

**Programma del corso di "MECCANICA QUANTISTICA I"**  
**(8 crediti di lezione + 4 crediti di esercitazione)**

**Lezioni: Alessandro Papa (cubo 31C, V piano, tel: 0984 496015, e-mail papa@fis.unical.it)**  
**Esercitazioni: Francesco Plastina (cubo 30C, VI piano, tel: 0984 496046, plastina@fis.unical.it)**

---

### **1. CONCETTI FONDAMENTALI**

Esperimento di Stern-Gerlach (SG). Apparatı di SG in sequenza. Analogia tra stati  $i$  spin e stati di polarizzazione della luce. Ket, bra ed operatori: spazio dei ket, spazio dei bra, prodotto interno, operatori, moltiplicazione ed assioma associativo, commutatori. Ket di base e rappresentazioni matriciali: autoket di un'osservabile, autoket come ket di base, ortonormalità e chiusura dei ket di base, rappresentazioni matriciali.

Misura, osservabili e relazioni di indeterminazione: misura, osservabili compatibili, relazione di indeterminazione. Cambiamento di base: operatore di trasformazione, matrice di trasformazione, diagonalizzazione.

Posizione, momento e traslazione: spettri continui, autoket di posizione e misure di posizione, traslazione, momento come generatore delle traslazioni, le relazioni di commutazione canoniche.

Funzioni d'onda nello spazio della posizione e del momento: relazione tra ket e funzioni d'onda, funzione d'onda nello spazio della posizione, operatore momento nella base della posizione, funzione d'onda nello spazio del momento, generalizzazione alle tre dimensioni.

### **2. DINAMICA QUANTISTICA**

Evoluzione temporale ed equazione di Schrödinger: operatore di evoluzione temporale, equazione di Schrödinger, autoket dell'energia, dipendenza dal tempo dei valori medi.

Schema di Schrödinger e di Heisenberg: operatori unitari, ket ed osservabili nello schema di Schrödinger ed in quello di Heisenberg, le equazioni del moto di Heisenberg, teorema di Ehrenfest, ket di base nello schema di Schrödinger ed in quello di Heisenberg.

Oscillatore armonico semplice: operatori di creazione e di distruzione, autoket ed autovalori dell'energia, evoluzione temporale.

### **3. MECCANICA ONDULATORIA**

Equazione di Schrödinger in rappresentazione delle coordinate. Equazione di continuità per la densità di probabilità e la densità di corrente di probabilità. Equazione di Schrödinger per una particella libera. Equazione di Schrödinger indipendente dal tempo per sistemi unidimensionali. Caso di potenziali costanti a tratti. Wronskiano di due soluzioni dell'equazione di Schrödinger indipendente dal tempo e degenerazione. Teorema della parità. Enunciato del teorema delle oscillazioni. Buche di potenziale e barriere di potenziale. Coefficienti di riflessione e di trasmissione. Effetto tunnel. Hamiltoniane separabili.

### **4. TEORIA DEL MOMENTO ANGOLARE**

Rotazioni e relazioni di commutazione del momento angolare: rotazioni infinitesime e finite, rotazioni infinitesime in meccanica quantistica.

Autovalori ed autostati del momento angolare: relazioni di commutazione, operatori di salita e discesa, autovalori di  $J^2$  e  $J_z$ , elementi di matrice degli operatori di momento angolare, rappresentazioni dell'operatore di rotazione.

Sistemi di spin  $1/2$  e rotazioni finite: operatore di rotazione per spin  $1/2$ , precessione dello spin e operatore di rotazione, formalismo di Pauli a due componenti, matrici di Pauli, rotazioni nel formalismo a due componenti.

Momento angolare orbitale: rappresentazione in coordinate polari sferiche, armoniche sferiche.

Addizione di momenti angolari: esempi di addizione di momenti angolari ( $1/2 \times 1/2$  ed  $1/2 \times 1$ ), discussione del caso generale, coefficienti di Clebsch-Gordan.

### **5. IL POTENZIALE CENTRALE E L'ATOMO DI IDROGENO**

Moto in un campo a simmetria centrale: definizione del problema, sistema a due corpi con potenziale centrale, riduzione a problema unidimensionale, proprietà generali dello spettro, degenerazione nel caso generale.

Atomo di idrogeno: autovalori ed autofunzioni dell'energia, degenerazione nel caso coulombiano, nodi delle autofunzioni.

### **6. METODI DI APROSSIMAZIONE**

Teoria perturbativa indipendente dal tempo, caso non-degenere: illustrazione del problema mediante un sistema a due livelli, sviluppo formale del metodo e determinazione delle correzioni fino al II ordine perturbativo. Effetto Stark quadratico sull'atomo di idrogeno.

Teoria perturbativa, caso degenere: sviluppo formale del metodo e determinazione degli spostamenti energetici fino al I ordine; discussione sugli spostamenti energetici al II ordine.

Effetto Stark lineare sul livello  $n=2$  dell'atomo di idrogeno. Struttura fine dell'atomo di idrogeno. Effetto Zeeman anomalo nell'atomo di idrogeno. Metodo variazionale.

Sistemi dipendenti dal tempo: schema di interazione, sistema a due livelli e oscillazioni di Rabi. Teoria perturbativa dipendente dal tempo: serie di Dyson, perturbazione costante, regola d'oro di Fermi, perturbazione armonica.

## **7. PARTICELLE IDENTICHE**

Indistinguibilità delle particelle identiche in meccanica quantistica. Postulato di simmetrizzazione. Connessione spin-statistica. Principio di esclusione di Pauli. Sistema di due elettroni. Atomo di elio. Cenni sull'Aufbau della tavola periodica degli elementi.

---

### **Riferimenti bibliografici:**

1. J.J. Sakurai, Modern quantum mechanics, Addison-Wesley
2. D.J. Griffiths, Introduzione alla meccanica quantistica, Casa Editrice Ambrosiana
3. A. Papa, Appunti del corso di Introduzione alla Fisica Quantistica (disponibili al sito [www.cs.infn.it/papa](http://www.cs.infn.it/papa)): cap. 5 [per la meccanica ondulatoria] e cap. 7 [per il potenziale centrale e l'atomo di idrogeno]
4. A. Papa, note personali.