

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Laboratoire : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB)

Titre de la thèse : Métrologie de fréquence d'un nuage atomique confiné à l'échelle sub-longueur d'onde

Direction et éventuelle co-direction de la thèse : Maxence LEPERS (CR CNRS HDR) ; Emmanuel KLINGER (CR CNRS), Institut FEMTO-ST

Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement

Maxence LEPERS, qui a récemment obtenu son HDR, est Chargé de Recherche CNRS au sein de l'équipe MARS du département ICQ. Il est un spécialiste de la spectroscopie théorique et de la structure électronique des atomes, en particulier des terres rares.

Emmanuel KLINGER a été recruté en 2025 en tant que Chargé de Recherche CNRS dans le département « Temps-Fréquences » de l'Institut FEMTO-ST à Besançon. Il a effectué sa thèse au Laboratoire ICB sur la spectroscopie des vapeurs alcalines en nanocellules, en cotutelle avec une équipe arménienne.

Descriptif du sujet (enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)

La convergence entre la physique quantique, la photonique, et les technologies de microfabrication a permis la réalisation de capteurs atomiques miniatures aux sensibilités et précisions extraordinaires. De tels instruments, tels que des horloges ou magnétomètres atomiques, trouvent en leur cœur une vapeur atomique confinée dans une cellule de dimensions millimétriques, permettant d'offrir un budget volume/consommation/stabilité-sensibilité sans égal.

Des cellules à vapeur particulières, dites nanocellules, dont l'espacement entre les fenêtres optiques est fortement réduit, offrent une façon élégante d'étudier l'interaction lumière-atomes à l'échelle sub-longueur d'onde. Outre l'avantage de permettre l'étude spectroscopique de gaz en s'affranchissant de l'effet Doppler, celles-ci pourraient permettre, à l'aide d'atomes placés dans les états de Rydberg, la génération de photons uniques à température ambiante. Bien que les premières nanocellules aient été produites il y a une vingtaine d'années, cette production utilisait jusqu'à présent des procédés artisanaux comme le soufflage du verre, limitant fortement leur diffusion. Ainsi, très peu d'études quantitatives ont été réalisées tandis que leur caractérisation métrologique reste à faire.

Utilisant un premier prototype de nanocellule réalisé par procédé de microfabrication, cette thèse s'intéressera à l'étude métrologique d'un nuage atomique alcalin confiné à l'échelle sub-longueur d'onde. Cela passera simultanément par le développement d'un modèle théorique décrivant l'interaction lumière-matière à cette échelle et la réalisation d'études expérimentales à l'aide des prototypes fabriqués en salle

blanche. Les résultats de la confrontation théorie-expérience permettront de guider la réalisation d'une horloge atomique optique miniature dont le cœur sera une nanocellule microfabriquée.

Contexte partenarial (*cotutelle, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...*)

Cette thèse se déroulera entre les laboratoires ICB et FEMTO-ST. Le doctorant partagera son temps de travail sur les aspects de modélisation (ICB, Dijon) et sur les aspects expérimentaux (FEMTO-ST, Besançon).

Impacts (*scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)*

Les résultats de la confrontation théorie-expérience permettront de guider la réalisation d'une horloge atomique optique miniature dont le cœur sera une nanocellule microfabriquée.

Programme de travail du doctorant (*tâches confiées au doctorant*)

Calendrier de réalisation

La thèse comporte un volet théorique fait à l'ICB et un volet expérimental fait à FEMTO-ST. Le volet expérimental consiste en la caractérisation de la nanocellule récemment synthétisée (indice de réfraction, largeur, inhomogénéités) et la mesure de spectres de vapeurs alcalines. La partie théorique consiste en la modélisation de ces spectres à l'aide de données atomiques issues de la physique quantique, et en tenant compte de l'environnement très spécifique des nanocellules.

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse (*accompagnement humain, matériel, financier, en particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées*)

Unité Mixte de Recherche N°6303

