

Fisica Nucleare e Subnucleare II

Prof. Marco Rescigno

(a.a. 2015/2016)

Testi di riferimento

- Burcham and Jobes, “**Nuclear and Particle Physics**”; Pearson Prentice Hall.
- Cahn-Goldhaber, “**Experimental foundations of particle physics**”; Cambridge University Press, 2nd edition (2009).

Programma di Esame Preliminare

Interazioni particelle con la materia e metodi di misura (cenni)

Perdite di energia per ionizzazione, Bethe-Bloch, fluttuazioni di Landau, percorso residuo, particelle al minimo di ionizzazione e multiplo scattering. Radiazione Cherenkov, identificazione di particelle. Perdita di energia per elettroni, energia critica, bremsstrahlung. Interazione dei fotoni, effetto fotoelettrico, Compton, creazione di coppie. Sciame elettromagnetici e adronici. Misura di particelle cariche in campo magnetico.

(Burcham: cap. 2: par. 1-3)

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-iper carica. Introduzione dei quark. Numeri quantici dei quark. Costruzione dell'ottetto 0^- dei mesoni.

(Burcham: cap.9: par 9.1; cap.10: par.10.1 (cenni),10.2,10.3,10.4.

Il colore e la QCD

Problemi con la simmetria della funzione d'onda della Δ^{++} . Introduzione del colore. Iper carica 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..

(Cahn-Goldhaber: cap. 10)

Struttura degli adroni e modello a partoni

Introduzione allo scattering elettrone-protone. Variabili cinematiche e quadrimpulso trasferito. Esperimento di Hofstafer. 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. Processi di Drell-Yan.

(Burcham: cap.12, par.12.1-12.7. Cahn-Goldhaber: cap. 8)

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. Matrice CKM e cenni alla misura del modulo dei suoi elementi.

(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. Cahn-Goldhaber: cap. 6)

Scoperta del quarkonio e della terza famiglia di fermioni

Scoperta della J/Ψ . Esperimenti a BNL e SLAC. Misura delle proprietà della J/Ψ . Regola di OZI e α_s running. Open charm. Scoperta del leptone tau. Scoperta della Ypsilon. Quarkonium states.

(Cahn-Goldhaber cap. 9)

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^0_1 e K^0_2 . Decadimenti del K^0_1 in $\pi\pi$ e del K^0_2 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^0_1 . Esperimento di Cronin e Fitch sulla violazione di CP. Violazione di CP dei K^0_L . Violazione diretta e indiretta. Introduzione dei K^0_S e K^0_L . Introduzione dei parametri della violazione di CP η_{+-} e η_{00} . Decadimenti semileptonici del K^0_L . Introduzione del parametro δI . Definizione operativa del segno della carica elettrica. 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.

(Burcham: cap.11: par.11.13; consultare anche Cahn-Goldhaber cap. 7)

Il mixing e la violazione di CP nei mesoni neutri

Evoluzione temporale per i mesoni neutri con sapori pesanti. Effetti della differenza di massa e della differenza di vita media: fenomenologia delle oscillazioni nei D^0 , B^0 e B_s . Il tagging del flavour iniziale dei mesoni. La violazione di CP nel mixing, nell'interferenza con il mixing e violazione di CP diretta. Misure sperimentali a LHC e alle B-factories e relazione con i parametri della matrice CKM. Rilevanza per la ricerca di nuova fisica.

(Cahn-Goldhaber cap. 15; slide del seminario dott. Dorigo e referenze li' contenute)

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)

Correnti neutre e prime misure di $\sin^2(\theta_w)$

Scoperta delle correnti deboli neutre in camera a bolle. Scattering su nucleoni e su elettroni. Le correnti neutre e la misura di $\sin^2(\theta_w)$. Il rapporto neutral current su charged current (NC/CC). L'esperimento CHARM e la misura di $\sin(\theta_w)$ dal rapporto di reazioni di corrente neutra su elettroni per neutrini e anti-neutrini. Asimmetrie avanti-indietro nel processo $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ a energie del centro di massa minori di M_Z .

(Burcham: cap.14 : par.14.1,14.3.1,14.3.2,14.3.3, 14.3.6,14.3.4)

Produzione di W e Z ai collider adronici e leptonic.

Produzione dello Z e del W al collider SPPS. Collisioni protone-protone e protone-antiprotone, generalità: variabili cinematiche, underlying event e

minimum bias (cenni), espressione generale per le sezioni d'urto. Scoperta di W e Z a SppS, misura di elettroni, muoni e del momento trasverso mancante. Picco Jacobiano, massa trasversa. Misure di precisione della massa del bosone W: motivazioni; misura alla soglia di produzione nelle annichilazioni e⁺e⁻; misura tramite ricostruzione diretta a Lep2; misura ai collider adronici, CDF. Misura della larghezza di decadimento del bosone W. Polarizzazione dei bosoni W ai collider adronici, verifica dello spin del bosone W, impatto sulla determinazione delle pdf dei quark, asimmetrie leptoniche a Tevatron (protone-antiprotone) e a LHC (protone-protone). Determinazione del mare strano con W+charm (cenni).

(Burcham: cap.14 : par. 14.3.8, 14.4.7, 14.4.8. Cahn-Goldhaber cap.12. Su MW: LEP EWK Working Group, "Electroweak Measurements in Electron-Positron Collisions at W-Boson-Pair Energies at LEP": <http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG/2/lep2rep.pdf> ; CDF collaboration, <http://www-cdf.fnal.gov/physics/ewk/2012/wmass/>)

Misure di precisione elettro-deboli a LEP/SLD

Il collider e⁺e⁻ LEP. Misura della massa e delle larghezze parziali e totale dello Z. Misura dell'energia del fascio con la tecnica della depolarizzazione risonante. Misura della luminosità, scattering Bhabha a piccolo angolo. Correzioni radiative QED. Misura del numero di famiglie di neutrini leggeri: diretta, indiretta, dalla cosmologia. Sezioni d'urto differenziali, asimmetrie e la misura di sin²(θ_W). Decadimenti del leptone tau e polarizzazione. Cenni alle correzioni radiative elettro-debole e misura indiretta della massa del quark top e del bosone di Higgs.

(Lep Final Results: Physics Reports: Volume 427 Nos. 5-6 (May 2006) 257-454 <http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG/1/>

Articolo di Review su EWK precision measurement a Lep: M. Grunewald, [Physics Reports, Volume 322, Issues 3-4 \(1999\), pp. 125-346](#)

Ricerca del bosone di Higgs, scoperta a LHC, misura delle proprieta' e prospettive.

La ricerca a LEP. Sezioni d'urto di produzione ai collider adronici. Decadimenti del bosone di Higgs nel Modello Standard. La scoperta a LHC. Decadimenti in due bosoni. Misura di massa e larghezza. Determinazione di Spin Parità. Decadimenti in due fermioni. Determinazione degli accoppiamenti. Esempi di interpretazione dei risultati in modelli oltre il Modello Standard (BSM).

“A Massive Particle Consistent with the Standard Model Higgs Boson observed with the ATLAS Detector at the Large Hadron Collider”: Science 338 (2012) 1576-1582: <http://inspirehep.net/record/1223730>

“Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”: Phys.Lett. B 716 (2012) 1-29: <http://inspirehep.net/record/1124337>

“Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC”: Phys.Lett. B716 (2012) 30-61: <http://inspirehep.net/record/1124338>

The CMS Collaboration , “Evidence for the direct decay of the 125 GeV Higgs boson to fermions” Nature Physics 10, 557–560 (2014) <http://www.nature.com/nphys/journal/v10/n8/full/nphys3005.html>)