



DYNAMIQUES DES BARYONS DANS LES COSMOLOGIES NON-STANDARD

DYNAMICS OF BARYONS IN NON-STANDARD COSMOLOGIES

École doctorale **Astronomie et Astrophysique d'Ile-de-France**

Spécialité **Astronomie et Astrophysique**

Unité de recherche **LUTH - Laboratoire Univers et THéories**

Directeur de la thèse Pier-Stefano CORASANITI

Co-Encadrant Yohan DUBOIS

Début de la thèse le **1 octobre 2019**

Date limite de candidature **26 avril 2019**

Mots clés - Keywords

Energie Noire, Formation des Galaxies, Matière Noire, Simulations Numériques

Dark Energy, Galaxy Formation, Dark Matter, Numerical Simulations

Profil et compétences recherchées - Profile and skills required

Connaissances de base sur la cosmologies et la formation des structures cosmiques. Competences de programmation nécessaires, préférablement en Fortran (ou C) et Python.

Basic knowledge of cosmology and cosmic structure formation. Coding skills necessary, background knowledge of Fortran (or C) and Python preferred.

Description de la problématique de recherche - Project description

L'univers est dominé par des composants invisibles de matière dont la nature échappe à notre compréhension. D'une part, une matière noire invisible (DM), contribuant à environ 30% du bilan énergétique cosmique et interagissant avec la matière visible uniquement par gravité, déclenche la formation des structures cosmiques observées aujourd'hui. D'autre part, une forme exotique de matière qu'on appelle énergie noire (DE) provoque l'étirement rapide de l'univers sur les grandes échelles cosmiques. Dans le scénario cosmologique standard, la première espèce de matière est supposée être constituée de particules froides non-collisionnelles, c'est le paradigme de la matière noire froide (CDM), motivée par des théories des hautes énergies au de la du modèle standard de la physique des particules. Dans le cas de DE, un terme de constant cosmologique dans les équations de la Relativité Générale d'Einstein peut expliquer la phase observée d'expansion accélérée de l'univers. Ce modèle simple a extrêmement bien réussi à reproduire l'ensemble des observations de l'univers à grande échelle. Néanmoins, l'origine physique des composants sombres reste largement inconnue. La valeur de la constante cosmologique déduite par les observations cosmologiques et l'absence de détection directe des particules massives avec interaction faible dans les laboratoires de physique remettent en question les fondements physiques du modèle cosmologique standard. Cela a conduit à une vaste enquête sur des scénarios alternatifs. Par exemple, dans le contexte de DE, des modèles dynamiques impliquant un nouveau degré de liberté scalaire fondamental ont été proposés, tels que le scénario dit de « quintessence ». Alors que dans le cas de la matière noire, des neutrinos stériles ou des axions (qui ne sont pas actuellement détectable par les expériences en laboratoire) ont été envisagés. Au cours des dix dernières années, au LUTH nous avons mis en place un intense programme de recherche consacré à l'étude des empreintes des modèles DE et DM non standard sur la distribution des structures cosmiques. En réalisant des simulations N-body à haute résolution et à grand volume, nous avons étudié l'influence des hypothèses sous-jacentes la nature des composants sombres sur la formation et l'évolution des structures. En particulier, les études on ciblé l'échelle où l'effondrement gravitationnel de la matière est un processus dynamique non linéaire. Ces échelles feront l'objet d'étude des futurs projets des relevées de galaxies. Nos études ont montré que la dynamique de DE et la nature non-collisionnelle de la DM modifient différemment l'assemblage des halos de DM, qui sont les éléments constitutifs de la formation de la structure cosmique. Une question se pose de savoir si de telles caractéristiques seront également présentes dans les propriétés des galaxies, résultant de l'effondrement du gaz baryonique dans ces halos, effondrement déclenché par l'interaction gravitationnelle non linéaire avec la composant de DM plus dominant. En effet, c'est la complexité de la dynamique à petite échelle des baryons dans l'univers qui caractérise la formation et l'évolution des étoiles et des galaxies que nous observons aujourd'hui. Cependant, l'essentiel de la recherche sur la formation de galaxies a jusqu'ici été consacré à la compréhension du rôle et de l'impact des processus de rétroaction baryonique dans le scénario cosmologique standard. Étant donné les grandes incertitudes sur la nature des composants sombres, il est opportun d'étudier l'impact des hypothèses du modèle cosmologique sur les

processus de formation des galaxies eux-mêmes. C'est le sujet de la thèse, qui utilisera des méthodes analytiques et des simulations hydrodynamiques numériques pour étudier la dynamique tardive à petite échelle des baryons dans des modèles non standard de DE et de DM.

