



Particle physics and quantum field theory approaches to dark matter

Tesi di Dottorato

Aniello Quaranta

ABSTRACT (ENGLISH)

This thesis collects the results obtained during my doctorate course. The main topic is the nature of dark matter, investigated from the point of view of particle physics and quantum field theory. The research involves various aspects of the physics beyond the standard model, including the quantum field theory of particle mixing, neutrino physics, gravitational interactions and axionlike particles. The thesis is organized in three parts. In the first part we develop the quantum field theory of neutrino mixing in curved space, deriving new general oscillation formulae and analyzing the rich condensate structure of the flavor vacuum. We show that in cosmological metrics the flavor vacuum behaves as a pressure-less perfect fluid akin to dark matter. The second part is devoted to axions and axionlike particles, which to date represent the most promising dark matter candidates. We devise two novel detection strategies, making use of quantum entanglement and neutron interferometry. The third part deals with the phenomenology of flavor mixing and neutrino interactions. We show how the dark-matter-like properties of the flavor vacuum may in principle be revealed in ensembles of cold Rydberg atoms. We discuss the possibility to simulate the gravitational interactions of neutrinos with trapped ions. Finally we introduce a new quantum mechanical approach to study the dissipative effects of neutrino propagation in matter.



Particle physics and quantum field theory approaches to dark matter

Tesi di Dottorato

Aniello Quaranta

ABSTRACT (ITALIANO)

Questa tesi raccoglie i risultati ottenuti durante il mio corso di dottorato. L'argomento principale è la natura della materia oscura, indagata dal punto di vista della fisica delle particelle e della teoria quantistica dei campi. La ricerca coinvolge diversi aspetti della fisica oltre il modello standard, inclusi la teoria dei campi del mixing di particelle, la fisica del neutrino, interazioni gravitazionali e particelle axionlike. La tesi è organizzata in tre parti. Nella prima parte sviluppiamo la teoria quantistica dei campi del mixing dei neutrini in spaziotempo curvo, derivando nuove generali formule di oscillazioni e analizzando la ricca struttura di condensato del vuoto di sapore. Mostriamo che in metriche cosmologiche il vuoto di sapore si comporta come un fluido perfetto senza pressione simile alla materia oscura. La seconda parte è dedicata ad assioni e particelle axionlike, che rappresentano ad oggi i candidati più promettenti per la materia oscura. Sviluppiamo due nuove strategie di rilevazione, facendo uso dell'entanglement e dell'interferometria neutronica. La terza parte si occupa della fenomenologia del mixing di sapore e delle interazioni dei neutrini. Mostriamo come le proprietà affini alla materia oscura del vuoto di sapore possano essere in principio rilevate in ensemble di atomi di Rydberg freddi. Discutiamo della possibilità di simulare le interazioni gravitazionali dei neutrini tramite ioni intrappolati. Infine introduciamo un nuovo approccio in meccanica quantistica per studiare gli effetti dissipativi della propagazione dei neutrini nella materia.