

PROGRAMMA DEL CORSO DI 'MECCANICA QUANTISTICA 2'

PROF. E. PACE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN FISICA

(9 CFU)

A.A. 2015-2016

- 1) Postulati della meccanica quantistica. Osservabili. Misura di una quantita' fisica; riduzione di un pacchetto d'onda dopo una misura. Evoluzione temporale. Insieme completo di osservabili che commutano. Stati stazionari. Relazione di incertezza tempo-energia. [CDL, C3 A,B,C,D]
- 2) Operatore di evoluzione. Derivata di un esponenziale di un operatore. Rappresentazione di Schroedinger e rappresentazione di Heisenberg. Equazione del moto per un operatore nella rappresentazione di Heisenberg. Rappresentazione di interazione; operatore di evoluzione nella rappresentazione di interazione. Espansione perturbativa di Dyson per l'operatore di evoluzione. [Joachain, C13]
- 3) Propagatore ritardato e sua rappresentazione esplicita per una hamiltoniana indipendente dal tempo. Equazione di Green per il propagatore ritardato. Postulati di Feynman per l'evoluzione temporale di un sistema fisico. [CDL, Complemento J_{III}]
- 4) Metodo variazionale. Teorema di Ritz. [CDL, Complemento E_{XI}]
- 5) Oscillatore armonico tridimensionale. [CDL, Complemento B_{VII}]
- 6) Condizioni sul fascio e sul bersaglio in urti tra particelle. Canali. Definizione di sezione d'urto totale e differenziale. [Joachain, C1]
- 7) Cinematica relativistica. Trasformazioni di Lorentz. Sistema del laboratorio e sistema del centro di massa. Relazione tra sezioni d'urto nel sistema del laboratorio e nel sistema del centro di massa. [Joachain, C2.2]
- 8) Riduzione dell'urto tra due particelle alla diffusione di una particella da un potenziale. Funzione d'onda dipendente dal tempo e funzione d'onda di scattering stazionaria. Condizioni asintotiche. [Joachain, C3.1, C3.2]
- 9) Flusso entrante e flusso uscente. Sezione d'urto differenziale. Interferenza tra flusso uscente radiale e flusso entrante. Teorema ottico. Conservazione della probabilita'. [Joachain, C3.3, C3.4]
- 10) Pacchetti d'onda liberi; velocita' di gruppo. Condizioni perche' la forma del pacchetto non cambi nel tempo. Parametro d'urto. Pacchetti d'onda in presenza di interazione; condizioni asintotiche. Velocita' di gruppo dell'onda radiale. Sezione d'urto differenziale calcolata con i pacchetti d'onda. [Joachain, C3.5]
- 11) Sviluppo della funzione di scattering stazionaria in autofunzioni della hamiltoniana e del

momento angolare. Equazione per la funzione radiale. Equazione sferica di Bessel. Funzioni sferiche di Bessel, di Neumann e di Hankel. Funzioni regolari ed irregolari. Sviluppo di un'onda piana in funzioni sferiche di Bessel. [Joachain, C4.1.1, C4.1.2]

- 12) Condizioni al contorno per le funzioni radiali. Condizioni sul potenziale per avere soluzioni sinusoidali all'infinito. Sfasamenti. Condizioni sulla funzione radiale nell'origine per potenziali meno divergenti di $(1/r)^2$. [Joachain, C4.1.3]
- 13) Sviluppo in armoniche sferiche dell'ampiezza di diffusione. Onde parziali. Sviluppo della sezione d'urto differenziale e totale in onde parziali. Teorema ottico e relazione di unitarieta'. Sfasamenti e interazione. [Joachain, C4.1.4, C4.1.5, C4.1.6, C4.2, C4.3.1]
- 14) Equazione integrale per lo scattering da potenziale. Funzione di Green libera. Rappresentazione nel piano complesso della funzione di Green libera corrispondente ad un' onda sferica uscente. Equazione di Lippmann-Schwinger. Matrice di transizione. [Joachain, C5.1, C5.2, C5.3]
- 15) Funzione di Green totale corrispondente ad un' onda sferica uscente. Funzione di Green libera e funzione di Green totale corrispondenti ad un' onda sferica entrante. Notazione di Dirac per l'equazione di Lippmann-Schwinger e per l'equazione per la funzione di Green totale. [Joachain, C5.4,]
- 16) Diffusione di particelle identiche. Bosoni e fermioni. [Joachain, C7.2 C7.3 senza esempi]
- 17) Risoluzione dell'equazione di Lippmann-Schwinger per iterazione. Approssimazione di Born e serie di Born per la funzione di scattering stazionaria, per l'ampiezza di diffusione e per la matrice di transizione. Condizioni sufficienti per la convergenza della serie di Born a tutte le energie e condizioni sufficienti per la convergenza ad energie abbastanza grandi. [Joachain, C8.1, C8.2, C8.3, C8.4]
- 18) Postulati della meccanica quantistica relativistica. Vettori controvarianti e covarianti; operatore quadrimpulso. [BD, 1.1; G, 1.1; Jackson, C11,6]
- 19) Equazione di Klein-Gordon; soluzioni ad energia positiva e negativa. Corrente per particelle di Klein-Gordon. Limite non relativistico dell'equazione di Klein-Gordon. Campo di Klein-Gordon per particelle cariche e per particelle neutre. [G, C1.2, C1.3, C1.4, E1.1]
- 20) Formalismo lagrangiano per l'equazione di Klein-Gordon. Tensore canonico degli sforzi. Densita' di energia ed energia totale. Teorema di Noether. Covarianza dell'equazione di Klein-Gordon [G, C1.5, E1.2, E1.3, E1.5]
- 21) Coniugazione di carica; antiparticelle. Parita' di coniugazione di carica; esempi. [G, E1.6]
- 22) Interazione di particelle di spin zero con il campo elettromagnetico. Densita' di corrente e di carica in presenza di un campo. Invarianza di gauge dell'equazione di Klein-Gordon. Limite non relativistico in presenza di un campo elettromagnetico. [G, C1.9 (esempio escluso), C1.10, C1.11]

