

Corso di Laurea Magistrale in Fisica		Insegnamento / Course Complementi di Fisica delle Particelle Elementari / Advanced Elementary Particle Physics		
SSD: FIS/01	CFU/Credits: 8	Anno di corso: II	Lezione (ore): 64	Esercitazione (ore): 0
Obiettivi formativi: L'insegnamento approfondisce ed estende in maniera sistematica gli argomenti affrontati nell'insegnamento di Fisica delle Particelle Elementari. Sono esaminati sia gli aspetti teorico-fenomenologici che le tecniche sperimentali e le misure alla base del Modello Standard delle interazioni fondamentali. Si trattano con maggiore dettaglio argomenti quali la rottura della simmetria SU(2) _L ×U(1), la violazione di CP, la Fisica del Flavour, la Fisica del Neutrino e le principali estensioni del Modello Standard. Lo studente sarà in grado di comprendere e illustrare quantitativamente lo stato attuale delle conoscenze nella Fisica delle Particelle Elementari, dei problemi ancora ai e delle principali linee di indagine attuali.			Training objectives: The topics covered in the Elementary Particle Physics course are systematically revisited at a deeper level and extended. Both the theoretical/phenomenological aspects and the experimental techniques and measurements that constitutes foundations of the Standard Model of fundamental interactions are examined. Topics such as SU (2) _L ×U (1) symmetry breaking, CP violation, Flavor Physics, Neutrino Physics and the main extensions of the Standard Model are examined in greater details. The student will be able to understand and quantitatively illustrate the current state of knowledge in Elementary Particle Physics, open problems and the main lines of research currently investigated.	

Programma sintetico (sillabo):

Elementi di teoria quantistica dei campi e richiami di teoria dello scattering

Problemi della Meccanica Quantistica Relativistica di singola particella. Seconda quantizzazione e introduzione alla teoria dei campi. Lagrangiana e derivazioni nei casi scalare, di Dirac e vettoriale. Invarianze rispetto a trasformazioni e correnti conservate. Scattering e regole di Feynman.

Interazioni deboli: limiti del modello corrente-corrente

Modello corrente-corrente. Universalità dell'interazione debole carica e angolo di Cabibbo. Generalizzazione a più famiglie. Ruolo della chiralità nell'interazione debole di correnti cariche. Applicazione allo scattering elastico dei neutrini e anti-neutrini su elettroni. Bosoni vettoriali intermedi. La struttura della corrente neutra. Isospin e ipercarica debole.

Invarianza di Gauge

Invarianza di Gauge globale e locale. Rottura spontanea di simmetria. Meccanismo di Higgs per U(1). Meccanismo di Higgs non abeliano.

Il modello GWS delle interazioni elettrodeboli

Organizzazione dei fermioni del modello GWS. Accoppiamento dei bosoni di gauge al campo di Higgs. Rottura spontanea di SU(2) \times U(1) \rightarrow U(1). Generazione delle masse dei bosoni. Accoppiamento dei leptoni ai bosoni di gauge. Correnti cariche e neutre leptoniche. Accoppiamento dei quark ai bosoni di gauge. Interazione di Yukawa e masse dei leptoni e dei quark. Origine della matrice di mescolamento Cabibbo-Kobayashi-Maskawa.

Semplici predizioni a livello albero del modello GWS

Fenomenologia dei processi leptonici. Determinazione delle larghezze dei bosoni W e Z e branching ratio leptonici ed adronici. La scoperta dei bosoni W e Z. Sezione d'urto di produzione di W e Z;

Sviluppi perturbativi di ordine superiore

Correzioni radiative ad un loop. La procedura della rinormalizzazione delle costanti fisiche. Verifiche sperimentali.

Il bosone di Higgs

Cenni sui limiti indiretti. Ricerca dell'Higgs a LEP1 e LEP2. Limiti da misure elettrodeboli (indiretti) e limite diretto da LEP2. Processi di produzione di Higgs a LHC. Decadimenti principali dell'Higgs. Scoperta dell'Higgs e misura della massa ad LHC.

