

THÈSE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialité : Physique Théorique

Par

Killian BOUZOU

Calculs automatisés de production thermique en cosmologie

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 21 Septembre 2026

Unité de recherche : SUBATECH UMR6457

Rapporteurs avant soutenance :

Dietrich BÖDEKER	Professeur, Université de Bielefeld
Julia HARZ	Professeure agrégée, Université Johannes-Gutenberg de Mayence

Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (8)(à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Dietrich BÖDEKER	Professeur, Université de Bielefeld
	Thierry GOUSSET	Professeur, SUBATECH Nantes
	Julia HARZ	Professeure agrégée, Université Johannes-Gutenberg de Mayence
	Farvah MAHMOUDI	Professeure, Université Claude Bernard Lyon 1
Dir. de thèse :	Jacopo GHIGLIERI	Chargé de recherche, SUBATECH Nantes

Invité

Mikko Laine	Professeur, Université de Berne
-------------	---------------------------------

Titre : Calculs automatisés de production thermique en cosmologie

Mots clés : Cosmologie, Théorie des champs thermiques, Axion, Automatisation

Résumé : Notre compréhension actuelle de l'Univers, basée sur les modèles standards de la physique des particules et de la cosmologie, peut reproduire un grand nombre de résultats expérimentaux. Certaines questions comme la nature de la matière noire ou l'asymétrie baryonique requièrent de la physique au-delà du Modèle Standard (BSM), la plupart des solutions invoquant l'existence de nouvelles particules dans l'Univers primordial. Étudier l'évolution de ces particules BSM à travers l'histoire de l'Univers nécessite des calculs avancés de théorie des champs thermiques (TFT), où la grandeur d'intérêt est le taux d'équilibration de la particule.

Dans cette thèse, nous nous concentrons sur le calcul du taux d'équilibration de particules, en nous servant du cas de l'axion (un candidat populaire pour la matière noire) comme d'un fil

conducteur. Pour décrire la physique précisément, nous avons besoin de décrire le milieu où la production a lieu. Dans une première partie, nous calculons le taux d'équilibration pour des impulsions dures (de l'ordre de la température), Nous définissons trois méthodes équivalentes au premier ordre pour décrire le milieu. La méthode de calcul peut être généralisée à un modèle arbitraire, grâce à quoi nous avons créé le code AutoTherm qui peut effectuer un tel calcul automatiquement. Dans une second partie, nous calculons le taux pour des impulsions douces, en nous concentrons sur l'axion car le calcul n'est plus indépendant du modèle. Ceci, plus des résultats de TFT sur réseau, nous a permis de mettre à jour des résultats importants pour la phénoménologie de l'axion.

Title : Automated calculations of thermal production in cosmology

Keywords : Cosmology, Thermal field theory, Axion, Automation

Abstract : Our current understanding of the Universe's history, based on the standard models of particle physics and cosmology, can successfully reproduce a wide variety of experimental results. Key issues like the nature of dark matter (DM) or the baryon asymmetry of the Universe (BAU) need new physics beyond the Standard Model (BSM), with most solutions invoking the existence of new particle degrees of freedom in the early Universe. Studying the dynamics of those BSM particles throughout cosmological history involves intricate Thermal Field Theory (TFT) computations, with the quantity of interest being the equilibration rate of the particle.

In this thesis, we focus on the computation of the equilibration rates of particles, using the case of the axion (a popular DM candidate) as a

common thread. To properly describe the physics, we also need to account for the presence of the medium where the production takes place. In a first part, we focus on computing the rate for hard momenta (of the order of the temperature). We define three leading-order equivalent schemes for describing the medium. The computation method can be generalized to an arbitrary model, which allowed us to create the AutoTherm code which performs such tasks automatically. In a second part, we compute the rate at soft momenta, focusing on the axion specifically as the computation is not model-independent anymore. This, along with lattice results from the literature, allows us to update results relevant for axion phenomenology.