

# Condensation d'ondes classiques en fibre optique multimode

K. Baudin<sup>1,2</sup>, A. Fusaro<sup>2,3</sup>, J. Garnier<sup>1</sup>, K.Krupa<sup>2,4</sup>, I. Carusotto<sup>5</sup>, S. Rica<sup>6</sup>, G. Millot<sup>2</sup>, A. Picozzi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CMAP, CNRS, Ecole Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris - 91128 Palaiseau Cedex, France

<sup>2</sup> ICB, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté - Dijon, France

<sup>3</sup> CEA, DAM, DIF - F-91297 Arpaçon, France

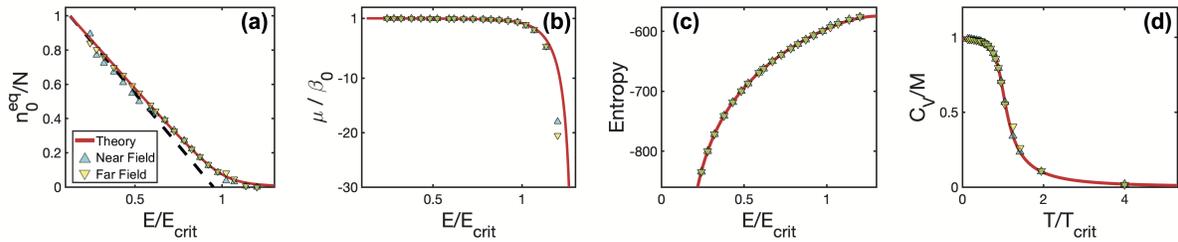
<sup>4</sup> Institute of Physical Chemistry Polish Academy of Sciences - 01-224 Warsaw, Poland

<sup>5</sup> INO-CNR BEC Center and Dipartimento di Fisica, Università di Trento - I-38123 Povo (TN), Italy

<sup>6</sup> Universidad Adolfo Ibañez - Peñalodén, 7910000 Santiago, Chile

kilian.baudin@polytechnique.edu

Des études théoriques en turbulence d'ondes ont montré que des ondes classiques aléatoires peuvent exhiber un processus de condensation [1]. Par ailleurs, un effet remarquable de nettoyage de faisceau optique a récemment été découvert dans les fibres optiques multimodes (FOM) [2], dont le mécanisme sous-jacent reste mal compris. Dans le cadre de la théorie de turbulence d'ondes, nous avons dérivé une équation cinétique qui prend en compte le désordre structurel inhérent à la propagation de la lumière dans les FOMs, ce qui décrit l'effet de nettoyage de faisceau comme un effet de condensation dans le mode fondamental de la fibre [3]. Nous reportons ici l'observation de la condensation de lumière, qui résulte de la thermalisation vers l'état d'équilibre de Rayleigh-Jeans (RJ) [4]. En diminuant l'énergie en-dessous de la valeur critique  $E_{\text{crit}}$ , le potentiel chimique tend vers le niveau d'énergie fondamental  $\mu \rightarrow \beta_0$  : le dénominateur de la distribution de RJ s'annule et la singularité se régularise par une population macroscopique du mode fondamental (Fig. 1(a-b)). Alors que la chaleur spécifique  $C_V \rightarrow M$  dans l'état condensé (comme attendu par l'équipartition d'énergie parmi les  $M$  modes de la FOM), pour  $T > T_{\text{crit}}$  on observe  $C_V \rightarrow 0$  (Fig. 1(d)), propriété qui résulte du nombre fini de modes du système [4]. D'autres expériences récentes corroborent l'observation de thermalisation de lumière dans les FOMs [5,6].



**Figure 1.** Mesures expérimentales de la fraction de puissance condensée dans le mode fondamental  $n_0^{\text{eq}}/N$  vs l'énergie  $E/E_{\text{crit}}$  (a), le potentiel chimique  $\mu$  vs  $E/E_{\text{crit}}$  (b), l'entropie vs  $E/E_{\text{crit}}$  (c), la chaleur spécifique  $C_V/M$  vs température  $T/T_{\text{crit}}$  (d) déterminées par les intensités en champ proche (triangle bleu), et en champ lointain (triangle jaune). Les lignes rouges reportent la théorie de RJ à l'équilibre ( $E_{\text{crit}}, T_{\text{crit}}$  étant les valeurs critiques de la transition vers l'état condensé). La ligne noire hachurée en (a) reporte la transition de phase de condensation dans la limite thermodynamique. Voir référence [4] pour les détails de l'expérience.

## Références

1. S. Nazarenko, *Wave Turbulence* (Lectures Notes in Physics, New-York, Springer, 2011).
2. K. KRUPA & AL, *Nature Photonics*, **10**, 771 (2017).
3. A. FUSARO & AL, *Phys. Rev. Lett.*, **122**, 123902 (2019).
4. K. BAUDIN & AL, *Phys. Rev. Lett.*, **125**, 244101 (2020).
5. H. POURBEYRAM & AL, arXiv :2012.12110 ;
6. F. MANGINI & AL, arXiv :2111.08063.