The universe is dominated by invisible components whose nature escapes our understanding. On the one hand, an invisible dark matter (DM), contributing to ~30% of the cosmic energy budget and interacting with the visible matter through gravity only, triggers the formation of the cosmic structures we see today. On the other hand, an exotic dark energy (DE) causes the universe to stretch at a speeding up pace on the large cosmic scales. In the standard cosmological scenario the former species is assumed to consist of cold collisionless particles, that is the cold dark matter (CDM) paradigm motivated by high-energy theories beyond the Standard Model of particles. In the case of DE, a cosmological constant term in Einstein's equation of General Relativity can account for the observed phase of cosmic accelerated expansion. This simple model has been tremendously successful at reproducing the ensemble of observations of the universe on the large scales. Nevertheless, the physical origin of the dark components remains largely unknown. The puzzling value of the cosmological constant and the lack of direct detection of weakly interacting massive particles in physics laboratory has been calling into question the physical foundations of the standard cosmological model. This has resulted in a vast investigation of alternative scenarios. For instance in the context of DE, dynamical models involving new fundamental scalar degree of freedom have been proposed, such as the quintessence scenario. Whereas in the case of DM, sterile neutrinos or axions (evading laboratory detection) have been considered. Over the past decade at LUTH we have established an intense research program devoted to the study of the imprint of non-standard DE and DM models on the distribution of cosmic structures. Through the realization of large volume high-resolution N-body simulations, we have investigated how the underlying hypotheses on the dark components influence the formation and evolution of structures, especially on scales where the gravitational collapse of matter is a non-linear dynamical process. These scales will be the targets of future observational galaxy survey projects. Our studies have shown that both the dynamics of DE and the non-collisionless nature of DM alter differently the assembly of DM halos, which are the building blocks of the cosmic structure formation. A question arises whether such features will be also present in the properties of galaxies, which result from the collapse of the baryonic gas inside halos that is triggered by the non-linear gravitational interaction with the more dominant DM component. Indeed, it is the complexity of the late time small-scale dynamics of baryons in the universe that shapes the formation and evolution of stars and galaxies we observe today. However, the bulk of the research on galaxy formation has been so far devoted to understanding the role and impact of baryonic feedback processes within the standard cosmological scenario. Given the large uncertainties on the nature of the dark components, it is timely to study the impact of cosmological model assumptions on the galaxy formation processes themselves. This is the topic of the thesis, which will make use of analytical methods and numerical hydrodynamical simulations to study the late-time small-scale dynamics of baryons in non-standard models of DE and DM.

Thématique / Domaine

The nature of the invisible components in the universe and the galaxy formation processes

Cosmic Structure Formation

Objectifs

Understanding the impact of the hypotheses on the nature of dark energy and dark matter on the formation and evolution of galaxies

Méthode

Numerical Methods, Analytical Modeling

Précisions sur l'encadrement - Details on the thesis supervision

The thesis will be co-supervised in collaboration with Yohan Dubois (IAP). His expertise will provide the necessary guidance to the PhD student for the realisation of hydrodynamical simulations of galaxy formation. On the other hand I will cover the identification of non-standard cosmological models, their impact on the clustering of dark matter, the definition of relevant physical analyses and the development of analytical models.

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

Computing equipment

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorant : diffusion, publication et confidentialité, droit à la propriété intellectuelle,...

Articles dans des revues avec comité de lecture, présentations a conférences internationales et séminaires en France et a l'étranger.

Références bibliographiques

I. Balmes, Y. Rasera, P.S. Corasaniti, J.M. Alimi, "Imprints of Dark Energy on Cosmic Structure Formation: III) Sparsity of Dark Matter Halos", *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 437, 2328 (2014), arXiv:1307.2922

C. Penzo, A.V. Macciò, L. Casarini, G.S. Stinson, J. Wadsley, 'Dark MaGICC: the effect of Dark Energy on galaxy formation. Cosmology does matter', *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 442, 176 (2014), arXiv:1401.3338

Y. Dubois et al., 'The HORIZON-AGN simulation: morphological diversity of galaxies promoted by AGN feedback', *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 463, 3948 (2016), arXiv:1606.03086

P.S. Corasaniti, S. Agarwal, D.J.E. Marsh, S. Das, "Constraints on dark matter scenarios from measurements of the galaxy luminosity function at high redshifts", *Phys. Rev. D* 95, 083512 (2017), arXiv:1611.05892

Dernière mise à jour le 15 janvier 2019