UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Effective Field Theories and Non-Perturbative Methods for Particle Physics

2627-1-F1703Q067

Obiettivi

L'obiettivo di questo corso è introdurre gli studenti alla metodologia moderna delle Teorie di Campo Effettive (EFT) quantistiche e a selezionati metodi non perturbativi in fisica delle particelle. Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di costruire e applicare le EFT, e ne comprenderanno il ruolo ubiquo nella fisica teorica contemporanea attraverso esempi concreti nel Modello Standard e oltre.

Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:

1. **(Conoscenza e comprensione)**
   Comprendere i concetti fondamentali delle EFT nel formalismo della teoria quantistica dei campi, inclusi il power counting, il matching e l'evoluzione del gruppo di rinormalizzazione.

2. **(Capacità di applicare conoscenza e comprensione)**
   Applicare le tecniche EFT a problemi concreti di fisica teorica delle particelle, inclusi il settore elettrodebole, la fisica del flavor e la QCD a bassa energia, e apprezzare come metodi non perturbativi quali la QCD su reticolo complementino i calcoli perturbativi delle EFT.

3. **(Autonomia di giudizio)**
   Valutare criticamente la validità e i limiti di una data descrizione EFT, verificare la consistenza di modelli teorici rispetto ai vincoli sperimentali, e riconoscere quando è necessario un contributo non perturbativo.

4. **(Abilità comunicative)**
   Comunicare con chiarezza i concetti e le implicazioni delle EFT e dei metodi non perturbativi mediante un linguaggio tecnico appropriato, tanto in contesti di ricerca specialistica quanto in contesti scientifici più ampi.

5. **(Capacità di apprendimento)**
   Proseguire in modo autonomo lo studio avanzato delle EFT e delle loro applicazioni, utilizzando la letteratura scientifica specializzata e mantenendosi aggiornato con gli sviluppi teorici e sperimentali.

Contenuti sintetici

Le Teorie di Campo Effettive (EFT) quantistiche sono un pilastro della fisica teorica moderna, e forniscono un quadro sistematico per descrivere i fenomeni fisici a scale di energia ampiamente separate.
Il corso introduce i fondamenti concettuali delle EFT — power counting, matching ed evoluzione del gruppo di rinormalizzazione — e ne illustra le potenzialità attraverso una serie di esempi concreti che spaziano tra diversi settori del Modello Standard della fisica delle particelle.
Questi includono il Modello Standard stesso visto come una EFT, l'Hamiltoniano efficace debole e le sue applicazioni alla fisica del flavor, la Teoria delle Perturbazioni Chirale come EFT a bassa energia della QCD, e la Heavy Quark Effective Theory per i sistemi contenenti quark pesanti. Il corso si conclude con un'introduzione alla QCD su reticolo come approccio non perturbativo ai sistemi a interazione forte, dove la teoria efficace di Symanzik fornisce il quadro EFT per comprendere e migliorare sistematicamente gli effetti di discretizzazione del reticolo.

Programma esteso

Il programma del corso coprirà i seguenti argomenti:

- **Introduzione e filosofia delle EFT** — scale, gradi di libertà, teorema del decoupling, gruppo di rinormalizzazione wilsoniano, rinormalizzazione non perturbativa, matching e running, esempi di riscaldamento;
- **Il Modello Standard come EFT** — la teoria di Fermi come esempio paradigmatico; formalismo SMEFT, operatore di Weinberg di dimensione 5, meccanismo di seesaw e generazione della massa dei neutrini, operatori di dimensione 6, vincoli elettrodeboli di precisione;
- **Hamiltoniano efficace debole ed EFT del flavor** — base di operatori per i decadimenti deboli, matching alla scala W/Z ed evoluzione RG, applicazioni ai decadimenti di K e B, mixing dei mesoni;
- **Teoria delle Perturbazioni Chirale** — rottura della simmetria chirale in QCD, teorema di Goldstone, Lagrangiana chirale, loop e rinormalizzazione, LECs, fisica dei pioni e dei kaoni;
- **Heavy Quark Effective Theory** — limite del quark pesante, simmetria spin-flavor, espansione in 1/m, applicazioni ai decadimenti dei mesoni B e D;
- **Metodi non perturbativi e QCD su reticolo** — discretizzazione dell'integrale di percorso, raddoppiamento dei fermioni, teoria efficace di Symanzik e miglioramento del reticolo, rinormalizzazione non perturbativa su reticolo, elementi di matrice adronici su reticolo.

Prerequisiti

Conoscenza degli argomenti trattati nei corsi di:

- Fisica Teorica I
- Fisica Teorica II

- Metodi Matematici per la Fisica

Modalità didattica

Lezioni frontali alla lavagna

Materiale didattico

- Matthew D. Schwartz, Quantum Field Theory and The Standard Model;
- Steven Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Volume 1: Foundations and Volume 2: Modern Applications;
- Antonio Pich, Effective Field Theory, arXiv:9806303;
- Riccardo Barbieri, Lectures on the Electroweak Interactions, arXiv:0706.0684v1;
- Ulteriori note di lezione saranno rese disponibili durante il corso.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre, primo anno

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in una prova orale in presenza.
La valutazione finale terrà conto della comprensione degli argomenti trattati, della capacità di costruire argomentazioni teoriche e della risoluzione di problemi specifici.

Orario di ricevimento

Su appuntamento, scrivendo un'email (marco.ce@unimib.it) al docente del corso.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