
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

SYSTEMES LASERS POUR LES FUTURS DETECTEURS D'ONDES
GRAVITATIONNELLES

Auteur principal

Nom : Walid CHAIBI

Affiliation : Laboratoire ARTEMIS – Observatoire de la Côte d’Azur

Email et coordonnées : Laboratoire ARTEMIS – Observatoire de la Côte d’Azur

Co-auteurs (inclure aussi les collaborateurs internationaux si existants)

Margherita TURCONI - laboratoire ARTEMIS

Remi SOULARD - Laboratoire ARTEMIS

*Contribution à rédiger en français ou en anglais et à envoyer à PROSP2020-GT08-COPIL-L@IN2P3.FR
avant le **1^{er} novembre 2019***

1. Informations générales

Titre: Systèmes lasers pour les futurs détecteurs d'ondes gravitationnelles

Résumé

Les détecteurs d'ondes gravitationnelles de 2^{ème} et 3^{ème} générations sont limités par le bruit thermique interne aux miroirs dans la bande de fréquence [50-200 Hz] et par le « Shot Noise » dans la bande de fréquence [200 Hz-10kHz]. L'utilisation d'un laser de haute puissance dans un mode optique transverse d'ordre supérieur permet de réduire ces bruits simultanément. Avec la réduction des pertes mécaniques dans le traitement diélectriques des miroirs, la limite quantique standard devrait alors être atteinte.

Préciser le domaine technologique (plusieurs choix possibles)

- Détecteurs semi-conducteurs (Si, Ge, HgCdTe, Diamant...)
- Détecteurs gazeux (Micromegas, GEM, TPC...)
- Scintillateurs
- Photo-détecteurs (SiPM, PMT...)
- Détecteurs cryogéniques (KIDS, bolomètres...)
- Micro-électronique, Electronique Front End
- Acquisition de données, Temps réel
- Mécanique, intégration
- **Optique**

Préciser la motivation principale de recherche visée par la contribution :

- R&D Calorimétrie
- R&D Trajectographe
- R&D Identification de particules
- R&D Détection de neutrons
- **R&D Détection d'ondes gravitationnelles**
- R&D Détecteurs de neutrinos
- R&D Détection de gammas
- R&D Détecteurs imagerie médicale
- Autre R&D spécifique : (préciser)

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

Dans la seconde génération des détecteurs d'ondes gravitationnelles (Advanced Virgo), la sensibilité est limitée par le bruit thermique interne aux miroirs en moyenne fréquence [50Hz-200Hz] [1] et par le « shot noise » à haute fréquence [200Hz –10 kHz]. De Advanced Virgo (AdV) à l'Einstein Telescope (ET) et en passant par Advanced Virgo+ (AdV+), la réduction du « shot noise » se fait principalement par une augmentation substantielle de la puissance laser injectée qui doit gagner un ordre de grandeur pour atteindre 500W. L'augmentation de la puissance des lasers monomodes et mono-fréquence se fait suivant deux axes de recherche:

- *Le suivi de l'évolution technologique des fibres optiques dopées, principal composant des amplificateurs de haute puissance et la validation expérimental de leur intégration dans un système laser haute puissance et bas bruit [2].*
- *Le travail sur la sommation cohérente de deux ou de plusieurs faisceaux lasers générés à partir de plusieurs amplificateurs fibrés semblables [3].*

Le bruit thermique, quant à lui, est directement lié au facteur de qualité mécanique relativement bas du traitement diélectrique des miroirs. De par leur étalement plus large sur la surface des miroirs, les modes de propagation d'ordre supérieur ont une meilleure capacité de moyennage des modes mécaniques internes des miroirs baissant ainsi la limite du bruit thermique [4]. La génération des modes d'ordre supérieur se basant sur l'optique diffractive ainsi que leur compatibilité avec les cavités optiques ont déjà été démontrées pour les modes Hermite Gauss (HG) alors que les modes de Laguerre Gauss (LG) sont très sensibles aux distorsions surfaciques des miroirs [5]. Il s'agit maintenant de démontrer la possibilité de les générer en utilisant des lasers de haute puissance nécessaire à la réduction du « shot noise » limitant la sensibilité des détecteurs. Ainsi, la puissance laser initiale requise pour ET risque d'être supérieure à ce qui était initialement prévu. Ceci pose deux problématiques de nature différente et définissant ainsi deux axes de recherche disjoints et complémentaires:

- *Le rendement en termes de puissance du processus de génération de ces modes d'ordre supérieur qui doit être optimisé.*
- *La puissance laser initiale qui doit être la plus haute possible afin de compenser les pertes lors de la génération des modes d'ordre supérieur.*

L'augmentation de l'efficacité énergétique de la génération des modes d'ordre supérieur passe par : (i) l'optimisation du processus de diffraction ou (ii) le passage par la génération des modes LG qui se fait plus efficacement de par leur symétrie cylindrique.

Il est à noter que les modes d'ordre supérieur doivent également être appliqués aux modes quantiques compressés de la lumière utilisés pour la réduction du bruit quantique de pression de radiation.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs

Projet : Amélioration de l'efficacité énergétique de la génération des modes HG

Objectifs :

- 1- Conception des systèmes diffractifs et optiques correspondant pour une meilleure efficacité de transfert énergétique d'un mode gaussien fondamental en un mode HG (> 50%) tout en assurant une pureté du mode HG supérieure à 95%.

Période : 2020-2022

Coût : Equipement : 20 k€ ; Consommables : 20 k€ ; Ressources humaines : 60 k€

Financement possible : Région PACA

- 2- Validation de cette technique en utilisant des lasers de haute puissance

Période : 2023-2025

Coût : Equipement : 200 k€ ; Consommables : 50 k€ ; Ressources humaines : 120 k€

Financement possible : Europe - EGO ; Partenariat : EGO

Projet : Amplificateurs fibrés monomode et mono-fréquence de haute puissance.

Objectifs :

- 1- Validation des nouvelles fibres monomodes de large cœur et leur intégration dans des systèmes bas bruit. Puissance à atteindre 300 W.

Période : 2021-2023

Coût : Equipement : 150 k€ ; Consommables : 20 k€ ; Ressources humaines : 60 k€

Financement possible : ANR – EGO – AdV+ ; Partenariat : ALS et Alphanov (industriels)

- 2- Somme cohérente des deux lasers pour atteindre une puissance totale supérieure à 500 W.

Période : 2024-2025

Coût : Equipement : 300 k€ ; Consommables : 50 k€ ; Ressources humaines : 120 k€

Financement possible : EGO - Projet ET - Région

Projet : Génération de modes quantiques compressés et d'ordre supérieur transverse.

Objectifs : Concevoir un « squeezer » en mode d'ordre supérieur dépendant de la fréquence et valider expérimentalement son principe.

Période : 2025-2030

Coût : Equipement : 200 k€ ; Consommables : 100 k€ ; Ressources humaines : 200 k€

Financement possible : ANR – Europe

4. Impact

Néant

5. Références

- [1] Classical and Quantum Gravity **19**, 897 (2002).
- [2] Appl. Phys. B **124**, 114 (2018).
- [3] Optics Letters **41**,5817 (2016).
- [4] Phys. Rev. D **82**, 042003 (2010).
- [5] arXiv:1902.01671