

Il curriculum magistrale in Fisica Teorica

Scopo principale: è quello di fornire basi solide e complete per una piena comprensione e capacità di sviluppo ulteriore riguardo a:

- studio e modellizzazione delle interazioni fondamentali
- meccanica statistica, fenomeni critici
- studio della materia e delle interazioni nucleari
- evoluzione dell'Universo

e delle varie e strette interconnessioni fra questi diversi ambiti

Il lavoro di Tesi permetterà poi di specializzarsi sugli sviluppi più recenti di proprio interesse.

Il quadro teorico di base: la teoria quantistica dei campi

un mezzo continuo viene scomposto nei suoi modi normali di oscillazione, che vengono trattati come oscillatori armonici quantistici

E' uno strumento che nasce in modo naturale per descrivere diversi fenomeni a livello di teorie fondamentali o di sistemi di materia condensata

(ad esempio: teoria di Debye per il calore specifico nei solidi e teoria del corpo nero)

- E' lo strumento che ci permette di descrivere le interazioni fondamentali in termini di teorie di campo relativistiche basate su un principio di invarianza di gauge.

E' il linguaggio comune che ha permesso di descrivere in modo simile diversi fenomeni in ambiti diversi: rotture spontanee di simmetria, fenomeni critici, ...

(ad esempio: transizione di fase ferromagnetica e transizione di fase cosmologia delle interazioni forti, superconduttività e fenomeno di Higgs, ...)

I due corsi principali, Fisica Teorica 1 e Fisica Teorica 2, si occupano di porre le basi di questo linguaggio comune

Fisica Teorica 1

- **richiami di meccanica quantistica e teoria dello scattering**
- **equazioni classiche e seconda quantizzazione per i campi relativistici di spin 0, 1/2 ed 1 (scalari, fermionici, vettoriali)**
- **il ruolo delle simmetrie discrete e continue dello spazio-tempo**
- **l'elettrodinamica quantistica come prototipo di teoria di campo interagente: sviluppo perturbativo, diagrammi di Feynman, analisi di vari processi rilevanti dell'elettrodinamica quantistica**

Fisica Teorica 2

- **teorie quantistiche di campo nel formalismo del path-integral**
- **le teorie di campo interagenti ed il modello standard delle particelle elementari (interazioni elettrodeboli, interazioni forti, estensione del concetto di simmetria di gauge al caso non-abeliano)**
- **le divergenze nello sviluppo perturbativo delle teorie di campo: la rinormalizzazione, il ruolo della simmetria di gauge.**
- **il gruppo di rinormalizzazione, concetto di “running coupling”.**
- **il gruppo di rinormalizzazione (Kadanoff-Wilson) in meccanica statistica ed il comportamento critico**

Il curriculum prevede poi una possibile differenziazione, con approfondimenti riguardanti la teoria delle interazioni fondamentali, la meccanica statistica o la fisica nucleare. Almeno due corsi a scelta fra:

- Fisica Statistica**
- Relatività Generale**
- Cromodinamica Quantistica**
- Fisica Nucleare**

più una possibile scelta fra vari altri corsi del curriculum teorico elencati di seguito

Fisica Statistica

- **Richiamo alle statistiche classiche e a quelle quantistiche, distribuzione di Fermi, condensazione di Bose-Einstein.**
- **Transizioni di fase, teorema di Lee-Yang, classificazione.**
- **Teoria della superconduttività, teoria BCS, teoria di Landau-Ginzburg**
- **Teoria della superfluidità**

Relatività Generale

- Dalla relatività ristretta al principio di equivalenza e alle equazioni di Einstein
- Soluzioni a simmetria sferica, buchi neri, modelli cosmologici
- Soluzioni nel limite di piccolo campo, perturbazioni, onde gravitazionali, onde da sistemi binari
- Parte sperimentale: esperimenti vari sul principio di equivalenza e di verifica relatività generale. Emissione e rivelazione di onde gravitazionali

Cromodinamica Quantistica

Viene approfondita la conoscenza di un particolare settore del modello standard, la teoria dei quark e gluoni, che rappresenta allo stesso tempo il perfetto esempio di teoria autoconsistente ed un “laboratorio teorico” di notevole interesse:

- proprietà non-perturbative**
- introduzione di sviluppi in serie alternativi, come $1/N_c$ (numero di colori)**
- fenomeni di rottura spontanea ed uso di lagrangiane effettive**
- necessità di approcci numerici (teorie di campo su reticolo)**
- effetti non-lineari: ruolo delle soluzioni semiclassiche (istantoni, ...)**
- prototipo per molte teorie proposte come estensione del modello standard**

Fisica Nucleare

La fisica nucleare è un ponte fra la scala tipica delle interazioni fondamentali e quella di fenomeni di estremo interesse, inclusi quelli cosmologici ed astrofisici.

- Proprietà generali dei nuclei atomici e dell'interazione nucleare.
- Decadimenti nucleari e radioattività.
- Passaggio della radiazione nella materia.
- Modelli del nucleo atomico. Reazioni nucleari.
- Fusione nucleare e nucleosintesi stellare.
- Fissione Nucleare e cenni ai reattori a fissione nucleare.

Teoria della gravitazione

- **Richiami di relatività generale**
- **analisi della formulazione quantistica della gravità**
- **il problema della rinormalizzabilità**

Transizioni di Fase e Fenomeni Critici

- **Transizione di fase e fenomeni critici**
- **comportamento critico e concetto di universalità**
- **Gruppo di rinormalizzazione**

Teoria delle reazioni nucleari

- Teoria dello scattering in meccanica quantistica
- Reazioni nucleari
- Nuclei esotici

Reazioni nucleari di interesse astrofisico

- nucleosintesi cosmologica
- reazioni nucleari rilevanti al funzionamento delle stelle
- nucleosintesi stellare
- applicazioni sperimentali

Cosmologia del primo universo

- **Modelli cosmologici**
- **Storia termica del primo universo: neutrini, dark matter ...**
- **La radiazione cosmica di fondo e le sue fluttuazioni**
- **Transizioni di fase e produzione di difetti topologici**
- **Inflazione**
- **Fluttuazioni in RG e loro evoluzione durante/dopo l'inflazione**
- **Fondi stocastici di onde gravitazionali di origine cosmologica**

Metodi Numerici della Fisica Teorica

- Introduzione ai metodi Monte-Carlo
- Applicazioni allo studio numerico dei sistemi statistici e del loro comportamento critico
- Applicazioni allo studio numerico del path-integral per teorie quantistiche e teorie quantistiche di campo

Altri corsi non attivi il prossimo anno

- Modello standard
- Teoria della rinormalizzazione