

## SADRŽAJ

### SISTEMI NEZAVISNIH ČESTICA U VANJSKOM POTENCIJALU

#### Svođenje N-čestičnog problema na N 1-čestičnih

**Uvjeti, separacija Schrodingerove jednačbe, produktna valna funkcija  
Simetrija sistema identičnih čestica, bozoni i fermioni**

#### Rješavanje 1-čestične Schrodingerove jednačbe - načelno

Stacionarna rješenja

Separacija varijabla – veza simetrije, kvantnih brojeva i očuvanih veličina

Primjeri potencijala i odabir koordinatnog sustava

Vrste rješenja prema rubnim uvjetima, veza rubnih uvjeta i spektra energija

Lokalizirana, delokalizirana stanja i rezonancije

#### Informacije

Srednje vrijednosti fizikalnih veličina, prijelazne vjerojatnosti

Vjerojatnosti raspršenja

Lokalna gustoća stanja, lokalna gustoća, gustoća stanja

#### Rješavanje 1-čestične Schrodingerove jednačbe

Egzaktno analitičko rješavanje - **primjeri**

Primjeri: rješenja za neke potencijale jednostavnih simetrija

Numeričko rješavanje – **primjeri**

### METODA DRUGE KVANTIZACIJE

Diracove oznake

N-reprezentacija, kvantizacija harmoničkog oscilatora

Operatori stvaranja i poništavanja kvanata, komutacijska pravila, operator broja čestica, hamiltonijan

Prikaz stanja pomoću operatora, vakuum

Stanja više oscilatora, simetrija, veza s bozonima, komutatori

Fermioni, antikomutatori, Paulijev princip

Matrični elementi operatora  $a$ ,  $a^+$ ,  $x$ ,  $p$  u  $n$ -stanjima

**Vremenska ovisnost operatora  $a(t)$ ,  $a^+(t)$ ,  $x(t)$ ,  $p(t)$**

**Operatori polja, definicija, komutatori**

**Veza operatora polja i operatora stvaranja/poništanja kvantnih stanja**

**Prikaz fizikalnih veličina u 2. kvantizaciji, gustoća, struja**

**Operator kinetičke energije, 1-čest i 2-čest interakcije, fermion-fermion, bozon-bozon**

**Primjeri: kulonska interakcija, elektron-elektromagnetsko polje**

**Izvod valnih funkcija HO pomoću operatora stvaranja**

Osnovno stanje HO i minimalni valni paket

**Koherentna stanja**

**Dijagonalizacija tjeranog HO pomoću kanonske transformacija**

**Energija osnovnog stanja, koherentna stanja, razvoj po n-stanjima**

**Operator pomaka**

**Svojstva koherentnih stanja**

**Veza sa stanjima elektromagnetskog polja (laser)**

**Izvod vremenske ovisnosti valne funkcije koherentnog stanja HO iz početnog uvjeta**

**Oscilacije gustoće - položaja**

**Stisnuta stanja (squeezed states)**

**Definicija valne funkcije stisnutog stanja HO pomoću početnog uvjeta**

**Oscilacije gustoće - položaja i širine**

**Stisnuta stanja i relacije neodređenosti**

**APROKSIMATIVNE METODE**

**Stacionarni račun smetnje**

**Popravka energije 1. i 2. reda, popravka valne funkcije 1. reda**

**Nedegenerirani i degenerirani slučajevi**

**Uklanjanje degeneracije, smisao postupka i značenje rezultata**

**Primjeri**

**Varijacijski račun**

**Teorem o energiji osnovnog stanja**

**Postupak rješavanja problema, izbor probne funkcije i njezino značenje**

**Problem konvergencije rješenja**

**Primjeri**

**Poluklasična WKB metoda**

**Valna funkcija i faza, Schrodingerova jednačba za fazu valne funkcije**

**Razvoj faze po Planckovoj konstanti i rješenja za valnu funkciju do 1. reda**

**Valna funkcija u klasično «dozvoljenom» i «zabranjenom» području**

**Uvjeti primjenljivosti, obratišta**

**Određivanje energije vezanih stanja pomoću integrala promjene faze**

- beskonačni potencijalni zidovi, stojni valovi
- općeniti slučaj, prodiranje vala u «zabranjeno» područje

