

COURSE SYLLABUS

Theory and Phenomenology of Fundamental Interactions

2021-1-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 ζ e η . 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: Δ^{++} ed e^+e^- in adroni
- 7. **Richiami di rinormalizzazione**
 - La rinormalizzazione dell'accoppiamento elettromagnetico e forte
 - La scala di rinormalizzazione e la β -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:

carlo.oleari@mib.infn.it