Verifiche del MS con i collisori e+e-

Fisica elettrodebole al picco della Z. Ritorno radiativo e spettro sperimentale della lineshape della Z0. Asimmetrie forward-backward e di polarizzazione. Studi sperimentali condotti a LEP e SLD. Determinazione della polarizzazione del tau dalla distribuzione cinematica dei prodotti di decadimento. Misure di polarizzazione. Tecniche di tagging del flavour con i quark b e c. Misure in canali adronici in beauty e charm a LEP e SLD. Asimmetria di carica adronica inclusiva; larghezza invisibile e numero di neutrini. Studio dei bosoni vettoriali a LEP2: LEP2, sezione d'urto di produzione di coppie di bosoni. Determinazione della massa e della larghezza dei bosoni W.

Cromodinamica quantistica

Trasformazioni di gauge locali SU(3) e interazione QCD. La simmetria approssimata di chiralità. Masse dei quark e degli adroni. Test sperimentali della QCD. Sezione d'urto e+e \rightarrow adroni. Diffusione profondamente anelastica di leptoni su nucleoni. Processi Drell-Yan e produzione di W/Z. Processi a grande momento trasferito in pp e p \bar{p} .

La matrice CKM e la violazione di CP

Matrice CKM. Determinazione degli elementi della matrice CKM. Rappresentazione di Wolfenstein e triangolo dell'unitarietà. Oscillazioni di sapore e violazione di CP: mescolamento di sapore, violazione di CP nel mixing e nel decadimento, evoluzione temporale e oscillazione di sapore, violazione di CP nell'interferenza tra un decadimento senza mixing ed uno con mixing. Violazione diretta di CP nel sistema B0. Violazione di T.

Il leptone tau e i sapori pesanti

Decadimenti deboli dei leptoni. Modi leptonici e semileptonici del leptone tau. Spectral functions nei decadimenti del tau. Quark pesanti. Decadimenti leptonici e semileptonici. Decadimenti esclusivi ed inclusivi.

Fisica dei neutrini

Sorgenti di neutrini e tecniche di rivelazione. Neutrini di Dirac e neutrini di Majorana. Il decadimento doppio beta. Masse dei neutrini: campi chirali; coniugazione particella-antiparticella; masse di Dirac e masse di Majorana; generazione della massa con il meccanismo "seesaw". Oscillazioni di neutrini nel vuoto: caso di due sapori; caso di tre sapori. Implicazioni di CP, T e CPT. Oscillazioni di neutrini nella materia. Determinazione sperimentale dei parametri di massa e di mixing; misura di Δm_{21}^2 e θ_{12} ; misura di Δm_{32}^2 e θ_{23} ; misura di θ_{13} .

Cenni di Fisica oltre il modello standard

Modelli di Grande Unificazione. Esempio di SU(5). Decadimento del protone. Supersimmetria: considerazioni introduttive, il problema della gerarchia; il Modello Standard Supersimmetrico Minimale; R-parità; il parametro $\tan\beta$; Produzione e decadimento delle sparticelle.

Elements of quantum field theory and theory of scattering

Problems with a single particle in relativistic quantum mechanics. Second quantization and introduction to field theory. Lagrangians and field theory of the scalar, Dirac and vector cases. Invariance with respect to transformations and conserved currents. Scattering and Feynman rules.

Weak interactions: limits of the current-current model

Current-current model. Universality of the weak interaction and Cabibbo angle. Generalization to more than one family. Role of chirality in the weak interaction of charged currents. Application to the elastic scattering of neutrinos and anti-neutrinos on electrons. Intermediate vector bosons. The structure of the neutral current. Isospin and weak hypercharge.

Gauge invariance

Global and local Gauge invariance. Spontaneous symmetry breaking. Higgs mechanism for U(1). Non-Abelian Higgs mechanism.

The GWS model of electroweak interactions

Fermion multiplets in the GWS model. Coupling of the gauge bosons to the Higgs field. Spontaneous symmetry breaking of SU(2)_L × U(1)_Y. Generation of the boson masses. Coupling of leptons to gauge bosons. Charged and neutral currents of leptons. Coupling of quarks to gauge bosons. Yukawa interaction and masses of leptons and quarks. Cabibbo-Kobayashi-Maskawa mixing matrix.

