

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité : Physique théorique

Par

Jacopo GHIGLIERI

Thermal Field Theory for Heavy-Ion Collisions and the Early Universe

Travaux présentés et soutenus à Nantes, le 28/06/2024
Unité de recherche : SUBATECH UMR6457

Rapporteurs avant soutenance :

Dietrich BÖDEKER	Professeur des universités, Université de Bielefeld (Allemagne)
François GELIS	Ingénieur-chercheur CEA, Institut de Physique Théorique, Saclay
Maria Paola LOMBARDO	Chercheuse, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Florence (Italie)

Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Dietrich BÖDEKER	Professeur des universités, Université de Bielefeld (Allemagne)
	Barbara ERAZMUS	Directrice de recherche CNRS, SUBATECH
	François GELIS	Ingénieur-chercheur CEA, IPhT Saclay
	Thierry GOUSSET	Professeur des universités, Nantes Université et SUBATECH
	Maria Paola LOMBARDO	Chercheuse, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Florence (Italie)

Titre : Théorie des champs thermiques pour les collisions d'ions lourds et l'univers jeune

Mots clés : théorie des champs thermiques, théorie des perturbations, plasma de quarks et gluons, univers jeune

Résumé : Je résume ma recherche sur deux axes : le plasma de quarks et de gluons formé lors de collisions d'ions lourds et la physique des particules à haute température qui caractérise l'univers jeune. J'illustre l'importance physique de ces systèmes ainsi que le paysage expérimental et observationnel, expliquant comment, dans de nombreux cas, des prédictions théoriques précises sont entravées par la complexité de la Théorie des Champs Thermiques, décrivant les champs quantiques à des températures non nulles. Je montre ensuite comment ma recherche s'est concentrée sur le développement et l'application de méthodes avancées en Théorie des Champs Thermiques et en Théories Efficaces à plusieurs observables dans le plasma de quarks et de gluons, allant des quarkonia aux sondes électromagnétiques, en passant par les jets, les coefficients de transport et la thermalisation.

Je discute ensuite de mes contributions à la cosmologie : l'étude approfondie de la dynamique d'hypothétiques neutrinos droitiers dans l'univers jeune, l'introduction et l'analyse précise des ondes gravitationnelles produites thermiquement dans l'époque de la radiation et l'étude détaillée des effets thermiques sur la production de matière noire par « freeze in ». Je conclus en montrant comment les méthodes de pointe ayant conduit à ces résultats peuvent être étendues et mises en œuvre dans des codes informatiques automatisés avec des applications très importantes en cosmologie, démontrant ainsi comment ma future recherche est planifiée.

Title: Thermal Field Theory for Heavy-Ion Collisions and the Early Universe

Keywords: thermal field theory, perturbation theory, quark-gluon plasma, early universe

Abstract: I summarize my research on two axes: the quark-gluon plasma that is formed in heavy-ion collisions and the high-temperature particle physics that characterized the early universe. I illustrate the physical importance of these systems and the experimental and observational landscape, explaining how in many cases precise theoretical predictions are hampered by the complexity of Thermal Field Theory, describing quantum fields at non-zero temperatures. I then show how my research has been centered on the development and application of advanced methods in Thermal Field Theory and Effective Field Theories to several observables in the quark-gluon plasma, ranging from heavy quarkonia to electromagnetic probes to jets, transport coefficients and thermalization.

I then discuss my contributions to cosmology: the in-depth study of the early-universe dynamics of hypothetical right-handed neutrinos, the introduction and precise analysis of thermally produced gravitational waves from the radiation epoch and the detailed study of thermal effects to freeze-in production of dark matter.

I conclude by showing how the state-of-the-art methods leading to these results can be further extended and implemented in automated computer codes with very important applications in cosmology, thereby showing how my future research is planned.