

PROPOSITION DE THÈSE DE DOCTORAT

Période 2021-2024

ESTIMATION DES CONTRAINTES SUR LES MODÈLES COSMOLOGIQUES Λ CDM PAR LA RAIE 21 CM DE L'HYDROGÈNE PRIMORDIAL

Niveau :

THÈSE

(Connaissances en cosmologie et en calcul numérique, intérêt pour la théorie et l'observation)

Thématique :

Cosmologie, Raie cosmologique à 21 cm, Atomes et Molécules Primordiales

Descriptif :

Les contraintes sur les modèles cosmologiques d'Univers sont désormais fiables et nombreuses. Les mesures des caractéristiques du fond de rayonnement cosmologique, l'observation des supernovae lointaines, la mise en évidence des effets de lentillages des amas de galaxies ou la diffusion Compton des photons du fond dans le milieu intra-amas (effet Sunyaev-Zel'dovich) ont permis d'établir de fortes contraintes sur les modèles cosmologiques d'Univers au point de tirer une zone de convergence sur les valeurs des paramètres fondamentaux d'une théorie cosmologique.

La transition, à la longueur d'onde de 21 cm, dite de couplage de spin de l'hydrogène neutre primordial peut se révéler être un puissant outil d'analyse et de compréhension de la période des âges sombres. Cette transition émise après la transparence de l'Univers produit une raie actuelle (décalée par l'expansion omniprésente de l'Univers) dans la gamme des basses fréquences comprises entre 1.5 à 30 MHz. L'observation de cette raie « primordiale » nous fournirait de précieuses informations sur de nombreux questionnements cosmologiques relatifs à la connaissance des paramètres fondamentaux de l'Univers, la formation primordiale de l'hydrogène neutre, les conditions initiales de formation des premières molécules et des premières étoiles de l'Univers.

Le but de cette thèse théorique est de calculer l'émissivité de la raie 21 cm de l'hydrogène neutre primordial dans le contexte de l'expansion de l'Univers. La brillance théorique de cette raie durant la période de l'âge sombre reste peu connue et très peu contrainte. Par ailleurs durant cette période de l'Univers il a été montré qu'une formation atomique et moléculaire se met en place. Dans cette thèse nous envisageons de coupler les réactions collisionnelles de formation atomique et moléculaire avec les processus d'excitation produisant les émissions dites « 21 cm », le tout intégré à un Univers en expansion. Un code numérique cosmologique d'évolution dynamique et réactionnelle fut élaboré ces dernières années au LUPM à Montpellier. Il « reste » à y inclure le calcul de l'émissivité de la raie 21 cm produite dans le cadre d'un Univers en expansion.

Ces basses fréquences sont parfaitement observables par les techniques modernes de détection, mais requièrent une stratégie d'observation complexe. Il y a en effet quantité de sources de contamination qu'il est nécessaire d'éliminer. Les émissions radio humaines et naturelles sont nombreuses et beaucoup plus intenses que le signal cosmologique recherché : émissions artificielles et naturelles de la Terre et de son environnement radiatif, émissions du Soleil, des planètes géantes (Jupiter, Saturne) et de notre Galaxie (la Voie Lactée). Le contraste entre le signal recherché et le niveau de ces émissions parasites pouvant être inférieur à 1 partie par million. L'envoi d'un essaim de nanosatellites (porteurs d'antennes de réception dans la tranche de fréquences entre 1.5 et 30 MHz) en orbite lunaire permettrait de moduler de façon différenciée, dans le temps, dans l'espace et sur la sphère céleste, les différentes émissions parasites en utilisant l'occultation de la Terre par la Lune.

Cette thèse s'inscrit dans un vaste projet expérimental, le projet PHONE (*Primordial Hydrogen Observations with Nanosatellites Explorers*). La première phase expérimentale du projet vise à concevoir deux nanosatellites synchronisés par horloge atomique et, par l'envoi autour de la Terre de ces deux nanosatellites, afin de mesurer un signal aux fréquences d'émission de l'hydrogène primordial puis de transmettre ces mesures sur une base au sol. Le signal observé ne sera certes pas le signal cosmologique (du fait de la contamination terrestre) mais cette chaîne de mesure servira de validation pour le projet futur (et plus vaste) autour de la Lune. Ce pré-projet expérimental est donc l'étude de faisabilité d'envoi de deux satellites synchrones puis de tester la chaîne de transmission d'informations vers une station de réception au sol.

Durant cette thèse, de fréquentes interactions pourront se développer avec les équipes du Centre Spatial Universitaire de Montpellier, maître d'œuvre de la partie expérimentale du projet PHONE.

Bibliographie :

Physical cosmology from the 21-cm line

Furinaletto S.

The Cosmic 21-cm Revolution: Charting the first billion years of our Universe, Ed Andrei Mesinger (Bristol: IOP Publishing) 2019
ArXiv: 1909.12430v1 [astro-ph.CO]

21 cm cosmology in the 21st century

Pritchard J.R., Loeb A.

Report Prog. Phys. 75, 086901, 2012

Cosmic microwave background radiation and first molecules in the early Universe

Signore M., Puy D.

European Physical Journal C 59(1), 117, 2009

Cosmic at low frequencies: The 21 cm transition and the high-redshift Universe

Furinaletto S.R., Peng Oh S., Briggs F. H.

Physics Reports 433, 181, 2006

Thermal balance in decaying Λ cosmologies

Puy D.

Astronomy and Astrophysics 422, 1, 2004

From nuclei to atoms and molecules : The chemical history of the early Universe

Puy D., Signore M.

New Astronomy Reviews 46(11) 709, 2002

Formation of primordial molecules and thermal balance in the early Universe

Puy D. Alecian G., Le burlot J., Léorat J., Pineau des forets G.

Astronomy and Astrophysics 267, 337, 1993

Durée optimale et date optimale envisagée :

3 ans, début de la thèse 1^{er} octobre 2021

(sous réserve de financement par l'école doctorale de l'Université de Montpellier)

Directeur de thèse

Professeur Denis PUY

Directeur du Laboratoire Univers et Particules de Montpellier

LUPM - Université de Montpellier - 34090 Montpellier

Téléphone (direct) : 04 67 14 39 01 - Téléphone (secrétariat) : 04 67 14 34 12

Adresse électronique : Denis.Puy@umontpellier.fr