

## SYLLABUS DEL CORSO

### Teoria e Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali

2122-1-F1701Q128

---

#### Obiettivi

Fornire le conoscenze del Modello Standard, nei suoi settori elettrodebole e forte, le basi per calcoli di sezioni d'urto e larghezze di decadimento, approfondire la fenomenologia delle particelle fondamentali.

#### Contenuti sintetici

Introduzione al Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti: il modello  $SU(2) \times U(1) \times SU(3)$ . La rottura spontanea di simmetria, il bosone di Higgs e la fenomenologia delle interazioni forti ed elettrodeboli

#### Programma esteso

- Introduzione matematica**
  - Le funzioni  $\Gamma$  e  $\zeta$ . Volume angolare in  $d$  dimensioni
  - Parametrizzazione di Feynman e integrali ad un loop in regolarizzazione dimensionale
  - Riduzione tensoriale di Passarino-Veltman
- Richiami cinematici**
  - Spazio delle fasi
  - Sezioni d'urto
  - Larghezze di decadimento
- Costruzione della Lagrangiana del Modello Standard**
  - Richiami dell'algebra di  $SU(N)$ . Considerazioni su  $SU(2)$  e  $SU(3)$
  - Teorie di gauge abeliane
  - Teorie di gauge non abeliane
  - Il settore elettrodebole del Modello Standard**

- Rottura spontanea della simmetria, potenziale di Higgs, masse dei vettori bosoni  $W^{\pm}$  e  $Z$
  - Masse dei fermioni: potenziale il Yukawa, matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM), violazione di CP
  - Masse dei leptoni, matrice di Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS), fermioni di Dirac e di Majorana
  - Vertici del settore elettrodebole del Modello Standard
  - **Cromodinamica quantistica (QCD)**
    - L'algebra di colore
    - Derivazione dei vertici di QCD dalla Lagrangiana
    - Derivazione dei vertici di QCD dall'imposizione dell'invarianza di gauge: studio di  $q \bar{q} \rightarrow \gamma \gamma$  e  $q \bar{q} \rightarrow gg$
    - Somma sulle polarizzazioni
4. **Calcolo di sezioni d'urto e larghezze di decadimento. Confronto con i valori sperimentali**
    - Larghezza di decadimento dei bosoni  $Z, W^{\pm}, H$
    - $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ . Problema del polo nella massa del bosone  $Z$
    - $e^- \nu_{\mu} \rightarrow \mu^- \nu_e$  nella teoria di Fermi a 4 fermioni e nel Modello Standard
  5. **Il teorema ottico**
    - Relazione tra larghezza di decadimento e parte immaginaria delle correzioni di self energia
    - Vincoli di unitarietà (unitarity bounds)
  6. **Deep-Inelastic Scattering (DIS)**
    - Introduzione al modello a partoni ("naive" parton model)
    - La necessità del colore:  $\Delta^{++}$  ed  $e^+e^-$  in adroni
  7. **Richiami di rinormalizzazione**
    - La rinormalizzazione dell'accoppiamento elettromagnetico e forte
    - La scala di rinormalizzazione e la  $\beta$ -function in QED e QCD
    - La libertà asintotica in QCD
    - Le equazioni del gruppo di rinormalizzazione
  8. **Annichilazione elettrone-positrone in adroni al Next-to-Leading Order (NLO)**
    - Calcolo dei contributi virtuali in regolarizzazione dimensionale
    - Calcolo dei contributi reali
    - Spazio delle fasi
    - Sezione d'urto totale e cancellazione delle divergenze
  9. **Singularità soffici e collineari di stato finale**
    - Approssimazione iconale
    - Quantità infrared-safe, le variabili di forma (shape variables)
    - Jet di Stermann-Weinberg
    - I metodi di sottrazione
  10. **Singularità soffici e collineari di stato iniziale**
    - Sezioni d'urto adroniche e le funzioni di distribuzione partoniche
    - Le funzioni di splitting di Altarelli-Parisi
    - La scala di fattorizzazione
    - Le equazioni di evoluzione di Dokshitzer-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parisi (DGLAP)

## Prerequisiti

Conoscenze base della teoria quantistica dei campi

## Modalità didattica

Lezioni frontali.

## Materiale didattico

- Appunti e note fornite dal docente alla pagina web: <https://virgilio.mib.infn.it/~oleari>
- Ulteriori letture:
  1. *An introduction to Quantum Field Theory*, M. Peskin, D.V. Schroeder
  2. *The Quantum Theory of Fields*, S. Weinberg
  3. *Foundations of Quantum Chromodynamics*, T. Muta
  4. *Handbook of perturbative QCD*, G. Sterman  
<http://www.physics.smu.edu/scalise/cteq/#Handbook>
  5. *QCD and Collider Physics*, K. Ellis, J. Stirling, B. Webber
  6. *Applications of Perturbative QCD*, R. D. Field
- Lezioni sul Modello Standard e QCD tenute da diversi autori al CERN (Academic Training lectures), alla CTEQ school, TASI

## Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre.

## Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in due prove scritte. La valutazione è espressa con un voto in trentesimi.

- **Prima prova scritta**

La prima prova scritta consiste nella risoluzione di problemi inerenti agli argomenti del corso. Si valuta in tal modo la reale comprensione degli argomenti trattati e la capacità di applicare le conoscenze apprese. Si invitano caldamente gli studenti ad affrontare le [prove scritte recenti](#), e anche [quelle più datate](#), prima di presentarsi all'esame. Il docente è sempre disponibile ad eventuali chiarimenti e suggerimenti per la loro risoluzione.
- **Seconda prova scritta**

Durante la seconda prova scritta si valutano le capacità espositive e le conoscenze degli argomenti trattati nel corso con domande di carattere generale.

Nel corso dell'anno sono previsti almeno cinque appelli d'esame, tipicamente nei seguenti periodi: gennaio, febbraio, giugno, luglio, settembre, ottobre. Ulteriori appelli possono essere concordati contattandomi direttamente.

## Orario di ricevimento

Previo appuntamento col docente.

