

Fisica Nucleare e Subnucleare II

Prof. Claudio Luci

Bibliografia

Il libro di riferimento è:

- **Nuclear and Particle Physics; Burcham and Jobes; Pearson Prentice Hall**

Altri libri utili per consultazione sono:

- **A.Bettini; Introduction to Elementary Particle Physics**
- **Braibant - Giacomelli – Spurio; Particelle e Interazioni fondamentali**
- **Martin – Shaw; Particle Physics**
- **Perkins; Introduction to high energy physics**
- **Povh, Rith, Scholz, Zetsche; Particelle e Nuclei**

Sui seguenti libri è posto maggiormente l'accento sull'aspetto formale della fisica delle particelle:

- **Griffiths; Introduction to high energy physics**
- **Halzen-Martin; Quark & Leptons**

In questo libro si possono trovare gli articoli originali dei lavori sperimentali più importanti della fisica delle particelle:

- **Cahn-Goldhaber; experimental foundations of particle physics**

Conoscenze di base

Alcuni concetti di base non vengono spiegati in dettaglio in questo corso ma si assume che tali conoscenze siano state acquisite nel corso di Fisica Nucleare e Subnucleare I del terzo anno e/o nei corsi di meccanica quantistica.

Ad esempio:

classificazione delle particelle elementari: leptoni, adroni, fermioni, bosoni. Interazioni fondamentali. Meccanica relativistica: trasformazioni di Lorentz, invarianti relativistici, massa invariante, soglia di una reazione. Concetto di sezione d'urto, vita media. Regola d'ora di Fermi. Spin di una particella, composizione dei momenti angolari. Interazione delle particelle con la materia. Concetto di risonanza. Uso delle unità naturali.

(Burcham:cap1, cap2, cap.7)

Cenni di Fisica Teorica

Inoltre per una migliore comprensione del corso è utile avere una buona conoscenza di alcuni concetti di Fisica Teorica introdotti nel corso di Meccanica Quantistica Relativistica, come ad esempio:

equazioni d'onda relativistiche: equazione di Klein-Gordon ed equazione di Dirac. Soluzioni per elettrone a riposo. Interpretazione di Dirac delle energie negative. Formulazione covariante. Matrici γ . Covarianti bilineari. Elicità. Interpretazione di Stueckelberg-Feynman degli stati ad energia negativa. Introduzione alla seconda quantizzazione. Campo e.m. Operatori di creazione e distruzione. Spazio di Fock. Seconda quantizzazione del campo di Dirac. Formalismo Lagrangiano. Lagrangiana di Dirac, di Klein-Gordon e del campo e.m. Lagrangiana di interazione tra il campo di Dirac ed il fotone. Rappresentazione di interazione. Matrice S. Equazione integrale della matrice S. Diagrammi di Feynman, Regole di Feynman. Propagatore. Cenni al problema della rinormalizzazione. Regola d'oro di Fermi. Probabilità di transizione per unità di tempo. Somma delle ampiezze e somma delle probabilità.

(Burcham: cap11:par 11.4, cap 13: par. 13.2, 13.3,13.4)

Programma d'esame

Simmetrie e leggi di conservazione

Unitarietà dell'operatore di simmetria. Generatore della trasformazione. Simmetrie continue e discrete. Numeri quantici additivi e moltiplicativi. Operatore di parità. Parità intrinseca. Invarianza di gauge e conservazione della carica. Numero barionico e leptonico. Misura della parità del π^- . Simmetria per coniugazione di carica. Autovalori della coniugazione di carica del γ , del π^0 , di stati di coppie particella-antiparticella (bosoni e fermioni). Cenni alla time reversal. Teorema CPT. Isospin. SU(2). Matrici di Pauli. Generatori di SU(2). Invarianza delle interazioni forti per trasformazioni di isospin. Formula di Gell-Mann Nishijima. Conseguenze dinamiche dell'invarianza di isospin: scattering nucleone-nucleone, scattering pione-nucleone, risonanza Delta.

