

## Référence optique ultra-stable à 1,56 $\mu\text{m}$ pour l'interférométrie atomique sur le rubidium

### Ultra-stable optical reference at 1,56 $\mu\text{m}$ for atom interferometry on Rubidium

**Porteur(s) :** S. Guellati-Khélifa (LKB)

**Partenaire(s) :** F. Pereira Dos Santos (SYRTE)

#### Résumé du projet en Français :

La mesure précise du rapport  $h/m$  ( $h$  : constante de Planck ;  $m$  : masse d'un atome de rubidium) présente un enjeu majeur pour la redéfinition du kilogramme. Elle permet de déterminer avec une très grande précision la valeur de la constante de structure fine  $\alpha$  et l'unité de masse unifiée  $m_u$  (définie par  $1/(N_A \times 10^3)$ ). Dans le cadre du futur système international d'unités, la constante de Planck  $h$  et la constante d'Avogadro  $N_A$  seront fixées. Les expériences pressenties pour la mise en pratique du kilogramme et pour assurer sa traçabilité à l'échelle microscopique sont la balance du watt et le projet Avogadro. Le rapport  $h/m_u$  est la grandeur physique permettant de comparer directement ces deux expériences.

Le rapport  $h/m$  est déterminé à partir de la mesure de la vitesse de recul d'un atome de rubidium dans une expérience d'interférométrie atomique. Il s'agit d'une mesure de décalage, lié à l'effet Doppler, sur les fréquences optiques des lasers Raman utilisés pour l'interférométrie atomique. Les mesures de fréquences optiques sont raccordées aux références absolues de fréquence du SYRTE via un lien fibrées.

L'objectif est de mesurer le rapport  $h/m$  avec une incertitude relative de  $10^{-10}$ . Ce gain de précision requiert la réalisation d'une nouvelle source laser pour l'interférométrie atomique des atomes de rubidium à 780 nm. Cette source laser sera réalisée à partir d'un laser télécoms émettant à 1,56  $\mu\text{m}$  amplifié, doublé et stabilisé en fréquence. Elle servira aussi de référence de fréquence locale pour asservir en phase le second laser de l'interféromètre atomique. Comparé aux diodes laser, ce système offre de nombreux avantages : excellente qualité spectrale, puissance élevée, robustesse, fiabilité.

En parallèle au développement de cette source laser, des améliorations seront apportées à l'expérience  $h/m$  en cherchant à réduire le bruit de phase et élargir les faisceaux laser de l'interféromètre atomique pour la mesure de la vitesse de recul. Ce nouveau système laser pourra aussi être utilisé à plus long terme pour mettre en œuvre une autre géométrie d'interféromètre atomique potentiellement plus sensible, utilisant des séparatrices atomiques à grand transfert d'impulsions.

#### Abstract in English:

Precise measurement of  $h/m$  ratio ( $h$ : Planck constant;  $m$ : mass of a rubidium atom) is a great stake for kilogram redefinition. It allows to determinate the value of the fine structure constant  $\alpha$  and the unified unit of mass  $m_u$  (defined by  $1/(N_A \times 10^3)$ ) with a large accuracy. In the framework of the future SI, Planck constant  $h$  and Avogadro constant  $N_A$  will be set. The experiments which are tipped for the "mise en pratique" of kilogram and to ensure traceability at microscopic scale are the watt balance and the Avogadro project. The  $h/m_u$  ratio is the physical quantity allowing to directly compare these two experiments.

The  $h/m$  ratio is determined by the measurement of the recoil velocity of a rubidium atom in an atom interferometer. It is a gap measurement linked to Doppler effect on optical frequencies of Raman lasers used for atom interferometry. The measurements of optical frequencies are linked to the absolute frequency references at SYRTE laboratory by fiber links.

The goal is to measure the  $h/m$  ratio with a relative uncertainty of  $10^{-10}$ . This gain in accuracy requires to set up a new laser source for atom interferometry of rubidium atoms at 780 nm. This laser source will be realised from telecom lasers at 1,56  $\mu\text{m}$  which are amplified, doubled and frequency stabilised. It will also be a local frequency reference to phase lock the second laser of the atom interferometer. Compared to laser diodes, this system has many advantages: excellent spectral quality, huge power, robustness and reliability.

In parallel, improvements on  $h/m$  experiments will be performed to reduce phase noise and to wide interferometric laser beams for recoil velocity measurement. To long term, this new laser system would be used to set up another atom interferometry geometry which could be more sensitive, using large transfer momentum beamsplitters.

### Résultats marquants :

L'installation de nouvelles sources laser sur l'expérience a permis d'améliorer la sensibilité de l'interféromètre atomique. Un travail important a été consacré à l'asservissement en phase des deux faisceaux lasers de l'interféromètre, nous avons notamment étudié l'effet du bruit de phase de l'amplificateur optique à fibre. La puissance disponible nous a permis d'élargir les waists des faisceaux lasers et d'étudier en détail l'effet des fluctuations d'intensité à courte échelle. Le résultat marquant est la compréhension de l'origine de l'effet systématique qui entache la mesure du rapport  $h/m$ .

### Highlights:

By implementing the new laser system for atom interferometry allow us to improve the sensitivity of the atom interferometer and to carried out a detailed study of the distortions of the wavefront at short scale. We have implemented a subtle phase-lock system in order to control in particular the phase noise induced by the fiber amplifier. The relevant result is the understanding of the systematic effect that limits the measurement of the ratio  $h/m$ .

### Publications and communications linked with the funded project:

#### Peer-reviewed articles:

- 1- Improving efficiency of Bloch oscillations in a tight binding limit, P. Cladé, M. Andia and S. Guellati-Khelifa Phys. Rev. A 95, 063604 (2017)
- 2- Precise determination of the ratio  $h/m_u$ : a way to link microscopic mass to the new kilogram, P. Cladé, F. Biraben, L. Julien, F. Nez and S. Guellati-Khelifa, Metrologia. 53, A75 (2016)  
Focus on Realization, Maintenance and Dissemination of the Kilogram
- 3- S. Bade, L. Djadaojee, M. Andia, P. Cladé and S. Guellati-Khelifa, submitted to Phys. Rev. Lett.

#### Proceedings:

H. Fleurbaey, C. Courvoisier, P. Cladé, S. Guellati-Khelifa, L. Julien, F. Biraben and F. Nez Contributions of fundamental constants from atomic physics to the redefinition of kilogram, Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", (2016).

#### Invited talks:

P. Cladé, M. Andia and S. Guellati-Khelifa

Frontiers of Matter Wave Optics (FOMO 2016), Arcachon, Bordeaux France.

S. Bade, L. Djadaojee, M. andia, P. Cladé, 24<sup>ème</sup> Congrès Général de la SFP s'est tenu du 3 au 7 juillet 2017, mini-colloque "Cohérence et contrôle quantiques: des Fondamentaux aux Applications"