- 23) Trasformazione del campo di Klein-Gordon per inversioni spaziali. Parita' del pione. [G, E1.17]
- 24) Equazione di Dirac. Regole di commutazione delle matrici di Dirac. Dimensioni delle matrici di Dirac. Rappresentazione di Dirac-Pauli delle matrici di Dirac; equivalenza di diverse rappresentazioni. [G, C2]
- 25) Moto libero di una particella di Dirac. Soluzioni positive e negative. Operatore di spin; elicitita'. Forma covariante dell'equazione di Dirac. Matrici gamma e loro proprieta'. [G, C2.1, C3]
- 26) Densita' di lagrangiana per l'equazione di Dirac. Tensore canonico degli sforzi. Energia di particelle e antiparticelle. [G, E2.2, E2.3]
- 27) Equazione di Dirac in un campo elettromagnetico. Operatore velocita'. Derivata della quantita' di moto rispetto al tempo. [G, C2.3, E2.4]
- 28) Riduzione non relativistica dell'equazione di Dirac. Componenti piccole e grandi degli spinori. Fattore giromagnetico. [G, C2.3]
- 29) Trasformazioni di Lorentz proprie ed improprie. Covarianza della equazione di Dirac. [G, C3, C3.1]
- 30) Trasformazioni di Lorentz proprie infinitesime. Esempi: boosts e rotazioni. Trasformazioni inverse. Generatori dei boosts e delle rotazioni. Trasformazioni di Lorentz finite a partire dai generatori. [G, 3.1, C3.2, E3.2, C3.3]
- 31) Operatori delle trasformazioni di Lorentz per gli spinori: casi particolari. [G, C3.4, E3.3]
- 32) Covarianza della densita' di corrente. [G, C3.5]
- 33) Riflessione spaziale e trasformazione degli spinori. [G, C4]
- 34) Covarianti bilineari degli spinori di Dirac e loro proprieta' di trasformazione. [G, C5, E5.1]
- 35) Costruzione degli spinori per una particella in moto a partire dagli spinori a riposo. [G, C6, C6.1, E6.1]
- 36) Proprieta' di ortogonalita' e normalizzazione degli spinori. Proprieta' di ortogonalita' e completezza delle onde piane di Dirac. [G, C6.2, E6.3, E6.4, E6.5]
- 37) Vettore di polarizzazione e spinori polarizzati. Operatori di proiezione sugli stati ad energia positiva e negativa. Operatori di proiezione di spin. [G, C6.3, C7, C7.1]
- 38) Pacchetti di onde: condizione di normalizzazione. [G, C8]
- 39) Decomposizione di Gordon della corrente. [G, E8.1, E8.2]
- 40) Hole theory. Creazione e distruzione di coppie particella-antiparticella. Operatore di coniugazione di carica. Equazione di Dirac per particella e antiparticella. [G, C12, C12.1, E12.4, C12.2]
- 41) Valore di aspettazione di un operatore nello stato coniugato di carica. Esempi. [G, E12.2, E12.3]
- 42) Effetto dell'operatore parita' sul potenziale vettore. Invarianza dell'equazione di Dirac per parita'

in presenza del campo elettromagnetico. [G, C12.4]

43) Inversione temporale. Operatore di inversione temporale. [G, C12.4]

44) Operatore PCT. Invarianza in forma dell'equazione di Dirac in presenza del campo e.m. per trasformazioni PCT. [G, C12.4]

45) Equazione di Weyl. Elicita' di neutrini e antineutrini. Equazione per neutrini ed antineutrini. [G, C.14]

46) Connessione tra equazione di Weyl ed equazione di Dirac a massa nulla. Conservazione di PC per particelle di Weyl. [G, C.14, E14.1,E14.2]

Testi consigliati:

1) "Quantum Mechanics", Cohen-Tannoudji, Diu, Laloe, John Wiley & Sons;

2) "Quantum Collision Theory", C. J. Joachain, North Holland;

3) "Relativistic Quantum Mechanics", W. Greiner, Springer-Verlag;

4) "Relativistic Quantum Mechanics", J.D. Bjorken, S.D. Drell, McGraw-Hill;

5) "Classical Electrodynamics", J.D. Jackson, John Wiley & Sons