(Burcham: cap. 8: par. 8.1-8.10, 8.12)

Spettroscopia adronica e Modello a quark

La scoperta delle particelle strane. Produzione associata. La stranezza. Interazioni dei mesoni K carichi. Iperoni strani metastabili. Cenni al gruppo SU(3). Matrici di Gell-Mann e generatori di SU(3). Classificazione delle particelle adroniche. Grafico isospin-ipercarica. Introduzione dei quark. Numeri quantici dei quark. Costruzione dell'ottetto 0^- dei mesoni. Degenerazione degli stati con $Y=0$ e $I_3=0$. Isodoppio (u,d). Cenni alla formula di massa di Gell-Mann e Okubo. Mesoni vettoriali 1^- . Decadimenti della ϕ e dell' ω . Regola di OZI. Masse efficaci dei quark u, d, e s. Discussione sul concetto di massa di una particella: massa dei quark.

(Burcham: cap.9: par 9.1; cap.10: par.10.1 (cenni),10.2,10.3,10.4,10.5 (cenni), 10.7.2 ; un approfondimento sui mesoni può essere trovato sul Perkins)

Il colore e la QCD

Problemi con la simmetria della funzione d'onda della Δ^{++} . Introduzione del colore. Ipercarica di colore e di isospin di colore. Ipotesi del confinamento del colore. Gli adroni sono "bianchi". Cenni ai collider e^+e^- . Evidenza sperimentale del colore: rapporto R e larghezza del π^0 . Carica di colore. I gluoni a la QCD. Il colore dei gluoni. Costante di accoppiamento forte α_s . Cenni al running delle costanti di accoppiamento. Libertà asintotica della QCD. Processo di adronizzazione. Spin dei quark e scoperta del gluone. Regola di OZI e la QCD.

(il colore può essere studiato sul Martin-Shaw, sul Bettini o sul Braibant-Giacomelli-Spurio)

Struttura degli adroni e modello a partoni

Introduzione allo scattering elettrone-protone. Variabili cinematiche e quadrimpulso trasferito. Esperimento di Hofstadter. Sezione d'urto di Rutherford, di Mott e di Rosenbluth. Fattori di forma elettrico e magnetico. Legge di scala dei fattori di forma. Fattore di forma di dipolo. Dimensione del protone. Scattering elastico elettrone-muone. Cenni all'invarianza dalla scala. Scattering anelastico elettrone-protone. Relazione tra Q^2 , ν e x . Apparato sperimentale di Slac. Esempi di misure di sezioni d'urto anelastiche. Sezione d'urto differenziale e funzioni di struttura. Scaling di Bjorken: variabile x . Evidenze sperimentali dello scaling. Interpretazione di Feynman dello scaling: ipotesi dei partoni. Scattering elastico elettrone-partone. Funzione di distribuzione della densità dei partoni. Relazione di Callan-Gross. Quark di valenza e quark del mare. Regole di somma. Impulso trasportato dai gluoni.

(Burcham: cap.12, par.12.1-12.5,12.6.1)

Interazioni deboli

Introduzione al decadimento beta. Decadimenti di Fermi e di Gamow-Teller. Interazione puntiforme di Fermi. Interazione vettore-vettore. Costante di Fermi. Regola di Sargent. Generalizzazione della teoria di Fermi. Associazione tra tipi di corrente e covarianti bilineari. Spettro di energia dell'elettrone nel decadimento beta. Interazione V e A. Particelle strane: τ - θ puzzle. Determinazione della parità dello stato a 2 pioni e a 3 pioni. Teoria a due componenti del neutrino. Proiettore di elicità. Misura dell'elicità del neutrino: esperimento di Goldhaber. Interazione V-A. Universalità delle interazioni deboli. Vita media del muone. Rapporti di decadimento (B.R.). Interazione corrente-corrente delle interazioni deboli. Violazione dell'unitarietà della teoria puntiforme di Fermi. Introduzione del bosone W. Propagatore del W. Relazione tra M_W e G_F . Relazione tra carica debole e carica elettrica. Angolo di Weinberg. Decadimento del pione carico (senza il calcolo della larghezza parziale). Vita media del pione. Confronto tra il BR in elettrone e quello in muone. Elicità del muone e dell'elettrone. Decadimento del K carico in muone. Rapporti tra i decadimenti del K e del pione. Angolo di Cabibbo. Organizzazione delle particelle in doppietti di isospin. Decadimento del K neutro in coppia di muoni. Corrente neutra con cambiamento di stranezza. Effetto GIM. Introduzione del quark charm. Modello spettatore. Scoperta della J/Ψ . Matrice CKM. Scoperta della Ypsilon.

