

Accrochage de fréquence sans accrochage de phase de deux modes laser couplés

Jérémy Thévenin¹, Marco Romanelli¹, Marc Brunel¹, Marc Vallet¹, et Thomas Erneux²

¹ Institut de Physique de Rennes, UMR CNRS 6251, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes Cedex, France

² Université Libre de Bruxelles, Optique Non Linéaire Théorique, Campus Plaine, CP 231, 1050 Bruxelles, Belgique

marco.romanelli@univ-rennes1.fr

La tendance des oscillateurs couplés à se verrouiller sur une fréquence commune est observée dans un grand nombre de systèmes, comme les oscillateurs biologiques, les réactions chimiques, les oscillateurs électriques, les lasers, etc. [1]. Quand l'amplitude des oscillations est constante, on peut souvent modéliser le système avec l'équation d'Adler :

$$\frac{\dot{\Phi}}{2\pi} = \Delta\nu - f_A \sin \Phi, \quad (1)$$

où Φ est la phase relative entre les oscillateurs, $\Delta\nu$ le désaccord entre leur fréquences propres, et f_A l'intensité du couplage, ramenée à une fréquence.

L'éq. 1 montre que le comportement de deux oscillateurs couplés est déterminée par le rapport $\Delta\nu/f_A$. Si $|\Delta\nu/f_A| \leq 1$, l'éq. 1 admet une solution stationnaire stable, ce qui signifie que les phases des deux oscillateurs se verrouillent. Au contraire, si $|\Delta\nu|$ est supérieur à f_A , les deux oscillateurs ne parviennent pas à se synchroniser, et leur phase relative croît indéfiniment. Ce comportement simple est bien vérifié, par exemple, par deux lasers de classe A couplés, dans les limites de couplage et désaccord faibles [2]. D'autre part, des analyses théoriques [3,4] ont montré que, pour des lasers de classe B couplés, l'amplitude des oscillations ne peut plus être évacuée du problème. Il en résulte une dynamique bien plus complexe, et, en particulier, un régime intermédiaire entre l'accrochage de phase et le décrochage pur et simple apparaît, pour certaines valeurs des paramètres. Dans ce régime, la phase relative n'est pas stationnaire, cependant elle reste bornée. Cela implique que les oscillateurs ont la même fréquence moyenne, c'est pourquoi nous parlons d'accrochage de fréquence sans accrochage de phase. Ce régime de synchronisation n'est pas spécifique aux lasers (il a été prédit également pour des oscillateur de van der Pol couplés [5]), mais, à notre connaissance, aucune observation expérimentale d'un tel comportement n'avait été reportée.

Nous avons réalisé une expérience permettant d'observer l'accrochage de fréquence sans accrochage de phase [6]. Nous avons mesuré la phase relative entre deux modes laser couplés par rétroaction optique et trouvé que, pour $\Delta\nu > f_A$, elle demeure bornée ; la plage de synchronisation s'étend ainsi au-delà de f_A , même s'il s'agit d'une synchronisation "imparfaite". Expérimentalement, l'accrochage de fréquence sans accrochage de phase apparaît lorsque $\Delta\nu \simeq f_R$, où f_R est la fréquence des oscillations de relaxation caractéristique des lasers de classe B [2]. Près de la résonance, les modes laser sont très sensibles au couplage, et par conséquent on observe la synchronisation pour des taux de couplage extrêmement faibles (la puissance réinjectée d'un mode vers l'autre vaut environ 10^{-5} en valeur relative).

Références

1. A. Pikovsky, M. Rosenblum, and J. Kurths, *Synchronization : a universal concept in nonlinear sciences*, (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2001).
2. T. Erneux and P. Glorieux, *Laser Dynamics*, (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2010).
3. P. A. Braza and T. Erneux, *Phys. Rev. A* **41**, 6470 (1990).
4. M. K. Stephen Yeung and S. H. Strogatz, *Phys. Rev. E* **58**, 4421 (1998).
5. R. E. Kronauer, C. A. Czeisler, S. F. Pilato, M. C. Moore-Ede, et E. D. Weitzman, *Am. J. Physiol.* **242**, R3 (1982) ; T. Chakraborty and R. H. Rand, *Int. J. Non-Linear Mech.* **23**, 369 (1988).
6. J. Thévenin, M. Romanelli, M. Vallet, M. Brunel, et T. Erneux, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 104101 (2011).