

Master 2 - Stage de recherche

Proposition de stage			
Date de la proposition : 10/10/2023			
Responsable du stage:			
Nom/name :	Bouchoule	Prénom/firstname	Isabelle
Tel :	01 64 53 33 38	fax :	
Courriel/Mail :	isabelle.bouchoule@institutoptique.fr		
Nom du laboratoire: Laboratoire Charles Fabry			
Code d'identification :	UMR8501	Organisme :	Institut d'Optique
Site internet :	https://www.lcf.institutoptique.fr/groupe-de-recherche/gaz-quantiques/experiences/degenerate-gases-atom-chips		
Adresse :	Institut d'Optique, 2 av. Augustin Fresnel, 91 127 Palaiseau Cedex		
Lieu du stage :	Institut d'Optique		

Titre du stage/title : Durée de vie des phonons dans les gaz de Bosons unidimensionnels
--

Décrire la dynamique hors équilibre d'un système quantique à N corps est a priori une tâche extrêmement ardue. Dans le cas de fluctuations à grande échelle et de petite amplitude, une description en terme de phonons, qui ne sont rien d'autre que des ondes sonores, est cependant une approche simplifiée qui permet de rendre compte de nombreux phénomènes. Dans cette description, les phonons sont indépendants les uns des autres et ont une durée de vie infinie. Cette description permet de calculer des fonctions de corrélation à l'équilibre thermique, comme les fluctuations de densité ou la distribution d'impulsion des particules. Elle décrit aussi très bien la dynamique à temps court, comme l'ont montré des expériences réalisées avec des atomes froids.

Au-delà de l'approche simplifiée, des termes de couplage entre phonons sont présents. Ces termes induisent à temps long un amortissement des phonons. Corrélativement, ils ont aussi un impact sur les fluctuations présentes dans le système à l'équilibre, induisant un élargissement en fréquence du facteur de structure dynamique.

Pour effectuer des prédictions sur l'amortissement des phonons, il est nécessaire de revenir à la théorie microscopique du gaz. Lors de ce stage nous considérerons le cas d'un gaz de Bosons en interaction faible. Dans ce cas, la description en terme de phonons est obtenue par un développement quadratique du Hamiltonien et une transformation de Bogoliubov. Les couplages entre phonons sont décrits par les termes d'ordre supérieur du Hamiltonien. Les processus dominants sont des processus à 3 phonons et, à température finie, l'amortissement des phonons de grande longueur d'onde est dominé par un processus de Landau faisant intervenir un phonon peuplé thermiquement. Pour des gaz en dimension 2 et 3, la règle d'or de Fermi permet de calculer le taux d'amortissement induit par les processus de Landau.

Les calculs simples utilisant la règle d'or de Fermi ne peuvent cependant pas être étendus au cas unidimensionnels. Ils conduiraient à une divergence car tous les processus à 3 phonons sont résonnants. L'amortissement des phonons dans cette géométrie est un sujet encore débattu. D'une part, une approche basée sur un calcul perturbatif mais prenant en compte des termes non perturbatifs par méthode auto-cohérente^[1] prédit un taux d'amortissement pour un phonon de vecteur d'onde k proportionnel à $k^{3/2} \sqrt{k_B T / (mn)}$, où T est la température du gaz, n la densité linéaire de particules et m la masse des particules. Cette prédiction est confirmée par un calcul numérique du facteur de structure dynamique^[2] et il a été proposé que la physique sous-jacente soit celle des processus stochastiques de type Kardar-Parisi-Zhang (KPZ). D'autre part, un calcul récent utilisant la règle d'or de Fermi mais prenant en compte la non-linéarité de la relation de dispersion prédit un taux d'amortissement suivant une loi d'échelle différente^[3], ce calcul ayant aussi été confirmé par des simulations numériques.

Le but de ce stage est de résoudre la contradiction entre les différents résultats publiés. Pour cela, nous étudierons les domaines de validité des différentes prédictions, de façon à réconcilier les différentes approches. L'étude sera basée sur des considérations théoriques mais aussi sur des calculs numériques. Pour les calculs numériques nous utiliserons, comme dans les publications citées ci-dessus, un modèle de champ classique qui décrit correctement les excitations de grande longueur d'onde du gaz en interaction faible à température finie. Le stage, effectué au LCF, sera effectué en collaboration avec Jacopo De Nardis, du laboratoire LPTM, Cergy-Paris université, théoricien spécialiste notamment de l'hydrodynamique généralisée pour les systèmes unidimensionnels, et des processus de type KPZ.

[1] A.F. Andreev, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **78**, 2064 (1980)
 [2] M. Kulkarni and A. Lamacraft, Phys. Rev. A **88**, 021603 (2013)
 [3] A. Micheli and S. Robertson, Phys. Rev. B **106**, 214528 (2022)

Ce stage pourra-t-il se prolonger en thèse ? Possibility of a PhD ? : OUI			
Si oui, financement envisagé / financial support for the PhD:			OUI
Laser, optique, matière :	×	Lumière, Matière, Interactions	×