

Bourse post-doctorale à Paris (LNE-SYRTE/Observatoire de Paris) sur

Trous brûlés spectraux pour la métrologie quantique : des lasers ultra-stables aux corrélations quantiques

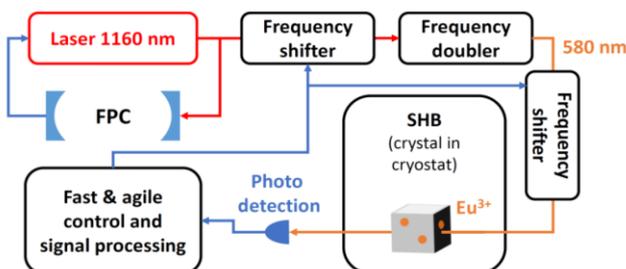
Contexte

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 pratique quotidienne de la mesure du temps (réalisation de la seconde SI, du temps international atomique, etc...) aux expériences de recherche fondamentale les plus exigeantes (mesure de la dérive des constantes fondamentales, tests de relativité, détection des ondes gravitationnelles, ...). L'avenir de la métrologie du temps et des fréquences se situe dans le domaine optique : la seconde, l'unité de temps, sera bientôt (~ 2026) définie via une transition optique dans des atomes ; les horloges optiques ont rapporté des performances sans précédent tant en stabilité qu'en exactitude ; et les réseaux de fibres optiques fournissent des moyens de comparer des horloges distantes et de diffuser la fréquence et le temps.

Pourtant, à ce jour, l'absence de lasers ultra-stables suffisamment performants pour sonder les transitions atomiques sans dégradation entrave la recherche de performances ultimes. En bref, les dispositifs d'horloge à réseau optique pourraient présenter une stabilité limitée par leur bruit de projection quantique si les lasers d'interrogation devaient être nettement meilleurs que cette limite. Les lasers actuellement utilisés sont basés sur la stabilisation d'une cavité Fabry-Perot (FPC) ultra-stable dans un environnement extrêmement bien contrôlé. Malheureusement, ces systèmes atteignent leurs limites fondamentales (dues au bruit thermodynamique à 300 K) à quelques 10^{-16} de stabilité, dégradant les horloges du réseau optique par échantillonnage du bruit. Bien qu'il soit possible de lutter contre le bruit thermodynamique dans les cavités Fabry-Perot, les défis technologiques sont considérables, et nous pensons qu'un changement de paradigme technologique est plus prometteur.

Projet

Les trous spectralement brûlés dans des cristaux dopés aux ions de terres rares sont un système polyvalent en métrologie quantique. Les transitions optiques étroites des ions dopants peuvent servir de référence de fréquence pour la stabilisation du laser. La présence d'un grand nombre d'ions dopants assure non seulement un excellent rapport signal sur bruit, mais fournit également un moyen probable de réduire davantage le bruit de phase en exploitant les corrélations classiques et quantiques entre eux. La stabilité de fréquence fractionnelle attendue est donc supérieure de plusieurs ordres de grandeur à celle des lasers à cavité verrouillée dans l'état actuel de la technique.



Au laboratoire SYRTE, un dispositif expérimental utilisant un cristal $\text{Eu}^{3+}:\text{Y}_2\text{SiO}_5$ a été construit et la première démonstration de stabilisation du laser donne une stabilité de fréquence relative de quelques 10^{-15} à 1 s, limitée par les fluctuations résiduelles de température du cristal [1]. Cette performance est compatible avec celle publiée par le NIST [2], alors que le bruit de détection est inférieur d'un ordre de grandeur. Les sensibilités aux facteurs

environnementaux tels que la contrainte mécanique [3] et le champ électrique [4] ont également été caractérisées métrologiquement.

Ce projet post-doc vise à améliorer les techniques de stabilisation de la fréquence des lasers, éventuellement jusqu'à quelques 10^{-18} à 1 s, et explorera les limites fondamentales de ces techniques, inconnues pour l'instant. D'une part, la réduction des fluctuations de température peut être obtenue par le verrouillage de la puissance du laser et le contrôle de la température de l'environnement cryogénique, ou en passant à des températures de dilution et en réduisant considérablement la sensibilité à la température. D'autre part, le bruit de détection peut être réduit en interrogeant simultanément plusieurs classes d'ions à différentes fréquences ; les corrélations classiques et éventuellement quantiques entre ces classes d'ions devraient également être explorées pour obtenir des stabilités de fréquence encore meilleures.

Travaux attendus et financement

Le candidat retenu participera à tous les aspects du projet, y compris, mais sans s'y limiter, le travail sur le montage expérimental, l'acquisition et l'analyse des données, la supervision des doctorants et des stagiaires, et la coordination avec d'autres expériences du groupe Fréquences optiques (par exemple, les peignes de fréquence et les horloges optiques) pour des mesures plus impliquées, etc. Il/elle est amené(e) à collaborer avec différents services techniques au sein du laboratoire SYRTE et avec nos partenaires académiques et industriels à l'échelle nationale et internationale.

Le poste sera ouvert à partir du 1 juin 2021. Le financement du salaire et des frais de déplacement (conférences, visites et réunions) est assuré pour 1 an, avec possibilité de renouvellement.

Le candidat

Sérieux, motivé et professionnel. Il/Elle doit être titulaire d'un doctorat en physique. Une expérience approfondie en physique expérimentale (notamment en optique, en électronique et en programmation) est requise (typiquement un doctorat dans des domaines pertinents). Des connaissances de base en physique quantique (mécanique quantique et physique atomique) sont utiles, mais ne constituent pas une exigence stricte. Étant donné la nature collaborative et le contexte international du travail, un bon anglais technique et une bonne capacité de communication sont indispensables.

Candidature

Les candidats intéressés doivent postuler en ligne via le portail du CNRS. Cette offre peut être consultée à l'adresse suivante <https://emploi.cnrs.fr/Offres/CDD/UMR8630-BESFAN-001/Default.aspx>. Un CV et une lettre de motivation sont nécessaires pour déposer une candidature valable. Les entretiens seront organisés après examination des documents.

Bibliographie

- [1] N. Galland *et al*, *Optics Letters* **45** 1930 (2020).
- [2] S. Cook *et al*, *Phys. Rev. Lett.* **114** 253902 (2015).
- [3] N. Galland *et al*, *Phys. Rev. Applied* **13** 044022 (2020); S. Zhang *et al*, *Phys. Rev. Research* **2** 013306 (2020).
- [4] S. Zhang *et al*, *Appl. Phys. Lett.* **117** 221102 (2020).