**Programma di Meccanica Quantistica, a.a. 2013-2014**

***G Ciccotti e S. Bonella***

1.- Meccanica Classica vs MQ, spazi degli stati e osservabili

2.- Apparato matematico

- Ket e bra (spazio duale). Prodotto scalare e norma.

- Operatori lineari ed hermitiani

- Rappresentazione matriciale

- Autovalori ed autovettori per op. hermitiani ed unitari

- Diagonalizzazione di matrici hermitiane e simultanea per matrici che commutano

- Funzioni di operatori e derivazione rispetto ad un parametro

- Spazi lineari di dimensione infinita

- Base posizionale e normalizzazione di Dirac. Proprieta’ della delta di Dirac

- Operatori lineari ed hermitiani in spazi di Hilbert

- Operatori impulso e posizione. Operatori coniugati

3.- Evidenze sperimentali

- Onde e particelle classiche

- Esperimento della doppia fenditura con luce intensa e debole

- Esperimento con particelle miscoscopiche

- Esperimento di Stern e Gerlach

4.- Postulati della MQ

- Stato, osservabile, misura, evoluzione

- Misura e proiettori

- Corrispondenza osservabili classiche/quantistiche

- Collasso del vettore di stato

- Valori di aspettazione e incertezzza

- Matrice densita’

- Variabili compatibili ed incompatibili

- Insiemi completi di indici

- La MQ con piu’ gradi di liberta’

- Eq. di Schroedinger dipendente e indipendente dal tempo

- Rappresentazione di Schroedinger e di Heisenberg

- Eq. di Schroedinger nelle basi r e p

- Propagatore formale per hamiltoniana dipendente dal tempo

5.- Problemi unidimensionali

- Il propagatore di particelle libere, operatore e matrice nella base delle x

- Particella in una scatola

- Equazione di continuita’ e risultati esatti in una dimensione: non degenerazione e rappresentazione reale

- Il limite classico ed il teorema di Ehrenfest

- L’oscillatore armonico (metodo algebrico di Dirac)

- Soluzioni dell’oscillatore armonico nella base posizionale

6.- Le relazioni di indeterminazione di Heisenberg

7.- La formulazione di Feynman del propagatore con integrali di cammino

- Esistenza della misura funzionale nel caso del propagatore libero

- Limite semiclassico della MQ ottenuto dalla formulazione di Feynman

8.- Sistemi a piu’ particelle

- Spazi prodotto tensoriale e loro proprieta’

- Operatori prodotto

- Separazione delle variabili

- Particelle identiche e indistinguibili

- Simmetrizzazione e antisimmetrizzazione

- principio di Pauli

- Lo spazio di Hilbert di bosoni e fermioni. Normalizzazione propria ed impropria

- Determinazione della statistica delle particelle (da due ad N particelle)

- Simmetrizzazione per particelle identiche senza sovrapposizione

9.- Simmetrie e leggi di conservazione

- Simmetrie, trasformazioni infinitesime ed invarianza

- Richiami sulla formalizzazione delle simmetrie in MC

- Trasformazioni canoniche regolari

- Trasformazioni infinitesime e generatori

- I due teoremi fondamentali dell’invarianza

- Il caso della MQ: Traslazione ed invarianza traslazionale. Punto di vista attivo e passivo

- Traslazioni finite e in molte dimensioni. Effetto dell’invarianza traslazionale sull’evoluzione dello stato

- Traslazione temporale ed invarianza sotto traslazione temporale

- Parita’ ed invarianza sotto parita’

- Inversione temporale ed invarianza sotto time-reversal

- Rotazione intorno all’asse z, infinitesime e finite. Generatore e commutazioni

- Autovalori ed autovettori di Lz . Invarianza dell’hamiltoniana sotto rotazioni intorno a z. Base per l’hamiltoniana. Equazione radiale

- Operatori vettoriali

- Momento angolare in 3-D. Commutazioni fondamentali. L2 e sue commutazioni

- Costruzione dello spazio degli autostati e dello spettro di L2 e di Lz.

- Possibilita’ di valori seminteri e sua relazione con la natura algebrica dei vettori di stato (spinori)

- Le armoniche sferiche per la rappresentazione angolare degli autostati

10.- L’ equazione radiale e l’atomo di idrogeno

- Soluzione in 3D di un’hamiltoniana invariante per rotazioni: l’eq. radiale

- L’atomo di idrogeno

 - Separazione del centro di massa

 - l’eq. per il moto relativo e la sua eq. radiale

 - Autovalori ed autovettori dell’eq. radiale

 - Raggio di Bohr, degenerazione accidentale e vettore di Lenz.

11.- Spin

- Spin, spinori e matrici di Pauli

- Lo spazio degli stati di un elettrone con spin

- L’eq. di Pauli in campo elettromagnetico

- Il momento magnetico anomalo dell’elettrone

- Composizione di momenti angolari. I coefficienti di Clebsch Gordan

12.- Metodi approssimati

- Cenni sulla derivazione funzionale

- La condizione di stazionarieta’ in presenza di vincoli

- Maggiorazione del funzionale energia e teorema di Ritz

- L’approssimazione di Hartree

- Metodo di Ritz per gli stati eccitati: simmetrie e risultati esatti; casi approssimati

- Funzioni di prova come combinazioni lineari e teorema di Hylleraas

- L'approssimazione di Hartree per due particelle in una dimensione..

- Il metodo WKB nelle regioni permesse e proibite

- Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo nel caso non degenere, primo e secondo ordine

- Caso degenere, degenerazione tolta e non

- Teoria delle perturbazioni dipendente dal tempo: metodo di Dirac

- Soluzione al prim’ordine

- Perturbazione accesa a t=0 ma indipendente dal tempo

- Regola d’oro di Fermi

- Perturbazione periodica sinusoidale. Risonanza e regola di Bohr

- Perturbazioni periodiche generali

- Regola d’oro

Riferimenti.

Generalmente (ma, attenzione alla sezione 12) tutto il materiale si puo’ trovare su :

Shankar, Principles of Quantum Mechanics, Springer

Patri’ e Testa, Fondamenti di meccanica quantistica, Ed. Nuova Cultura

Per la sezione 12 e’ piu’ utile:

Bransden & Joachain, Quantum Mechanics, Pearson