

CONTRATS DOCTORAUX 2025 PROJET QUANTEDU

Sujet de thèse – Laboratoire de Physique des Lasers

Sujet : Excitations solitoniques au sein d'un gaz de Bose unidimensionnel

Directrice de thèse : Hélène Perrin

Co-encadrant : Aurélien Perrin

La simulation de systèmes quantiques à N corps est un défi majeur à l'heure actuelle. La complexité du problème croît de façon exponentielle avec le nombre de particules ce qui rend les ordinateurs classiques inadaptés pour calculer les propriétés ou l'évolution temporelle de tels systèmes. Le développement de simulateurs quantiques analogiques est une approche crédible pour dépasser cette limitation. Parmi les systèmes à N corps, les systèmes unidimensionnels sont particulièrement intéressants dans la mesure où ils sont bien souvent à la frontière de ce qui peut encore être traité numériquement au moyen d'un ordinateur classique. Ils peuvent donc permettre un étalonnage précis des simulateurs quantiques reposant sur des plateformes expérimentales en comparant les observations avec les prédictions théoriques obtenues numériquement.

Dans ce contexte, l'équipe BEC du laboratoire de physique des lasers (LPL) a construit un dispositif expérimental permettant l'obtention de gaz dégénérés de sodium piégés dans des potentiels très anisotropes et rendant accessible l'étude de la physique des gaz de Bose unidimensionnels (1D). Le confinement est obtenu au moyen de champs magnétiques produits à l'aide d'une puce à atomes. Actuellement, l'équipe travaille à l'ajout d'un potentiel optique dont les caractéristiques spatiales sont définies à l'aide d'une matrice de micro-miroirs. Le confinement longitudinal du gaz de Bose 1D pourra ainsi être défini arbitrairement et modifié dynamiquement de manière à permettre l'étude des propriétés de dynamique hors-équilibre de ces systèmes.

Le projet de doctorat vise plus spécifiquement à mettre en évidence la présence de solitons dans les gaz de Bose unidimensionnels (1D) à température finie ou suite à une excitation dynamique. Un soliton correspond à un défaut local dans la distribution de densité du système qui se propage au sein du gaz à la vitesse du son et sans dispersion. Dans le cas d'interactions répulsives, un soliton correspond à une zone de plus faible densité associé à un déphasage distribué le long de son extension, cette dernière étant fixée par la longueur de cicatrisation du système. À l'équilibre, les solitons peuvent être reliés aux excitations de type II décrites dans le modèle de Lieb-Liniger. Tant que la densité de solitons reste faible, ils peuvent aussi être relativement bien décrits par un modèle dit « de soliton aléatoire ». Ce dernier prédit une dépendance en k^{-2} de la distribution d'impulsion du système.

L'objectif du projet consiste à mesurer la distribution d'impulsion du système et d'observer comment son profil se modifie avec la variation de la densité de solitons. Cette dernière pourra être modifiée au moyen d'une excitation périodique de potentiel de piégeage longitudinale dont l'amplitude sera contrôlée. La mesure de la distribution d'impulsion sera effectuée en temps de vol et utilisera des techniques expérimentales existantes. Les observations seront comparées à des simulations réalisées à l'aide de l'équation de Gross-Pitaevskii ou du modèle d'hydrodynamique généralisé. Pour ce faire, nous aurons le soutien de théoriciens de Nice, Grenoble et Orsay avec lesquels nous collaborons dans le cadre d'un projet PEPR Technologies Quantiques qui sera actif pendant l'ensemble de la durée de la thèse.

Calendrier

Année 1 : Optimisation du nouveau potentiel de piégeage longitudinal construit par l'équipe.
Premières expériences de mise hors équilibre.

Année 2 : Développement et optimisation de la technique de mesure de la distribution d'impulsion du gaz. Mesures dans le cas d'un système à l'équilibre. Mesures pour des systèmes faiblement excités.

Année 3 : Suite des mesures dans le cas de systèmes très excités. Comparaison avec les modèles théoriques. Rédaction de la thèse.