



Analyse jointe de la distribution des galaxies de DESI et du lentillage du CMB

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhP](#)

Candidature avant le 06/05/2025

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [de MATTIA Arnaud](#)

+33 1 69 08 62 34

arnaud.de-mattia@cea.fr

Résumé

Ce stage sera axé sur une analyse jointe novatrice des données du Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) et des mesures de lentillage de fond diffus cosmologique (CMB) issues de Planck et du télescope cosmologique d'Atacama (ACT). Ce travail ouvrira la voie au projet de doctorat intitulé "Inférence bayésienne avec des simulateurs différentiables pour l'analyse jointe de la distribution des galaxies et du lentillage du CMB".

Sujet détaillé

Contexte

Le Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) est un spectrographe multi-objets installé sur le télescope Mayall à Kitt Peak, en Arizona. Il peut mesurer le spectre de 5000 objets à chaque pointé. DESI a commencé ses opérations en mai 2021 et permettra de mesurer le décalage vers le rouge de 40 millions de galaxies et de quasars avec un décalage inférieur à 4,2 sur une période de 5 ans, augmentant ainsi de dix fois les statistiques par rapport aux précédentes enquêtes spectroscopiques (par exemple, BOSS, eBOSS).

L'étude des propriétés statistiques du champ de densité des galaxies, déduit des positions observées des galaxies, permet de fortement contraindre les modèles cosmologiques. Par l'intermédiaire de la signature des oscillations acoustiques de baryons (BAO), ces analyses permettent de mesurer l'histoire de l'expansion de l'Univers et, par conséquent, son contenu énergétique, y compris la dynamique de l'énergie noire. Les résultats cosmologiques obtenus à partir de la première année de données de DESI, combinés avec les données du fond diffus cosmologique (CMB) et des supernovae, ont révélé une petite tension avec le modèle actuel de la constante cosmologique, suggérant une possible nature dynamique de l'énergie noire, un résultat qui a suscité un grand intérêt dans la communauté. Les relevés du décalage vers le rouge des galaxies permettent également d'étudier la croissance des structures cosmiques sur une large gamme d'échelles et de décalages spectraux. De telles mesures permettent de tester rigoureusement la relativité générale en tant que moteur de la croissance des structures. Les résultats de la première année de données de DESI seront publiés en novembre.

Une autre méthode importante pour sonder la structure à grande échelle de l'Univers est le lentillage gravitationnel, qui résulte du fait que la trajectoire de la lumière des galaxies d'arrière-plan ou du CMB est déviée par le champ gravitationnel des structures massives situées entre la source et l'observateur. La combinaison de la distribution des galaxies et du lentillage faible du CMB (dans des analyses dites "3x2 points") permet une mesure tomographique du signal de lentillage et lève la dégénérescence entre le biais des galaxies et la croissance des structures, propre aux analyses utilisant uniquement la distribution des galaxies. Les mesures de lentillage faible de la croissance des structures (par le biais du paramètre $S_8 = \sigma_8 (\Omega_m / 0.3)^{0.5}$) ont montré des valeurs de 2-3 sigma inférieures à celles inférées à partir des données Planck dans le modèle Λ CDM, bien que certaines études récentes aient trouvé une meilleure concordance. Récemment, la distribution des galaxies et le lentillage du CMB ont été analysés conjointement pour poser des contraintes sur le paramètre $f\sigma_8$, qui quantifie la quantité de non-gaussianité générée par l'inflation. En particulier, la détection d'un $f\sigma_8$ largement supérieur à 1 exclurait l'inflation à champ unique.

Travail proposé

Dans ce projet, nous combinerons les données DESI avec les récents résultats de Planck PR4 et ACT DR6. La première version des données DESI (DR1) constitue le plus grand ensemble de données spectroscopiques jamais obtenu. Nous examinerons des échantillons de galaxies rouges lumineuses (0.4

La réalisation d'une telle analyse nécessite une estimation de la covariance conjointe entre la distribution 3D des galaxies et le lentillage du CMB. Nous aborderons ce problème par des calculs analytiques et des simulations rapides des données observées. Le simulateur sera implémenté en JAX, qui permet des calculs sur GPU et la différenciation automatique, ce qui sera utile pour des applications futures (voir le projet de doctorat associé). En partant du solveur à N corps rapide JaxPM, développé par des collaborateurs, le candidat implémentera la relation entre le champ de matière noire et le champ de densité des galaxies, la fonction de sélection du relevé DESI et le lentillage du CMB.

Lieu de travail

Le stage se déroulera au sein du Département de Physique des Particules (DPhP) de l'Institut de Recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu). Le candidat travaillera au sein du groupe de cosmologie du DPhP, qui regroupe 10 chercheurs permanents, 2 post-doctorants et 3 doctorants. Au cours de la dernière décennie, le groupe a participé à d'importantes collaborations internationales : SNLS, Planck, BOSS et eBOSS, où il était responsable de plusieurs analyses cosmologiques clés. Récemment, le groupe a joué un rôle déterminant dans l'instrument DESI, la préparation du relevé et l'analyse cosmologique. Le candidat bénéficiera donc de l'expertise et de l'implication du groupe en rejoignant la collaboration DESI, qui regroupe environ 1000 physiciens, ingénieurs et étudiants de 72 institutions.

