

# FISICA (LM38)

(Università degli Studi)

## Insegnamento FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

GenCod A004123

**Docente titolare** GIOVANNI FRANCESCO TASSIELLI

**Insegnamento** FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

**Insegnamento in inglese** PHENOMENOLOGY OF ELEMENTARY

**Settore disciplinare** FIS/04

**Corso di studi di riferimento** FISICA

**Tipo corso di studi** Laurea Magistrale

**Crediti** 7.0

**Ripartizione oraria** Ore Attività frontale: 49.0

**Per immatricolati nel** 2020/2021

**Erogato nel** 2020/2021

**Anno di corso** 1

**Lingua** ITALIANO

**Percorso** ASTROFISICA E FISICA TEORICA

**Sede**

**Periodo** Primo Semestre

**Tipo esame** Orale

**Valutazione** Voto Finale

**Orario dell'insegnamento**

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

### BREVE DESCRIZIONE DEL CORSO

Introduzione alla teoria standard delle interazioni fondamentali con applicazioni alle reazioni di interesse nella fisica delle alte energie. Descrizione delle principali misure che hanno portato alla definizione del modello standard delle particelle elementari.

### PREREQUISITI

Conoscenza della meccanica quantistica e concetto di particella elementare. E' consigliato aver frequentato il corso di Istituzioni di Fisica Nucleare e Subnucleare.

### OBIETTIVI FORMATIVI

padroneggiare le tecniche di calcolo necessarie per misurare i prodotti e le caratteristiche della interazioni tra particelle elementari; comprensione della fisica delle particelle elementari e del Modello Standard e sue principali verifiche sperimentali.

### METODI DIDATTICI

Il corso si sviluppa in lezioni cattedratiche, con eventuale ausilio di immagini. Domande e interventi da parte degli studenti sono ben accetti ed anzi stimolati.

### MODALITA' D'ESAME

L'esame finale consiste in un colloquio che verterà sulla conoscenza degli argomenti trattati nel corso e nell'impostazione di alcuni esercizi.

### APPELLI D'ESAME

Gli appelli d'esame sono pubblicati sul calendario ufficiale

Sintetico:

- Richiami di nozioni fondamentali: trasformazioni di Lorentz, quadrivettori e invarianti relativistici, energia nel centro di massa; unità naturali; collisioni e sezione d'urto.

- Il modello standard:

Cenni sulla quantizzazione del campo e diagrammi di Feynman;

Struttura grupppale del modello;

Invarianza e principi di conservazione;

Interazioni adroniche;

Interazioni deboli: il decadimento Beta, la teoria V-A, decadimenti delle particelle strane, interazioni di corrente neutra, il meccanismo GIM e la matrice CKM;

Rottura spontanea di simmetria e il meccanismo di produzione delle masse: i bosoni di Goldstone e il meccanismo di Higgs;

Verifiche fondamentali: violazione di CP nel sistema dei K neutri, produzione e scoperta dei bosoni W e Z, le oscillazioni di neutrini, la scoperta del quark top al Tevator, la scoperta del bosone di Higgs a LHC.

- Cenni sulla fisica oltre il modello standard.

Dettagliato:

Introduzione; Dualismo onda particella, lunghezza di De Broglie; Alcuni passi importanti per lo sviluppo della fisica delle particelle (1932 scoperta del positrone; 1936 osservazione di Anderson e Neddermeyer (il muone); 1945 esperimento di Conversi, Pancini e Piccioni la scoperta del muone; 1947 Lattes, Cecil, Powell e Occhialini la scoperta del pione; 1947 Rochester e Butler osservazione del K; 1952 Osservazione della formazione di coppie  $e+e-$  da raggi cosmici; 1956 osservazione degli antiprotoni; 1956 dimostrata l'esistenza del neutrino elettronico); Cenni sul Modello Standard delle particelle elementari; Grandezze nella fisica delle alte energie (HE); Richiami sulla relatività ristretta (Quadrivettori; Trasformazioni di Lorentz; Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz; Cono di luce e simultaneità di due eventi; Composizione delle velocità; Algebra tensoriale; Il quadrivettore energia-impulso; Sistemi di riferimento del laboratorio e del Centro di Massa; Energia del Centro di Massa; Momento trasverso e trasformazione degli angoli); Decadimento a due corpi; Scattering elastico; Cutt-off GZK (processo di fotoproduzione); Variabili di Mandelstam; Sezione d'urto (Luminosità; Lunghezza di interazione; Sezione d'urto parziali; Sezioni d'urto differenziali); Rate di interazioni e la regola d'oro di Fermi (Determinazione della Regola d'oro di Fermi; Formulazione invariante relativistico della Regola d'oro di Fermi); Rate, Ampiezza e Branching Ratio di decadimento (Calcolo dell'ampiezza del decadimento a due corpi; Flusso invariante relativistico); Calcolo della sezione d'urto nel C.M. del processo di scattering (es.: scattering  $e- - p$ ); Decadimenti e risonanze (Ampiezza di risonanza (formula di BREIT-WIGNER); Esempi notevoli: la  $++$ ; la  $Z^0$  e la misura del numero di famiglie di neutrini; Lo stato eccitato del  $^{12}C$ ); Richiami di Q.E.D. (Eq. di Klein-Gordon; Eq. di Dirac; Soluzioni ad energia negativa, Mare di Dirac e interpretazione di Feynman; Elicità e Chiralità; Interazione particella libera campo E.M.; Interazione tra fermioni e campo E.M.); Calcolo dello scattering di una particella senza spin su un campo E.M.; Calcolo dello scattering E.M. tra due particella senza spin (Identificazione dei concetti di: vertice di interazione e corrente nel vertice; propagatore); Particelle virtuali; Calcolo della sezione d'urto di un processo di scattering nel C.M.; Calcolo dello scattering (e.m.) elastico tra due particelle con spin ( $e-\mu$ ; Scattering Rutherford  $e-p$ ; Scattering Mott  $e-p$ ); I diagrammi e le regole di Feynman (DF) (es.: scattering  $e-\mu$ ;  $e+e- \rightarrow \mu+\mu-$ ;  $e+e- \rightarrow f\text{ anti-}f$ ; scattering  $e- q$ ); Il Modello standard (SM) (conservazione del sapore leptonic; Numeri quantici di sapore per i quark; es. di processi: decadimento del muone, del pione, decadimento beta, decadimento iperone  $\lambda$ , interazioni Kaoni-protoni); Invarianza e conservazione (Conservazione del momento nel caso classico; Teorema di Noether in m.q.; Trasformazioni continue; Trasformazioni discrete); Introduzione agli operatori (Parità (P); Coniugazione di carica (C); CP introduzione sulla sua violazione; Operatore di inversione temporale (T)); Definizioni tipologia di grandezza/particelle (Scalare; Pseudo-scalari; Vettori; Vettori assiali); La

