

# 1 Teoria dei Campi I: programma dettagliato

Presentazione del corso. Teorie di campo quantistiche come strumento per la descrizione delle forze fondamentali della natura. Accenni al modello standard delle particelle elementari.

Relatività ristretta e gruppo di Lorentz. Formalismo tensoriale. Accenni alla teoria dei gruppi di Lie.

Rappresentazioni dei gruppi: tensori con indici in alto ed in basso. Indici puntati. Algebra di Lie di  $SO(3)$  ed  $SO(1,3)$ .

Alcune rappresentazioni semplici ottenute dal prodotto diretto con il metodo tensoriale per  $SO(N)$  ed  $SU(N)$ .

Rappresentazioni irriducibili per  $U(1)$ ,  $SO(3)$ ,  $SO(1,3)$ . Realizzazione dell'algebra di Lie con operatori differenziali.

Descrizione esplicita di  $SO(3)$ : definizione, trasformazioni infinitesime, algebra di Lie nella rappresentazione matriciale fondamentale e realizzazione con operatori differenziali, rappresentazioni irriducibili unitarie ottenute con il metodo algebrico, esplicitazione dei casi  $j = 0, 1/2, 1$ . Rappresentazione spinoriale e matrici di Pauli. Trasformazione di similitudine per  $j = 1$  ed equivalenza con la rappresentazione vettoriale.

Rappresentazioni irriducibili finito dimensionali (non unitarie) per il gruppo di Lorentz ed accenni alle rappresentazioni unitarie del gruppo di Poincaré.

Introduzione agli integrali funzionali per la meccanica quantistica. Meccanica classica: formulazione lagrangiana e formulazione hamiltoniana. Derivazione del path integral nello spazio delle fasi per la meccanica quantistica.

Integrale funzionale nello spazio delle configurazioni. Particella libera e soluzione fondamentale dell'equazione di Schroedinger. Rotazione di Wick ed equazione del calore. Integrale funzionale in tempo euclideo.

Integrale funzionale per l'oscillatore armonico: funzionale generatore, funzioni di correlazione a due punti (propagatore di Feynman). Rotazione di Wick.

Funzione di partizione ed integrale funzionale per la meccanica statistica. Teoria libera in notazione ipercondensata. Teoria perturbativa per l'oscillatore anarmonico: correzioni alla energia dello stato di vuoto.

Azioni classiche per meccaniche classiche e teorie di campo. Simmetrie rigide e teorema di Noether. Particella non relativistica, simmetrie del gruppo di Poincaré e corrispondenti cariche conservate.

Particella non relativistica. Corrente conservata per la simmetria  $U(1)$  del campo di Klein-Gordon complesso.

Simmetrie locali: azioni per particella scalare relativistica. Campo scalare di Klein-Gordon, soluzioni ed azione classica.

Azione per campo di Klein-Gordon complesso: simmetrie (gruppo di Poincaré e simmetria  $U(1)$ ), tensore energia-impulso. Soluzioni semplici: onde piane, potenziale di Yukawa. Quantizzazione con l'integrale funzionale: propagatore, prescrizione di Feynman, particelle ed antiparticelle.

Equazione d'onda per particelle di spin  $1/2$ : l'equazione di Dirac. Matrici gamma. Azione e simmetrie rigide (Poincaré ed  $U(1)$ ). Soluzioni d'onda piana. Particelle ed antiparticelle.

Equazione di Dirac: alcune proprietà delle matrici gamma, propagatore, chiralità e matrice  $\gamma^5$ . Invarianza di Lorentz dell'azione di Dirac.

Particelle di spin 1: azione di Proca ed azione di Maxwell. Simmetria di gauge delle equazioni di Maxwell.

Interazioni tra campi di spin 0 ed 1/2: analisi dimensionale e costanti d'accoppiamento. Teorie super-rinormalizzabili, rinormalizzabili e non-rinormalizzabili. Modello di Yukawa delle interazioni nucleari e modello di Fermi delle interazioni deboli. Interazioni tra campi di spin 1 e campi di spin 0 ed 1/2: l'azione della elettrodinamica (QED).

Interazioni tra campi di spin 1 e campi di spin 0 ed 1/2 con gruppi di gauge non abeliani: l'azione della cromodinamica (QCD).

Ulteriori generalità sulla azione della QCD e del modello standard delle particelle elementari. Campi di spin 0,1 e 2 come propagatori di forze: potenziali coulombiani attrattivi e repulsivi.