- jedna beskonačna i jedna konačna barijera

## **Primjeri**

### TUNELIRANJE

Jednostruko tuneliranje, WKB, delokalizirano – delokalizirano, koeficijenti refleksije i transmisije

Pravokutna potencijalna barijera - usporedba WKB i točnog rješenja (oscilacije...)

Primjeri tuneliranja u fizici i primjena WKB

### **Matrica tuneliranja M i raspršenja S**

**Opis tuneliranja pomoću matrice tuneliranja M, račun matričnih elemenata za pravokutnu barijeru**

**Veza M i S matrice**

**Svojstva M i S matrica zbog svojstava potencijala (realnost, simetrija,..)**

**Višestruko tuneliranje pomoću M matrice: 2 pravokutne barijere**

**Koherentno i sekvencijalno tuneliranje, rezonancije, analiza numeričkog primjera**

**\*Potencijalna jama: energije vezanih stanja i koeficijenti transmisije pomoću elemenata M matrice**

Raspad vezanog stanja: Tuneliranje lokalizirano – delokalizirano, aproksimacije, poluvrijeme raspada, ireverzibilnost

Primjer: alfa-raspad

### **Tuneliranje između vezanih stanja**

- **simetrični sistemi: stacionarna i nestacionarna stanja, oscilacije – reverzibilnost**
- **primjer**
- **asimetrični sistemi: «raspad» stanja, ireverzibilnost**

### **FERMION – BOZON INTERAKCIJA (renormalizacija energije i mase čestice)**

#### **Hamiltonijan interakcije**

**Slaba interakcija – 2. red računa smetnje za mobilnu česticu**

**Realni i virtuelni procesi – promjena energije i vjerojatnost raspada stanja**

**Kompleksna energija - interpretacija**

**Razvoj za male brzine – promjena energije i efektivne mase**

**Primjena – polaron, elektron -LO fonon interakcija**

**Promjena energije, kritični valni vektor, emisija realnih bozona**

**Izbjegavanje divergencije- samosuglasno rješenje – Brillouin-Wignerov račun smetnje**

**Lokalizirana čestica – egzaktno rješenje – kanonska transformacija**

**Određivanje koeficijenata i eliminacija člana interakcije**

**Pomak energije osnovnog stanja, \*spektar**

**\*Pokretna «teška» čestica, rješenje kanonskom transformacijom**

**Određivanje koeficijenata i eliminacija člana interakcije**

**\*IREVERZIBILNOST (FANO, ANDERSON, FRIEDEL)**

**Hamiltonijan interakcije lokaliziranog stanja i kontinuuma stanja (spremnik)**

**Jednadžba gibanja za operatore stvaranja i poništavanja**

**Spektar lokalizirane čestice u interakciji s kontinuumom**

**Aproksimacije koje daju ireverzibilno rješenje**

**Rezonantni oblik spektra, značenje kompleksne energije**

**DINAMIČKI POTENCIJALI – VREMENSKI RAČUN SMETNJE**

**Dinamički potencijali – adijabatski, neadijabatski**

**Vremenski ovisni račun smetnje**

**Elastični i neelastični prijelazi**

**Amplituda prijelaza, vjerojatnost prijelaza, vjerojatnost prijelaza u jedinici vremena**

**Fermijevo zlatno pravilo**

**U matrica/operator vremenskog pomaka, Dysonov razvoj**

**Procesi 1. i 2. reda**

**Procesi 1. reda: primjeri - absorpcija i (stimulirana) emisija, princip detaljne ravnoteže, fotoemisija**

**\*Procesi 1. i 2. reda: međustanja, interferencija između kanala, Fano (anti)rezonancije**