

Soutenance de thèse du Service d'Astrophysique



RECONSTRUCTION DE LA CARTE DE MASSE DE MATIÈRE NOIRE PAR EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE

FRANÇOIS LANUSSE

SAP

Vendredi 20 Novembre 2015 – 14h00 - Salle Galilée – bât 713

L'effet de lentille gravitationnelle, qui se traduit par une déformation des images nous parvenant de galaxies lointaines, constitue l'une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux nombreuses questions portant sur la nature de l'énergie sombre et de la matière noire. Cet effet de lentille étant sensible à la masse totale, il permet de sonder directement la distribution de matière noire, qui resterait autrement invisible. En mesurant la forme d'un grand nombre de galaxies lointaines, il est possible d'estimer statistiquement les déformations causées par l'effet de lentille gravitationnelles puis d'en inférer la distribution de masse à l'origine de celles-ci. La reconstruction de ces cartes de masses constitue un problème inverse qui se trouve être mal posé dans un certain nombre de situations d'intérêt, en particulier lors de la reconstruction de la carte de masse aux petites échelles ou en trois dimensions. Dans ces situations, il devient impossible de reconstruire une carte sans l'ajout d'information a priori.

Une classe particulière de méthodes, basées sur un a priori de parcimonie, s'est révélé remarquablement efficace pour résoudre des problèmes inverses similaires pour un large champ d'applications tels que la géophysique et l'imagerie médicale. Le but principal de cette thèse est donc d'adapter ces techniques de régularisation parcimonieuses au problème de la cartographie de la matière noire afin de développer une nouvelle génération de méthodes. Nous développons en particulier de nouveaux algorithmes permettant la reconstruction de cartes masses bidimensionnelles de haute résolution ainsi que de cartes de masses tridimensionnelles.

Nous appliquons de plus les mêmes méthodes de régularisation parcimonieuse au problème de la reconstruction du spectre de puissance des fluctuations primordiales de densités à partir de mesures du fond diffus cosmologique, ce qui constitue un problème inverse particulièrement difficile à résoudre. Nous développons un nouvel algorithme pour résoudre ce problème, que nous appliquons aux données du satellite Planck.

Enfin, nous investiguons de nouvelles méthodes pour l'analyse de relevés cosmologiques exprimés en coordonnées sphériques. Nous développons une nouvelle transformée en ondelettes pour champs scalaires exprimés sur la boule 3D et nous comparons différentes méthodes pour l'analyse cosmologique de relevés de galaxies spectroscopiques.

Gravitational lensing, that is the distortion of the images of distant galaxies by intervening massive objects, has been identified as one of the most promising probes to help answer questions relative to the nature of dark matter and dark energy. As the lensing effect is caused by the total matter content, it can directly probe the distribution of the otherwise invisible dark matter. By measuring the shapes of distant galaxies and statistically estimating the deformations caused by gravitational lensing, it is possible to reconstruct the distribution of the intervening mass. This mass-mapping process can be seen as an instance of a linear inverse problem, which can be ill-posed in many situations of interest, especially when mapping the dark matter on small angular scales or in three dimensions. As a result, recovering a meaningful mass-map in these situations is not possible without prior information.

In recent years, a class of methods based on a so-called sparse prior has proven remarkably successful at solving similar linear inverse problems in a wide range of fields such as medical imaging or geophysics. The primary goal of this thesis is to apply these sparse regularisation techniques to the gravitational lensing problem in order to build next-generation dark matter mass-mapping tools. We propose in particular new algorithms for the reconstruction of high-resolution 2D mass-maps and 3D mass-maps and demonstrate in both cases the effectiveness of the sparse prior. We also apply the same sparse methodologies to the reconstruction the primordial density fluctuation power spectrum from measurements of the Cosmic Microwave Background which constitutes another notoriously difficult inverse problem. We apply the resulting algorithm to reconstruct the primordial power spectrum using data from the Planck satellite.

Finally, we investigate new methodologies for the analysis of cosmological surveys in spherical coordinates. We develop a new wavelet transform for the analysis of scalar fields on the 3D ball. We also conduct a comparison of methods for the 3D analysis of spectroscopic galaxy survey.