

Thermalisation de paquets d’ondes incohérents

Lagrange Silvère, Pitois Stéphane, Jauslin Hans Rudolf, Picozzi Antonio

Institut Carnot de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, 21078 Dijon Cedex

Silvère.Lagrange@u-bourgogne.fr

Nous montrons théoriquement et expérimentalement qu’un ensemble de paquets d’ondes non-linéaires et incohérents évolue irréversiblement vers un état d’équilibre, dans lequel les paquets d’ondes se propagent tous avec une même vitesse de groupe. Nous démontrons que ce résultat peut être expliqué à l’aide d’arguments thermodynamiques basés sur la théorie cinétique des ondes.

On considère M paquets d’ondes incohérents dont l’évolution des amplitudes A_j peut être décrite par un ensemble de M équations (Hamiltoniennes) de Schrödinger non-linéaires (NLS) couplées :

$$i(\partial_z + u_j^{-1}\partial_t)A_j = -\alpha_j\partial_{tt}A_j + \gamma_j(|A_j|^2 + \kappa\sum_{i\neq j}|A_i|^2)A_j \quad j = 1, \dots, M \quad (1)$$

Les paramètres u_j , α_j et γ_j représentent respectivement la vitesse de groupe, la dispersion de vitesse de groupe et le coefficient non-linéaire du paquet d’ondes A_j , κ désignant le rapport entre les coefficients d’auto-modulation de phase et de modulation de phases croisées.

Dans le régime de propagation linéaire ($\gamma_j = 0$), les paquets d’ondes A_j se propagent avec des vitesses de groupes u_j distinctes. En présence d’un couplage non-linéaire, les simulations numériques montrent que les fréquences porteuses des ondes incohérentes se décalent et tendent rapidement vers des valeurs particulières ω_j^{eq} . En raison de la dispersion de vitesse de groupe, ce décalage fréquentiel est associé à une variation de vitesse de groupe des ondes. Le résultat inattendu est que les fréquences ω_j^{eq} sont sélectionnées de telle sorte que les paquets d’ondes se propagent avec une même vitesse de groupe v^{eq} .

Nous avons montré que ce phénomène peut être décrit par la théorie cinétique de la turbulence faible [1]. Cette théorie prédit une évolution irréversible du spectre de l’onde vers un état d’équilibre thermodynamique. Cette évolution étant caractérisée par une croissance monotone de l’entropie hors-équilibre de l’onde, c’est l’analogie du théorème H de la théorie cinétique des gaz. Nous avons appliqué cette théorie à l’équation (1) et avons démontré que, quelles que soient les vitesses de groupes initiales u_j , chaque paquet d’ondes A_j évolue irréversiblement vers un spectre d’équilibre n_j^{eq} centré en ω_j^{eq} [2]. Il s’ensuit que tous les paquets d’ondes se propagent avec une vitesse de groupe unique v^{eq} . La distribution $n_j^{eq}(\omega)$ peut ainsi être considérée comme un “attracteur statistique” pour le système Hamiltonien décrit ici. Nous avons obtenu des expressions analytiques de ω_j^{eq} et de v^{eq} en accord quantitatif avec les simulations numériques des équations (1).

Nous avons observé expérimentalement cet effet dans une fibre optique fortement biréfringente. Il est connu que la propagation des deux états de polarisation orthogonaux A_1 et A_2 dans la fibre est bien décrite par deux équations NLS couplées (Eq.(1) pour $M = 2$). A faible puissance, les deux ondes incohérentes interagissent peu ($\gamma_j \simeq 0$). Lorsque la puissance augmente, les deux ondes sont couplées par l’effet de polarisation non-linéaire (effet Kerr optique). Dans ce cas, nos mesures expérimentales révèlent que les deux ondes tendent à se propager avec la même vitesse de groupe, en accord avec la théorie [2].

Il semble que cet effet soit un phénomène générique pour les ondes non-linéaires incohérentes dispersives. Nous l’avons en effet étendu à des systèmes multidimensionnels et à des interactions quadratiques.

Références

1. V. ZAKHAROV ET AL, *Kolmogorov Spectra of Turbulence* Springer, Berlin (1992).
2. S. PITOIS, S. LAGRANGE, H. R. JAUSLIN ET A. PICOZZI, Velocity locking of incoherent nonlinear wave packets, *Physical Review Letters*, **97**, 033902(2006).