Parità intrinseca (La parità del fotone; Parità di un sistema di particelle; La parità del pione carico; La parità del pione neutro; La parità delle particelle strane); L'applicazione dell'operatore C (Il decadimento del pione neutro); L'applicazione dell'operatore CP; Teorema di Luders: conservazione di CPT; Sommario sugli operatori C, P, T; L'isospin; Lo scattering pione – nucleone; L'esperimento di madame WU;

Adroni; Particelle strane; Classificazione degli adroni; Il decupletto barionico; Numero quantico di colore (misura del numero di cariche di colore); L'ottetto barionico; I mesoni pseudoscalari; I mesoni vettori; Il quark charm (c); I livelli dei quarkoni; La upsilon e il bottom quark (b); Il quark top (t); Verifiche sperimentali del modello a quark; Decadimento a due leptoni (Dileptoni) - modello di Drell-Yan; Sezione d'urto adrone-adrone ad alta energia; Momento magnetico dei barioni; Misura della parità del gluone;

Cenni di QCD; Cenni di teoria delle stringhe; sezione d'urto adronica (interazioni  $q\bar{q}$ ); Getti in collisioni adrone-adrone; Processi Drell-Yan; Riassuntazione;

Interazione debole; Il decadimento  $\beta$ ; La teoria di Fermi nel decadimento  $\beta$ ; Il decadimento del neutrone; Universalità delle interazioni deboli; Il triangolo di pappi; La scoperta del neutrino; Le transizioni nel decadimento  $\beta$ ; La teoria V-A; Le correnti deboli cariche; Scoperta di W e Z; Sezione d'urto inverso; Il numero delle famiglie di leptoni; Introduzione dell'angolo di Cabibbo; Universalità delle interazioni deboli, l'angolo di Cabibbo; Il meccanismo GIM; La matrice CKM; Proprietà dei mesoni K;  $K^0$  e  $\bar{K}^0$  mixing; Rigenerazione dei K; Violazione di CP indiretta nei K (Decadimento in  $2\pi$ ); Violazione di CP nei decadimenti semileptonici dei  $K^0$ ,  $\bar{K}^0$ ; Violazione di CP diretta, nei K; Violazione di CP nei mesoni B e D; L'oscillazione di neutrini (esempio: l'oscillazione di neutrini tra due stati di flavour); la massa del neutrino: neutrini di Dirac e di Majorana; Cenni su neutrini di Majorana e il meccanismo di seesaw; Neutrini di majorana e il doppio decadimento  $\beta\beta$  senza neutrini; Violazione di flavour dei leptoni carichi (esempio con i muoni);

Introduzione alla teoria elettrodebole, al meccanismo di rottura spontanea di simmetria e al bosone di higgs; Il meccanismo di rottura spontanea di simmetria; Il meccanismo di Higgs: simmetrie di gauge e la massa dei bosoni di gauge; Cenni sulla teoria di unificazione E-W; La generazione delle masse dei bosoni per l'interazione E-W; Cenni sull'accoppiamento E-W con leptoni e quark; Aspetti sperimentali e la scoperta del bosone di Higgs

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

- D. H. PERKINS: INTRODUCTION TO HIGH ENERGY PHYSICS
- M. THOMSON: MODERN PARTICLE PHYSICS
- A. DE ANGELIS, M. PIMENTA: INTRODUCTION TO PARTICLE AND ASTROPARTICLE PHYSICS
- S. BRAIBANT, G. GIACOMELLI, M. SPURIO: PARTICLES AND FUNDAMENTAL INTERACTIONS
- A. BETTINI: introduction to ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS