

Stage (M1/M2) à Paris (LTE/Observatoire de Paris/LNE-OP) sur

Propriétés vibrationnelles d'un cryostat à tube d'impulsion pour la métrologie quantique

Contexte

La métrologie du temps et des fréquences est aujourd'hui l'un des domaines les plus fructueux de la mesure de haute précision. Les étalons de fréquence micro-ondes atteignent désormais des exactitudes en fréquence relative de l'ordre de 10^{-16} , assurant une grande variété d'applications allant de **la mesure du temps** (réalisation de la seconde SI, du temps atomique international, navigation par satellites, etc...) aux **expériences de recherche fondamentale les plus exigeantes (mesure de la dérive des constantes fondamentales, tests de relativité, détection des ondes gravitationnelles, ...)**.

L'un des éléments clés d'une horloge atomique optique est une source laser ultra stable en fréquence, qui permet de déterminer avec précision la fréquence de la transition atomique. Alors que les cavités Fabry-Perot à haute finesse dans la configuration standard, acceptables pour de nombreuses applications, offrent une assez bonne instabilité de fréquence fractionnelle à quelques 10^{-16} entre 0,1 s et 10 s de temps de moyennage à leur limite de bruit brownien, d'autres améliorations sont nécessaires pour répondre aux exigences strictes du bruit de projection quantique dans les horloges à réseau optique, qui devrait atteindre 10^{-17} ou moins à 1 s.

Parmi les différentes méthodes étudiées, les cryostats à tube pulsé à faible vibration sont devenus une technologie clé, permettant de refroidir les cavités de silicium monocristallin et les cristaux dopés aux ions de terres rares aux températures de travail souhaitées, allant de 124 K à 100 mK. Alors que le choix des cryostats secs tout électriques est motivé par la possibilité d'un fonctionnement continu sans recharge périodique de cryogène, les vibrations générées par le tube à impulsions doivent être correctement gérées.

Projet

Divers moyens expérimentaux ont été mis au point dans la communauté de la métrologie temps-fréquence pour quantifier le niveau de vibration des cryostats, en utilisant des capteurs mécaniques commerciaux (accéléromètres et sismomètres), en mesurant l'accélération ou la vitesse dans le référentiel inertiel, et en utilisant des interféromètres optiques pour mesurer la position par rapport à un plan de référence. Cependant, la plupart des capteurs mécaniques sont incompatibles avec la cryogénie, ce qui limite les informations accessibles. L'interféromètre optique, quant à lui, donne directement l'information à la position de l'échantillon par rapport à un plan de référence, mais il est difficile d'accéder à l'information aux positions intermédiaires qui ne sont souvent pas équipées d'accès optique, ni désintriquer l'information dans un référentiel inertiel.

Une possibilité de compléter cet effort de caractérisation des propriétés vibratoires d'un objet dans un cryostat est de simuler numériquement les propriétés mécaniques du cryostat, en utilisant une approche par étapes. La fonction de transfert mécanique peut être obtenue par des simulations par éléments finis une fois que l'architecture et les propriétés des matériaux sont connues. Étant donné qu'il existe différentes étapes d'isolation thermique, qui sont essentielles au fonctionnement normal du cryostat, il est naturel de décomposer la fonction de transfert mécanique globale en fonction de chaque étape d'isolation thermique, ce qui réduit la complexité de la simulation.

L'objectif de ce stage est double. Le candidat devra d'abord identifier les outils numériques appropriés et effectuer des simulations des différentes étapes de l'isolation thermique afin d'évaluer leur fonction de

transfert mécanique. Il est également nécessaire d'identifier les résonances potentielles dans la bande de fréquence pertinente qui peuvent avoir un impact important sur l'expérience de spectroscopie finale. Il/elle comparera ensuite avec les mesures existantes et effectuera éventuellement de nouvelles mesures à des positions critiques pour alimenter le processus de comparaison. Des améliorations structurelles pourraient être identifiées afin de réduire le niveau de vibration du porte-échantillon.

Scope

Le candidat.e retenu.e mènera les activités décrites ci-dessus, tout en interagissant avec le reste de l'équipe travaillant sur l'expérience de la spectroscopie des terres rares pour la stabilisation de la fréquence des lasers. Le stage durera 2 mois ou plus (durée négociable). La date de début est flexible.

Le candidat.e

Sérieux, motivé et professionnel, avec une formation en ingénierie mécanique. Une certaine expérience de l'analyse des vibrations et de l'analyse thermique est utile, mais n'est pas indispensable. Compte tenu de la nature collaborative et du contexte international de l'ensemble du projet de recherche, la communication en anglais doit être pratiquée.

Candidature

Les candidat.e.s intéressé.e.s doivent envoyer un CV et une lettre de motivation à Dr. Bess Fang-Sortais : bess.fang@obspm.fr . Des entretiens seront organisés une fois que les documents auront été examinés.