

Réalisation d'un résonateur optique flattop pour l'interférométrie atomique

Realization of a flattop optical resonator for atom interferometry

Porteur(s) : R. Geiger (SYRTE)

Partenaire(s) : W. Chaibi (ARTEMIS)

Résumé du projet en Français :

L'interférométrie atomique connaît depuis quelques années des développements conséquents visant à réaliser des capteurs inertiels de plus grande précision. Ces capteurs inertiels à atomes froids présentent de nombreuses applications en navigation inertielle, en géosciences et en physique fondamentale. Une possibilité d'amélioration de la sensibilité de ces capteurs repose sur l'augmentation de leur facteur d'échelle lié à l'aire physique de l'interféromètre. Cette aire peut être augmentée en utilisant des séparatrices dites « multi-photoniques » pour les ondes atomiques, où l'impulsion de plusieurs photons est transférée à l'atome. L'efficacité de ce processus est en pratique limitée à deux photons en raison de la puissance optique nécessaire et des inhomogénéités d'intensité et de phase du faisceau. Dans ce projet, nous nous proposons de développer une cavité optique de grand gain optique (>100) résonante pour un mode dit « flattop », i.e. plat en intensité et en phase. Cette cavité permettra de réaliser des séparatrices à 20 photons pour les ondes atomiques, d'où une augmentation potentielle d'un facteur 10 de la sensibilité de l'interféromètre. Ces développements serviront l'amélioration générale de la sensibilité des interféromètres atomiques, et permettront de concevoir des capteurs inertiels compacts utilisant les séparatrices multi-photoniques en cavité. Ils aideront également à amener le niveau de sensibilité de détecteur d'ondes gravitationnelles basés sur l'interférométrie atomique au niveau requis.

Abstract in English:

Atom interferometry has been the subject of important developments in the last years in order to realize cold atom inertial sensors of higher precision. Such inertial sensors present various applications in inertial navigation, geosciences and fundamental physics. One possibility to enhance the sensitivity of such sensors relies on the increase of their scale factor linked to the interferometer physical area. This area can be enhanced by using multi-photon beam splitting optics for the atomic waves, where the momentum of several photons is transferred to the atom. The efficiency of such process is in practice limited to two photons because of the required optical power and the constraints on the inhomogeneities of the laser beam intensity and phase. In this project, we propose to develop an optical cavity of high optical gain (>100) which is resonant for a flattop mode, i.e. flat in intensity and phase. Such cavity will enable to realize 20 photon beam splitters for the atomic wave, yielding a potential 10-fold improvement of the sensitivity. Such developments will generally serve the improvement to the sensitivity of cold atom interferometers, and will allow to design compact sensors based on mutli-photon atom optics in a cavity. They will also help reaching the required sensitivity level of atom interferometers for gravitational wave detection.

Résultats marquants :

Nous avons conduit plusieurs simulations optiques de la cavité avec lentille afin d'en déterminer les modes résonants et de spécifier ses contraintes en termes d'alignement. Ces simulations ont permis de déterminer la géométrie de la cavité ainsi que ses principales caractéristiques. Une première série de simulations basées sur un calcul par matrices de transfert ABCD a permis d'étudier le comportement général de la cavité dégénérée, et d'étudier sa sensibilité aux désalignements longitudinaux. Une partie de ces résultats a été publié dans la référence [1] indiquée plus bas. Afin de comprendre l'influence d'autres défauts potentiels (désalignements transverses, défauts angulaires, défauts de surface des optiques), nous avons mené une simulation FFT du champ se propageant dans le résonateur. Nous avons dans un premier temps confirmé les résultats obtenus par le calcul par matrice ABCD. Nous avons ensuite étendu la simulation aux déplacements transverses.

Nous avons également amorcé l'étude de génération d'un faisceau top-hat (également dénommé flat-top). Nous avons fait le choix d'utiliser un modulateur spatial de lumière à cristaux liquides (LCOS-SLM), de marque Hamamatsu. Le principe est le suivant : un premier passage sur le SLM transforme le profil d'intensité gaussien en un profil d'intensité quasi-plat dans un plan, par une modulation de la phase spatiale du faisceau d'entrée. Le faisceau est alors top-hat dans un plan. Pour le collimater, il faut appliquer une nouvelle modulation de phase qui rend la phase du faisceau plate ; ceci est obtenu par un second passage sur le SLM.

Highlights:

We conducted several optical simulations of the lens cavity in order to determine the resonant modes and to specify its constraints in terms of alignment. These simulations made it possible to determine the geometry of the cavity as well as its main characteristics. A first series of simulations based on a ABCD transfer matrix calculation made it possible to study the general behavior of the degenerate cavity, and to study its sensitivity to longitudinal misalignments. Some of these results have been published in reference [1] below. To understand the influence of other potential defects (transverse misalignments, angular defects, optical surface defects), we conducted an FFT simulation of the field propagating in the resonator. We first confirmed the results obtained by the ABCD matrix calculation. We then extended the simulation to transverse displacements.

We also started the study of generating a top-hat beam (also called flat-top). We have chosen to use a Hamamatsu brand LCOS-SLM. The principle is as follows: a first pass on the SLM transforms the Gaussian intensity profile into an almost flat intensity profile in a plane, by a modulation of the spatial phase of the input beam. The beam is then top-hat in a plane. To collimate it, it is necessary to apply a new phase modulation which makes the phase of the beam flat; this is achieved by a second pass on the SLM.

