
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

EFFETS OPTO-MECANIKES DANS LES DETECTEUR D'ONDES
GRAVITATIONNELLES

Auteur principal

Nom : Walid CHAIBI

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

Email et coordonnées : mél : chaibi@caoe.eu Tél : 04 92 00 31 84

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 : Effets opto-mécaniques dans les détecteur d'ondes gravitationnelles

Acronyme : Néant

Résumé (max. 600 caractères espaces compris)

A cause d'une augmentation substantielle de la puissance laser, les futures générations des détecteurs terrestres d'ondes gravitationnelles voient apparaître des phénomènes opto-mécaniques jusque-là négligeable ou inexistant. Deux phénomènes sont susceptibles de limiter leur sensibilité : (i) le bruit quantique de pression de radiation résultant d'un couplage entre les fluctuations quantiques de la lumière et le mouvement longitudinal des miroirs (ii) Les instabilités paramétriques résultant d'une amplification paramétrique des modes mécaniques internes des miroirs par pression de radiation.

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, integration
- **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

Au-delà des développements techniques et technologiques des détecteurs terrestres d'ondes gravitationnelles, l'augmentation de la sensibilité à haute fréquence (> 200 Hz) passe par une augmentation substantielle de la puissance laser injectée afin de réduire le « Shot Noise ». A titre d'exemple, la puissance laser doit gagner un ordre de grandeur pour atteindre 200W pour le projet Advanced Virgo + (AdV+) puis 500W pour le projet Einstein Telescope (ET). Ceci augmente la pression de radiation que subissent les miroirs suspendus et par conséquent les effets opto-mécaniques qui sont susceptibles de limiter la sensibilité du détecteur voir d'empêcher son fonctionnement. Les deux effets principaux sont :

- *Le bruit quantique de pression de radiation qui consiste en un couplage opto-mécanique entre les fluctuations quantiques des champs électromagnétiques introduits dans l'interféromètre et le mouvement longitudinal des miroirs [1].*
- *Les instabilités paramétriques résultant d'une amplification des vibrations internes des miroirs initialement excités de manière thermique puis amplifié par la pression de radiation des modes optiques d'ordres supérieurs diffusé par les mêmes modes de vibration [2].*

Ces phénomènes ont déjà été observés sur des oscillateurs nanométriques [3] ou des systèmes de dimensions kilométriques [4] semblables à celle des détecteurs d'ondes gravitationnelles. La dimension de ces systèmes fixe néanmoins la plage de fréquence sur laquelle ces phénomènes sont observés.

Au laboratoire ARTEMIS, une activité de recherche a vu le jour il y a quelques années dont le but est de construire des oscillateurs opto-mécaniques de basse fréquence de résonance et de haut facteur de qualité mécanique. Il s'agit dans le futur d'inclure ces oscillateurs mécaniques dans des interféromètres optiques de grande sensibilité afin d'étudier ces phénomènes et tester différentes méthodes pour les contrôler ou les réduire :

- *Un interféromètre de Michelson Faby-Perot pour l'observation du bruit quantique de pression de radiation sur la bande de fréquence 10Hz-1kHz. L'injection d'états comprimés de la lumière (« squeezed states ») permettrait la réduction de ce bruit.*
- *Une cavité optique de finesse moyenne (50000) interrogé par un laser monomode et mono-fréquence de haute puissance afin d'excité les instabilités paramétriques. L'utilisation de lasers auxiliaires permettrait par pression de radiation de dissiper l'énergie de ces instabilités et ainsi limiter leurs effets.*

Ce programme de recherche s'accompagne de plusieurs travaux de simulation mécaniques et optiques aussi bien lors de la conception des dispositifs expérimentaux que lors de l'interprétation et l'analyse des phénomènes observés.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs

Projet : observation du bruit quantique de pression de radiation.

Objectifs :

- 1- Construction d'un interféromètre mettant en évidence le bruit quantique de pression de radiation dans une bande de fréquence semblable à celle des détecteurs d'ondes gravitationnelles.

Période : 2020-2025

Coût : Equipement : 80 k€ ; Consommables : 20 k€ ; Ressources humaines : 200 k€

Financement possible : ANR - Région PACA

- 2- Injection d'états compressés de la lumière afin de dépasser la limite quantique standard.

Période : 2025-2030

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

Financement possible : Europe ; Partenariat : LAL – EGO

Projet : Mise en évidence et contrôle des instabilités paramétriques.

Objectifs :

- 1- Construction d'une cavité optique de moyenne finesse permettant la mise en évidence des instabilités paramétriques. Contrôle des instabilités à l'aide de lasers auxiliaires.

Période : 2020-2023

Coût : Equipement : 200 k€ ; Consommables : 40 k€ ; Ressources humaines : 200 k€

Financement possible : ANR

- 2- Installation du système de contrôle sur Virgo

Période : 2024-2025

Coût : Equipement : 100 k€ ; Consommables : 20 k€ ; Ressources humaines : 120 k€

Financement possible : Projet AdV+

4. Impact (1/2 page max.) (optionnel)

Néant

5. Références

- [1] Phys. Rev. Lett. **45**, 75 (1980).
- [2] Phys. Rev. Lett. **114**, 16 (2015).
- [3] Science **339**, 801 (2013).
- [4] PhysRevA. **91**, 033832 (2014).