

Accrochage de fréquence dans un laser à fibre à respiration: observation de l'arbre de Farey et de l'escalier du diable

Xiuqi Wu (1) , Ying Zhang (1) , Junsong Peng (1) , Sonia Boscolo (2) , Christophe Finot (3) , Heping Zeng (1)

1 State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University, Shanghai, China

2 AIPT - Aston Institute of Photonic Technologies, Aston University, Birmingham, United Kingdom

3 ICB - Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Université de Bourgogne – Franche-Comté, Dijon, France

Abstract :

Contrairement au soliton brillant, les solitons à respiration présentent un comportement oscillatoire périodique. L'utilisation des fibres optiques a grandement facilité leur observation: l'interaction sur une grande distance entre la non-linéarité Kerr et la dispersion, en la quasi-absence de dissipation a ainsi permis la caractérisation fine des solitons à respiration d'Akhmediev, de Ma ou bien encore de leur cas limite, le soliton de Peregrine. Grâce au développement des techniques de détection en temps réel, les cavités laser à fibre offrent une autre plateforme extrêmement intéressante. Dans le contexte des lasers ultrarapides à modes bloqués, la génération d'impulsions à respiration constitue un mode de fonctionnement alternatif [1,2] au cas bien répandu où une impulsion aux propriétés toujours identiques est émise à chaque tour de cavité. L'excitation des solutions à respiration déclenche donc spontanément l'émergence d'une seconde fréquence caractéristique dans le système. Cette deuxième fréquence sera plus faible que la fréquence associée à la cavité, i.e. la fréquence de répétition. Or les systèmes non linéaires à deux fréquences concurrentes peuvent conduire à un verrouillage de fréquence, conduisant à une réponse périodique résonante avec un rapport de fréquence rationnel [3]. Bien que les phénomènes de verrouillage de fréquence aient fait l'objet d'études théoriques et expérimentales approfondies dans de nombreux systèmes physiques, y compris les lasers à semi-conducteurs dans le domaine de l'optique, les recherches menées jusqu'à présent concernent essentiellement des systèmes dans lesquels une modulation externe, contrôlable avec précision, ajoute une nouvelle fréquence caractéristique au système. Le cas d'une seconde fréquence émergeant naturellement a par contre été très peu discuté. Cela s'explique en grande partie par la difficulté expérimentale d'atteindre de manière précise ces régimes à respiration. Pour simplifier cette tâche laborieuse, nous avons mis en place une approche d'apprentissage automatique basée sur l'utilisation d'un algorithme évolutionnaire pour l'optimisation de la fonction de transfert non linéaire intra-cavité [4]. Nous démontrons alors qu'un laser à fibre verrouillé par un mode de respiration est un système montrant un verrouillage de fréquence [5]. Ces états sont caractérisés par une robustesse à la variation des paramètres (puissance de pompage et polarisation) et un rapport signal/bruit nettement amélioré. Ils se produisent dans l'ordre où ils apparaissent dans l'arbre de Farey et dans un intervalle de puissance de pompage donné par la largeur de la marche correspondante dans l'escalier du diable.

[1] J. Peng, S. Boscolo, Z. Zhao, H. Zeng, *Sci. Adv.* 5 (2019), eaax1110.

[2] J. Peng et al., *Laser Photon. Rev.* 15 (2021), 2000132.

[3] M.H. Jensen, P. Bak, T. Bohr, *Phys. Rev. Lett.* 50 (1983), 1637.

[4] X. Wu et al., *Laser Photon. Rev.* 16 (2), 2100191

[5] X. Wu et al., *Nat. Commun.* 13 (1), 5784