

Signature expérimentale de la thermalisation d'une onde optique lors de la génération de supercontinuum

Benoît Barviau, Bertrand Kibler, & Antonio Picozzi

ICB. Institut Carnot de Bourgogne UMR 5209 CNRS, 9 av. Alain Savary 21078 Dijon CEDEX
benoit.barviau@u-bourgogne.fr

L'évolution d'un système Hamiltonien d'ondes aléatoires est généralement caractérisée par un processus de thermalisation. Par analogie avec la théorie cinétique des gaz, cet effet se manifeste par une évolution irréversible du spectre de l'onde vers un état d'équilibre thermodynamique, i.e. le spectre de Rayleigh-Jeans (RJ). La théorie cinétique de turbulence faible donne une description détaillée de cet effet de thermalisation d'ondes incohérentes [1]. En dépit de son importance, ce phénomène irréversible n'a pas fait l'objet d'une étude expérimentale approfondie, essentiellement en raison du fait que l'effet de thermalisation est prédit dans un système Hamiltonien (formellement réversible) qui néglige les effets dissipatifs inhérents à tout système physique réel. Nous étudions théoriquement et expérimentalement la thermalisation d'ondes optiques dans le cadre de la *génération de supercontinuum* (SC) dans des fibres optiques microstructurées [2]. Cet effet se caractérise par un élargissement dramatique du spectre de l'onde lors de son passage dans un milieu de type Kerr [2]. Nous montrons que, dans certaines conditions, cette conversion de lumière cohérente ('laser') en lumière blanche résulte de la thermalisation naturelle du champ optique vers l'état d'entropie maximale, comme décrit par l'analogie du théorème H de Boltzmann.

La propagation de lumière incohérente dans une fibre optique est relativement bien décrite par l'équation Hamiltonienne de Schrödinger non linéaire *généralisée* (NLSG) [2],

$$\frac{\partial \Psi(z, t)}{\partial z} = i \sum_{j \geq 2} \frac{i^j \beta_j}{j!} \frac{\partial^j \Psi(z, t)}{\partial t^j} + i\gamma \left[1 + i\tau_s \frac{\partial}{\partial t} \right] |\Psi(z, t)|^2 \Psi(z, t). \quad (1)$$

Les simulations numériques de l'Eq.(1) révèlent, dans certaines conditions, une *thermalisation de l'onde vers un état d'équilibre caractérisé par un spectre à double pic* [3], ce qui le distingue du spectre Lorentzien (RJ) usuel de l'équation NLS non généralisée [1]. Sur la base de la théorie cinétique, nous avons dérivé une équation cinétique à partir de l'Eq.(1) qui décrit une évolution irréversible de l'onde vers le spectre d'équilibre suivant :

$$n^{eq}(\omega) = \frac{T(1 + \tau_s \omega)}{k(\omega) + \lambda \omega - \mu}, \quad (2)$$

où T et μ sont la température et le potentiel chimique de l'onde, $k(\omega) = \sum_{j \geq 2} \beta_j \omega^j / j!$ étant la relation de dispersion de l'Eq.(1). Ce spectre est en accord quantitatif avec les simulations de (1) sans l'utilisation de paramètres ajustables [3]; T , λ et μ étant déterminés à partir de la conservation de l'énergie E , de la quantité de mouvement P et de la puissance N (nombre de particules).

L'expérience a été réalisée dans une *fibre optique microstructurée* présentant deux zéros de dispersion. Sa longueur a été diminuée progressivement par découpes successives, ce qui a permis d'identifier une signature de l'effet de thermalisation de l'onde. Un accord qualitatif a été obtenu avec la théorie cinétique sur une largeur spectrale de l'ordre de 150 THz (i.e. de 850 nm à 1450 nm) [3].

Références

1. V. Zakharov, V. L'vov and G. Falkovich, *Kolmogorov Spectra of Turbulence I* (Springer, Berlin, 1992).
2. J.M. Dudley, G. Genty and S. Coen, "Supercontinuum generation in photonic crystal fiber," *Rev. Mod. Phys.* **78**, 1135 (2006).
3. B. Barviau, B. Kibler, S. Coen et A. Picozzi, "Toward a thermodynamic description of supercontinuum generation," *Optics Letters* **33**, 2833 (2008); B.Barviau *et al.*, "Experimental signature of optical wave thermalization through supercontinuum generation," soumis à *Optics Express* (2008).