Dans le cadre de son travail au sein de DESI, il aura accès au National Energy Research Scientific Computing Center à Berkeley, en Californie, pour effectuer ses analyses. Des allocations pourraient être soumises au supercalculateur Jean Zay du CNRS à Orsay pour couvrir les besoins supplémentaires en calcul.

Compétences requises

Une solide formation en cosmologie, en analyse statistique et en programmation informatique est attendue. Une expérience avec le calcul scientifique en Python et les bibliothèques numériques est vivement appréciée.

Mots clés

cosmologie, grandes structures, lentillage gravitationnel faible

Compétences

Logiciels

Python / JAX (<https://jax.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html>)

Joint Analysis of DESI Galaxy Clustering and CMB Lensing

Summary

This internship will focus on a pioneering joint analysis of data from the Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) and Cosmic Microwave Background (CMB) lensing measurements from Planck and the Atacama Cosmology Telescope (ACT). The work will pave the way for the PhD project titled "Bayesian Inference with Differentiable Simulators for the Joint Analysis of Galaxy Clustering and CMB Lensing".

Full description

Context

The Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) is a multi-object spectrograph mounted on the Mayall telescope at Kitt Peak, Arizona. It is able to measure the spectra of 5000 objects at each pointing. DESI has started operations in May 2021 and will enable redshift measurements for 40 million galaxies and quasars at redshift below 4.2 over 5 years, yielding a tenfold increase in statistics compared to previous spectroscopic surveys (e.g. BOSS, eBOSS).

The study of the statistical properties of the galaxy density field, inferred from observed galaxy positions, allows stringent constraints to be put on cosmological models. Through the signature of baryon acoustic oscillations (BAO), such so-called clustering analyses can measure the expansion history of the Universe, hence its energy content, including the dynamics of dark energy. Cosmological results obtained from the first year of DESI data, combined with cosmic microwave background (CMB) and supernovae datasets have revealed a potential tension with the current cosmological constant model, suggesting the possibility of a dynamic nature for dark energy, a finding which has sparked great interest within the community. Galaxy redshift surveys also probe the growth of cosmic structure on a wide range of scales and redshifts. Such measurements allow stringent test of general relativity as a fuel for structure growth. The results obtained from the first year of DESI data will be released in November.

Another important probe of the large scale structure of the Universe is gravitational lensing, as a result of the path of light from background galaxies or the CMB being deflected by the gravitational fields of massive structures between the emission and the observer. The combination of galaxy clustering and CMB weak lensing (through so-called 3x2-pt analyses) allow a tomographic measurement of the lensing signal and break the degeneracy between galaxy bias and the growth of structure of clustering-only analyses. Weak lensing measurements of the growth of structure (through the parameter $S_8 = \sigma_8 (\Omega_m / 0.3)^{0.5}$) have been found to be 2-3 sigma lower than the value inferred from Planck CMB data within LCDM, though some recent studies have found a better agreement. Recently, galaxy clustering and CMB lensing have been analyzed jointly to set constraints on the parameter f_{NL} which quantifies the amount of non-Gaussianity generated by inflation. In particular, detecting $f_{NL} \gg 1$ would rule out single-field inflation.

Suggested work

In this project, we will combine DESI data with the recent Planck PR4 & ACT DR6 release. The available first DESI data release (DR1) constitutes the largest spectroscopic dataset ever assembled. We will consider samples of luminous red galaxies (0.4

Performing such an analysis requires an estimation of the joint covariance between the 3D galaxy clustering and CMB lensing. We will approach this challenge with analytic calculation and fast simulations of observational data. The simulator will be implemented in the JAX framework, which allows for computation on the GPU, and automatic differentiation, which will prove useful for future applications (as proposed in the associated PhD project). Starting from fast N-body solver JaxPM developed by collaborators, the candidate will implement the relation between the dark matter field and the galaxy density field, the DESI survey selection and the CMB lensing observable.

Work place

The internship will be carried out in the Particle Physics Department (DPhP) of the Institute for Research on the fundamental laws of the Universe (Irfu).

The candidate will work within the DPhP cosmology group, gathering 10 permanent researchers, 2 postdocs and 3 PhD students. Over the last decade, the group has participated to major international collaborations: SNLS, Planck, BOSS and eBOSS, where it was responsible for several key clustering analyses. Lately the group has occupied a decisive role in the DESI instrument, the survey preparation and the cosmological analysis. The candidate will thus benefit from the expertise and involvement of the group when joining the DESI collaboration, which gathers about 1000 physicists, engineers and students coming from 72 institutions.

As part of their work within DESI, they will be granted access to the National Energy Research Scientific Computing Center at Berkeley, California, to perform their analyses. Allocations could be submitted at the CNRS Jean Zay supercalculator in Orsay to cover extra computing needs.

Solid groundings are expected in cosmology, statistical analysis and computer programming. Experience with Python scientific computing and numerical libraries is greatly appreciated.

Keywords

cosmology, large scale structure, weak gravitational lensing

Skills

Softwares

Python / JAX (<https://jax.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html>)