assiale e del momento flettente.

Richiami di meccanica analitica. Funzione lagrangiana e funzione hamiltoniana. Necessità di una descrizione probabilistica della dinamica di particelle microscopiche. Funzione d'onda e significato di questa. Calcolo del valore di aspettazione di variabili dinamiche dipendenti solo dalla posizione. Operatori associati a variabili dinamiche. Operatore momento. Prodotti scalari di funzioni. Operatori hermitiani. Completezza di sistemi di funzioni.

Equazione di Schrödinger dipendente dal tempo. Separazione dell'equazione nel caso di campi di forza conservativi. Equazione di Schrödinger indipendente dal tempo.

Esempio di applicazione: calcolo dei livelli energetici introdotti da un'impurezza in un semiconduttore.

Introduzione all'analisi delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Teoria quantistica delle perturbazioni. Sviluppo della funzione d'onda secondo le autofunzioni del caso imperturbato. Trasformazione dell'equazione di Schrödinger del caso perturbato in un sistema di equazioni integrali

relative ai coefficienti dello sviluppo. Determinazione della regola d'oro di Fermi. Commenti sulle proprietà della regola d'oro.

Calcolo della lunghezza di schermo a partire dall'equazione di Poisson. Esempi di applicazione della regola d'oro. Perturbazione coulombiana. Perturbazione armonica. Applicazione al caso di interazioni con fotoni o fononi.

Esempio di applicazione: calcolo dei coefficienti di transizione e di emissione del tasso netto di generazione termica. Esempio di applicazione: calcolo dei coefficienti Auger e di ionizzazione per impatto. Esempio di applicazione: interazione radiazione-materia. Applicazione della regola d'oro al caso di un elettrone legato soggetto a un campo e.m. esterno. Ipotesi di trascurabilità della parte magnetica della forza di Lorentz. Calcolo della probabilità di transizione fra due stati legati.

Funzione di correlazione fra le componenti del campo elettrico. Il caso in cui la correlazione è assente. Funzione di autocorrelazione. Teorema di Wiener e Khinchin. Il caso del campo e.m. polarizzato linearmente. Momento di dipolo elettrico. Calcolo della probabilità di assorbimento o emissione stimolata. Emissione spontanea. Calcolo della relazione di Einstein. Esempio di calcolo del tempo di decadimento nell'atomo di idrogeno.

Interazione radiazione-materia coinvolgente due livelli energetici o tre livelli energetici. Inversione di popolazione. Amplificazione coerente della radiazione. Concetto di laser. Calcolo della dinamica delle popolazioni in un sistema atomico interagente con una radiazione. Equazioni di bilancio di tipo generale. Cenno al caso del laser a quattro livelli.

Analisi delle popolazioni di due livelli nel caso stazionario. Il caso del laser a tre livelli. Condizioni per ottenere la condizione d'inversione di popolazione. Calcolo della potenza estratta. Condizione di soglia.

Esempi: laser a rubino, laser a neodimio, laser a elio-neon.

Semiconduttori a gap diretto o indiretto. Laser a semiconduttore. Funzionamento continuo o impulsato.

Stabilità dei risonatori. Descrizione dell'evoluzione di un raggio mediante matrici. Applicazione dell'ottica geometrica al calcolo della stabilità di un risonatore (caso bidimensionale). Vari tipi di risonatori ottici e condizioni di stabilità di ciascuno.

Soluzione dell'equazione di Helmholtz col metodo di Green. Applicazione della soluzione dell'equazione di Helmholtz. Principio di Huygens. Teoria di Helmholtz-Kirchhoff. Teoria della diffrazione di Kirchhoff. Principio di Babinet.

Applicazione al risonatore di Fabry-Perot. Metodo di Fox e Li. Teorema di reciprocità di Helmholtz.

Diffrazione di Fraunhofer e di Fresnel. Esempio. Significato dei numeri di Fresnel.

Approssimazione di campo lontano. Trasformata spaziale di Fourier di un segnale. Applicazione: filtri ottici, miglioramento del contrasto.

Correlazione e convoluzione ottica. Applicazione: riconoscimento di immagini. Cenni sull'olografia.

Uso del laser in applicazioni alla medicina, alle tecnologie, alle misure.

Seminario tenuto dalle Proff. Susanna Reggiani ed Elena Gnani intitolato *A New Approach to the Modeling of Emerging Devices*. Seminario tenuto dall'Ing. Roberto Gaddi, intitolato *Introduction to MEMS physics and design*.