



Extraction conjointe du bruit de confusion et des binaires galactiques résolues à partir des signaux gravitationnels de l'interféromètre LISA

Spécialité Mathématiques appliquées

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 28/02/2021

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOUTARDE Herve](#)
+33 1 69 08 73 88
herve.moutarde@cea.fr

Autre lien <http://jerome-bobin.fr>

Résumé

Ce travail de stage porte sur l'analyse et le traitement de données pour l'extraction fiable et robuste du signal gravitationnel émis par les systèmes binaires galactiques, tant ceux pouvant être identifiés de manière individuelle que le bruit de confusion constitué des systèmes ne pouvant être résolus.

Sujet détaillé

A la suite des premières détections directes d'ondes gravitationnelles en 2015 par les interféromètres au sol LIGO et VIRGO, une nouvelle fenêtre d'observation de notre Univers s'est ouverte, ouvrant la voie à la mission spatiale LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Cet observatoire spatial, dont le lancement est prévu en 2034, permettra la détection directe d'ondes gravitationnelles indétectables par les interféromètres terrestres.

A la différence des observatoires au sol, sensibles à de rares signaux d'ondes gravitationnelles et soumis à un bruit de mesure dominant, l'interféromètre spatial LISA devrait pouvoir observer un grand nombre de signaux distincts. Les estimations actuelles des quantités et types de source prévoient entre autres 60 millions de systèmes binaires galactiques émettant de manière continue, 10 à 100 signaux annuels provenant de trous noirs supermassifs, et de 10 à 1000 signaux annuels issus de systèmes binaires avec des rapports de masses très élevés.

Un des objectifs scientifiques de LISA est l'étude de la formation et de l'évolution des systèmes binaires galactiques : des naines blanches, mais aussi des étoiles à neutrons ou des trous noirs d'origine stellaires. Plusieurs systèmes binaires dits « de vérification » sont déjà identifiés comme sources d'ondes gravitationnelles détectables par LISA, et ce nombre devrait augmenter de manière significative grâce aux mesures collectées par le satellite Gaia et le télescope LSST.

LISA devrait permettre la caractérisation d'environ 25000 systèmes binaires galactiques. Les nombreux autres

systèmes échappant à une détection individuelle formeront un fond stochastique, ou bruit de confusion. L'un des défis de l'analyse des données du futur observatoire LISA est la séparation entre signaux issus de systèmes binaires identifiables individuellement et bruit de confusion.

Ainsi, ce travail de stage porte sur l'analyse et le traitement de données pour l'extraction fiable et robuste du signal gravitationnel émis par les systèmes binaires galactiques, tant ceux pouvant être identifiés de manière individuelle que le bruit de confusion constitué des systèmes ne pouvant être résolus. Jusqu'à présent [1,2], les méthodes d'analyse actuelles se fondent essentiellement sur l'estimation des signaux issues de binaires détectables à partir de données bruitées. La restauration de ces binaires conjointement avec le bruit confusion sera l'objet précis de ce stage. A cette fin, les problèmes auxquels nous nous attaquerons seront:

- * La modélisation statistique du bruit de confusion constitué des signaux gravitationnels issus des binaires non résolues.

- * Le développement d'une méthode d'analyse conjointe pour l'intégralité des signaux issus de systèmes binaires galactiques, permettant de discriminer signaux provenant de binaires détectables individuellement, non résolues et bruit instrumental. Ce travail se fera en deux étapes: i) la modélisation statistique du bruit de confusion puis ii) l'extension de l'algorithme d'estimation des binaires galactiques [1] pour la prise en compte de cette source de bruit supplémentaire.

- * L'évaluation sur des simulations réalistes du futur observatoire LISA.

- * La prise en compte de données incomplètes, dues aux périodes d'interruption dans l'acquisition des données (maintenance, instabilités de sous-systèmes, etc.).

Ce travail reposera sur l'application de méthodes statistiques pour l'analyse des données, et sur la représentation parcimonieuse des signaux. Cette dernière permet d'exploiter les différences de formes ou de morphologie entre ces signaux, le bruit de confusion et le bruit instrumental pour la résolution de problèmes inverses.

Ce sujet comporte une dominante de traitement du signal et de programmation soignée; le candidat recherché doit avoir de solides connaissances en statistiques et en traitement du signal.