Publications and communications linked with the funded project:

Peer-reviewed articles :

[1] Atom interferometry in a marginally stable optical resonator

I. Riou, N. Mielec, G. Lefèvre, M. Prevedelli, A. Landragin, P. Bouyer, A. Bertoldi, R. Geiger, B. Canuel
J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 50 155002 (2017), arXiv:1701.01473

Proceedings:

Studies of general relativity with quantum sensors

G. Lefevre, G. Condon, I. Riou, L. Chichet, M. Essayeh, M. Rabault, L. Antoni-Micollier, N. Mielec, D. Holleville, L. Amand, R. Geiger, A. Landragin, M. Prevedelli, B. Barrett, B. Battelier, A. Bertoldi, B. Canuel, P. Bouyer
Proceedings of the 52th Rencontres de Moriond, La Thuile (Italy), 18-25 March 2017 arXiv:1705.10475

Others:

Poster presentation of Nicolas Mielec at CLEO 2017 conference, München, Germany, 25-29/06/2017

A large mode optical resonator for enhanced atom interferometry

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):

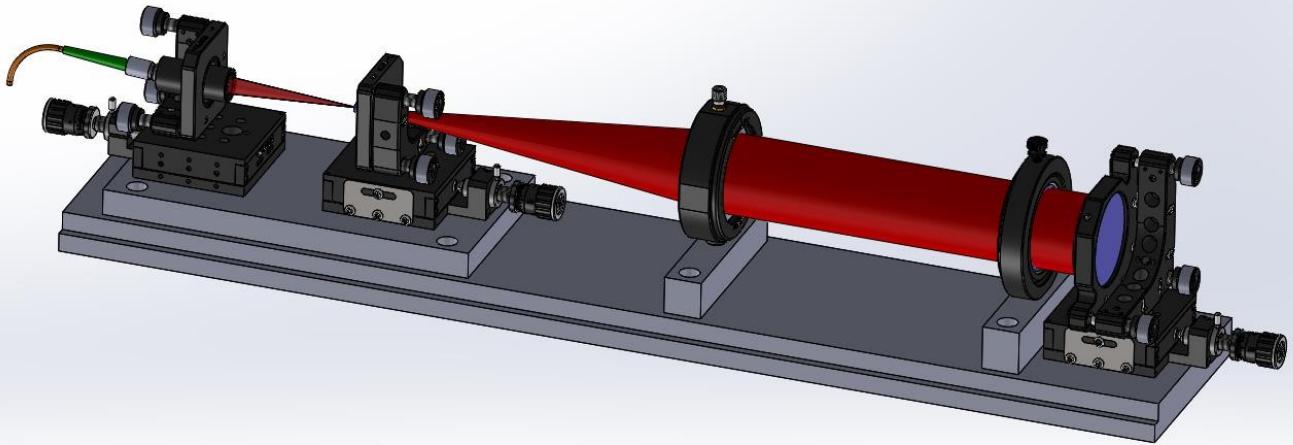


Figure 1 : Vue CAO du système de cavité optique. A gauche, l'optique d'injection créant un waist de $8 \mu\text{m}$ sur le premier miroir de la cavité. Au centre la monture de la lentille de focale 200 mm. A droite le miroir réfléchissant le gros faisceau (waist de 6 mm). Devant le miroir est prévu une monture pour une lame quart d'onde, non encore mise en place. Les miroirs sont montés sur des platines de translation et des tip-tilts.

Figure 1: Mechanical drawing of the optical cavity system.

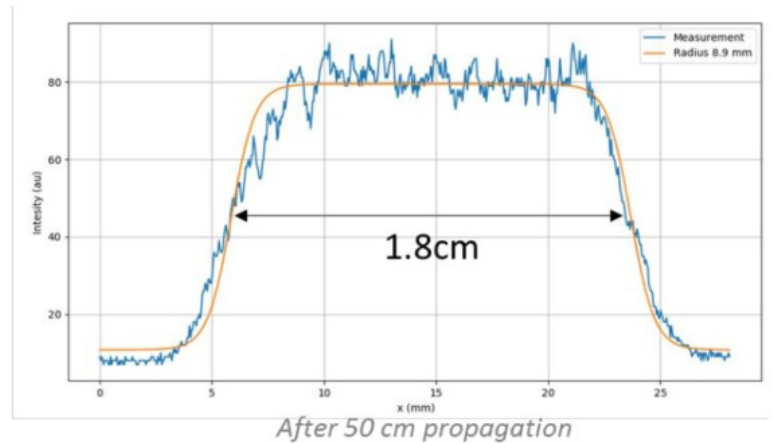
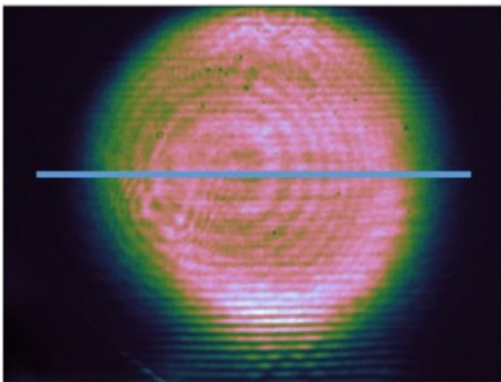


Figure 2 : résultat préliminaire de production d'un faisceau top-hat en espace libre, après double réflexion sur le SLM. La figure de droite est une coupe du faisceau de gauche suivant une direction.

Figure 2: preliminary results on the creation of a top-hat beam in free space, after a double reflection on a spatial ligh modulator. The right panel shows a cut of the left image along one direction.