
Sujet de thèse

Laboratoire: Institut Fresnel

Directrice de thèse : Myriam ZERRAD

Email : myriam.zerrad@fresnel.fr

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Tel : 06 46 33 06 04

Mesure interférométrique directe du bruit thermique des composants multi-diélectriques des détecteurs d'ondes gravitationnelles

L'astronomie gravitationnelle (prix Nobel 2017) connaît un essor considérable grâce aux performances uniques des interféromètres géants fonctionnant avec des bras de l'ordre du km (Virgo/LIGO/KAGRA). Pour étendre encore l'observation de l'univers, de nouveaux instruments sont en cours d'élaboration, pour un fonctionnement terrestre (Einstein Telescop, Advanced Virgo en Europe et Cosmic Explorer aux USA) ou spatial (LISA, Europe et USA). Les progrès obtenus ont permis de passer de la détection d'un événement gravitationnel par mois (2016) à un événement par semaine (2019), et l'on prévoit que cette cadence d'occurrence soit étendue à un événement par minute à l'horizon 2035 (systèmes terrestres), voire à un continuum d'observation avec le projet spatial LISA.

Un point clé de ces systèmes concerne leur sensibilité au passage d'ondes gravitationnelles, dont une limitation essentielle réside dans l'agitation microscopique des particules qui constituent les miroirs multi-diélectriques de la cavité de l'interféromètre. Ce bruit thermique des revêtements vient en effet modifier de façon aléatoire la longueur de la cavité d'une quantité extrêmement faible (10^{-20} m), mais qui suffit à masquer la déformation de l'espace-temps. Dans ce contexte, il faut pouvoir disposer d'une métrologie pour mesurer directement le bruit thermique des composants, afin de mettre en œuvre des stratégies de réduction de ce bruit.

Il se trouve que l'Europe ne dispose aujourd'hui d'aucun système pour répondre de façon satisfaisante à cette demande, et à ce titre, l'Institut Fresnel a rejoint la collaboration Virgo pour développer une instrumentation unique et innovante permettant de pallier cette lacune cruciale et stratégique. Ainsi, le cœur de cette thèse concernera la mise en œuvre expérimentale de l'instrument de mesure dont le principe s'appuie sur une technique d'interférométrie temporellement différentielle. Les résultats seront confrontés à une modélisation exacte du bruit thermique en appui sur le principe de fluctuation-dissipation. Une fois cette confrontation validée, des solutions seront explorées pour la réduction du bruit thermique.

Le travail sera réalisé en interaction étroite avec la Collaboration Virgo qui en valorisera également les résultats.

PhD thesis

Laboratory: Institut Fresnel

PhD supervisor : Myriam ZERRAD

Email : myriam.zerrad@fresnel.fr

Adresse : Institut Fresnel, Domaine Universitaire de Saint Jérôme, 13397 Marseille

Tel : 06 46 33 06 04

Direct interferometric measurement of the thermal noise of multi-dielectric components of gravitational wave detectors

Gravitational astronomy (Nobel Prize 2017) is booming thanks to the unique performance of giant interferometers operating with arms of the order of km (Virgo/LIGO/KAGRA). To further extend the observation of the universe, new instruments are being developed for terrestrial operation (Einstein Telescop, Advanced Virgo in Europe and Cosmic Explorer in the USA) or Space operation (LISA, Europe and USA). Progress has been made from detecting one gravitational event per month (2016) to one event per week (2019), and it is expected that this rate of occurrence will be extended to one event per minute by 2035 (ground-based systems), or even to a continuum of observation with the LISA space project.

A key point of these systems concerns their sensitivity to the passage of gravitational waves, an essential limitation of which lies in the microscopic agitation of the particles that constitute the multi-dielectric mirrors of the interferometer cavity. This coating thermal noise randomly modifies the length of the cavity by an extremely small amount (10^{-20} m), but this is sufficient to hide the deformation of space-time. In this context, it is necessary to have a metrological set-up to directly measure the thermal noise of the components, in order to implement strategies to reduce this noise.

It so happens that Europe does not currently have any system to satisfactorily meet this demand, and as such, the Institut Fresnel has joined the Virgo collaboration to develop a unique and innovative instrumentation that will make it possible to fill this crucial and strategic gap. Thus, the core of this thesis will concern the experimental implementation of the measurement instrument, the principle of which is based on a time-differential interferometry technique. The results will be confronted with an exact modelling of the thermal noise based on the fluctuation-dissipation principle. Once this confrontation has been validated, solutions will be explored for the reduction of thermal noise.

The work will be carried out in close interaction with the Virgo Collaboration, which will also valorise the results.