(Burcham: cap.5: par.5.2, cap. 11: par.11.1, 11.2,11.3.2,11.5,11.6,11.8-11.12 ; cap.10 :par.10.7.1,10.7.3)

Il sistema dei mesoni K neutri e violazione di CP

Il sistema dei K neutri. Produzione del K^0 e anti- K^0 . Autostati di CP: K_1^0 e K_2^0 . Decadimenti del K_1^0 in $\pi\pi$ e del K_2^0 in $\pi\pi\pi$. Vite medie. Oscillazioni di stranezza. Diagramma di Feynman per l'oscillazione. Interazioni dei K^0 e degli anti- K^0 con la materia. Determinazione di Δm . Rigenerazione dei K_1^0 . Esperimento di Cronin e Fitch sulla violazione di CP. Violazione di CP dei K_L^0 . Violazione diretta e indiretta. Introduzione dei K_S^0 e K_L^0 . Introduzione dei parametri della violazione di CP η_{+-} e η_{00} . Decadimenti semileptonici del K_L^0 . Introduzione del parametro δI . Definizione operativa della carica positiva. Violazione diretta di CP. Elementi di matrice per le transizioni $\Delta I=1/2$ e $\Delta I=3/2$. Introduzione del parametro ϵ' . Introduzione del doppio rapporto per la misura di ϵ' . Condizioni per il mescolamento dei mesoni neutri. Cenni alla violazione di CP nel sistema dei B^0 . Matrice CKM e Triangolo di Unitarietà.

(Burcham: cap.11: par.11.13; vedere anche il Perkins ed il Martin-Shaw)

Teorie di Gauge e Modello Standard.

Teorie di gauge. Invarianza di gauge locale: QED. Campi di Yang-Mills. Modello di Glashow-Weinberg-Salam. Rottura spontanea di una simmetria discreta. Potenziale $\lambda\phi^4$. Rottura spontanea di una simmetria continua: teorema di Goldstone. Meccanismo di Higgs. Meccanismo di Higgs applicato al modello GWS. Angolo di mixing debole θ_w . Massa dei bosoni. Massa dei fermioni. Bosone di Higgs. Struttura a doppietti delle particelle nel Modello Standard. Corrente carica puramente levogira. Corrente e.m. Corrente neutra di SU(2). Corrente neutra di ipercarica debole. Relazione di Gell-Mann Nishijima per l'isospin debole e l'ipercarica debole. Numeri quantici per leptoni e quark. Interazioni nel modello SU(2) \times U(1). Introduzione dei W carichi. Introduzione del fotone e dello Z. Accoppiamento del fotone. Struttura delle correnti deboli neutre. Accoppiamento vettoriale e assiale dello Z. Cenni alla rinormalizzazione ed al running delle costanti di accoppiamento.

(Burcham: cap.13: par.13.1,13.5,13.6)

Verifiche sperimentali del Modello Standard

Scoperta delle correnti deboli neutre in camera a bolle. Asimmetrie avanti-indietro nel processo $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Produzione dello Z e del W al collider SPPS. Il collider e^+e^- LEP. Misura della massa e delle larghezze parziali e totale dello Z. Misura del numero di famiglie di neutrini leggeri. Produzione di coppie di W al LEP. Verifica dell'esistenza del vertice triplo di bosoni di gauge. Cenni alla ricerca dell'Higgs a Lep e a LHC.

(Burcham: cap.14 : par.14.1,14.3.1,14.3.2,14.3.3., 14.3.4, 14.3.8,14.3.9, 14.3.14(cenni))