Simple tree-level predictions of the GWS model

Phenomenology of lepton processes. Determination of the widths of the W and Z bosons; leptonic and hadronic branching ratios. The discovery of the W and Z bosons. Production cross section of W and Z.

Perturbative expansion at higher orders

Radiative corrections at one loop. The renormalization of physical constants. Experimental measurements.

The Higgs boson

Indirect limits. Search for the Higgs at LEP1 and LEP2. Indirect limits from electroweak measurements and direct limit from LEP2. Higgs production processes at LHC. Main decays of the Higgs boson. Discovery of Higgs boson and measurement of its mass at LHC.

MS checks with e⁺ and e⁻ colliders

Electroweak physics at the peak of the Z boson. Radiative return and experimental Z0 lineshape. Forward-backward asymmetries and polarization asymmetries. Experimental studies at LEP and SLD. Determination of the polarization of tau from the kinematic distribution of its decay products. Polarization measurements. Flavor tagging techniques with b and c quarks. Measurements beauty and charm modes at LEP and SLD. Inclusive hadronic charge asymmetry; invisible width and number of neutrinos. Study of vector bosons at LEP2: LEP2, production cross section of boson pairs. Determination of the mass and width of the W bosons.

Quantum chromodynamics

Local SU(3) gauge transformations and QCD interaction. Chirality approximate symmetry. Masses of quarks and hadrons. Experimental tests of QCD. Cross section e⁺e⁻ → hadrons. Deeply inelastic diffusion of leptons on nucleons. Drell-Yan processes and W/Z production. High-p_T processes of pp and p̄p̄.

The CKM matrix and CP violation

CKM matrix. Determination of the elements of the CKM matrix. Wolfenstein parameterization. Unitarity triangle. Flavour oscillations and CP violation: Flavour mixing, CP violation in mixing and decay, temporal evolution and flavor oscillation, CP violation in the interference between a decay without mixing and with mixing. Direct CP violation in B system. T Violation.

The Tau lepton and Heavy Flavours

Weak decays of leptons. Leptonic and semileptonic modes of the tau lepton. Spectral functions in tau decays. Heavy quarks. Leptonic and semileptonic decays. Exclusive and inclusive decays.

Neutrino Physics

Sources of neutrinos and detection techniques. Dirac neutrinos and Majorana neutrinos. The double beta decay. Neutrino masses: chiral fields; particle-antiparticle conjugation; masses of Dirac and masses of Majorana; mass generation with the "seesaw" mechanism. Oscillations of neutrinos in vacuum: case of two flavors; case of three flavors. Implications of CP, T and CPT. Oscillations of neutrinos in matter. Experimental determination of the mass and mixing parameters; measurement of Δm_{21}^2 and θ_{12} ; measurement of Δm_{32}^2 and θ_{23} ; measurement of θ_{13} .

Elements of Physics beyond the standard model

Grand Unification. SU(5) example. Proton decay. Supersymmetry: introductory remarks, the hierarchy problem; the Minimal Supersymmetric Standard Model; R-parity; the $\tan\beta$ parameter; Production and decay of sparticles.

Esami propedeutici: Fisica delle Particelle Elementari

Propaedeutic exams: Elementary Particle Physics

Prerequisiti Relatività ristretta. Elementi di meccanica quantistica relativistica. Rappresentazione di ampiezze di diffusione mediante diagrammi di Feynman. Elementi di Fisica del Modello Standard e le sue basi sperimentali come trattate nell'insegnamento di Fisica delle Particelle elementari.

Prerequisites: Special Relativity. Elements of Relativistic Quantum Mechanics. Cross section amplitudes with Feynman diagrams. Elements of Standard Model Physics and its experimental foundations at the level of the Elementary Particle Physics course.

Finalità e modalità di verifica dell'apprendimento

Esame orale, consistente nella discussione di una misura sperimentale concordata con tra docente e studente e nella presentazione orale di argomenti svolti durante le lezioni frontali del corso.

Il corso può essere erogato in lingua inglese in presenza di studenti stranieri (es. Erasmus) / The course can be given in English in presence of foreign students (e.g. Erasmus)