Le stage se fera au sein des l'Institut de Recherche sur le lois Fondamentales de l'Univers (IRFU), sur une thématique à l'interface entre l'analyse statistique de données et la physique des ondes gravitationnelles.

Contacts : Jérôme BOBIN jerome.bobin@cea.fr ou Hervé MOUTARDE herve.moutarde@cea.fr

Références :

[1] A.Blelly, J.Bobin, H.Moutarde, "Sparsity Based Recovery of Galactic Binaries Gravitational Waves", Phys. Rev. D, en cours de publication, 2020.

[2] T.B.Littenberg, "A detection pipeline for galactic binaries in LISA data", Phys.Rev.D, 84, 063009, (2011).

Mots clés

Statistique, ondes gravitationnelles, représentations parcimonieuses

Compétences

Logiciels

Python

Joint extraction of confusion noise and resolved galactic binaries from the gravitational signals of the LISA interferometer

Summary

This internship work focuses on the analysis and processing of data for the reliable and robust extraction of the gravitational signal emitted by galactic binary systems, both those that can be individually identified and the confusion noise constituted by systems that cannot be resolved.

Full description

Following the first direct detections of gravitational waves in 2015 by the LIGO and VIRGO ground interferometers, a new window of observation of our Universe has opened, paving the way for the LISA (Laser Interferometer Space Antenna) space mission. This space observatory, scheduled for launch in 2034, will allow the direct detection of gravitational waves undetectable by ground-based interferometers.

Unlike ground-based observatories, which are sensitive to rare gravitational wave signals and subject to dominant measurement noise, the LISA space interferometer should be able to observe a large number of distinct signals. Current estimates of source quantities and types include 60 million continuously emitting galactic binary systems, 10 to 100 annual signals from supermassive black holes, and 10 to 1000 annual signals from binary systems with very high mass ratios.

One of the scientific objectives of LISA is the study of the formation and evolution of galactic binary systems: white dwarfs, but also neutron stars or black holes of stellar origin. Several so-called "verification" binary systems are already identified as sources of gravitational waves detectable by LISA, and this number should increase significantly thanks to the measurements collected by the Gaia satellite and the LSST telescope.

LISA should allow the characterization of about 25,000 galactic binary systems. The many other systems escaping individual detection will form a stochastic background, or confusion noise. One of the challenges of analyzing the data from the future LISA observatory is the separation between signals from individually identifiable binary systems and confusion noise.

Thus, this internship work focuses on the analysis and processing of data for the reliable and robust extraction of the gravitational signal emitted by galactic binary systems, both those that can be individually identified and the confusion noise constituted by systems that cannot be resolved. So far [1,2], current analysis methods are mainly based on the estimation of detectable binary signals from noisy data. The restoration of these binaries together with the confusing noise will be the precise object of this course. To this end, the problems we will tackle will be:

- * The statistical modeling of the confusion noise consisting of the gravitational signals from the unresolved binaries.
- * The development of a joint analysis method for the totality of signals from galactic binary systems, allowing to discriminate signals from individually detectable, unsolved binaries and instrumental noise. This work will be done in two steps: i) statistical modeling of the confusion noise and ii) extension of the galactic binary estimation algorithm [1] to take into account this additional noise source.
- * The evaluation on realistic simulations of the future LISA observatory.
- * The taking into account of incomplete data, due to periods of interruption in data acquisition (maintenance, subsystem instabilities, etc.).

This work will be based on the application of statistical methods for data analysis, and on the sparse representation of signals. The latter allows to exploit the differences in shape or morphology between these signals, confusion noise and instrumental noise for the resolution of inverse problems.

This subject has a strong emphasis on signal processing and careful programming; the candidate must have a strong knowledge of statistics and signal processing.

The internship will take place at the Institut de Recherche sur le Lois Fondamentales de l'Univers (IRFU), on a theme at the interface between statistical data analysis and gravitational wave physics.

Contacts : Jérôme BOBIN jerome.bobin@cea.fr or Hervé MOUTARDE herve.moutarde@cea.fr

References :

[1] A.Blelly, J.Bobin, H.Moutarde, "Sparsity Based Recovery of Galactic Binaries Gravitational Waves", Phys. Rev. D, in publication, 2020.

[2] T.B.Littenberg, "A detection pipeline for galactic binaries in LISA data", Phys.Rev.D, 84, 063009, (2011).

Keywords

Statistics, gravitational waves, sparse representations

Skills

Softwares

Python