

Mouvement collectif dans des systèmes d'atomes fermioniques piégés

1 Contexte

Avec les atomes piégés, il est possible de réaliser des systèmes relativement simples qui permettent de tester les théories à N corps dans des conditions bien contrôlées. L'analogie avec la physique nucléaire et la physique des solides est évidente lorsque l'on étudie des gaz d'atomes fermioniques. Par ailleurs, près d'une résonance de Feshbach, l'intensité de l'interaction peut être fixée précisément et il est même possible d'atteindre une longueur de diffusion qui diverge ("limite unitaire"). Dans ce cas là, on peut étudier le "cross-over BEC-BCS", phénomène qui présente un grand intérêt également en physique nucléaire.

2 Bilan 2011

Nous avons continué notre étude du mouvement collectif des gaz de fermions ultrafroids dans le cadre de l'équation de Boltzmann. Il y avait un écart important entre les résultats expérimentaux et théoriques pour les fréquences et taux d'amortissement des modes collectifs dans la transition entre les régimes hydrodynamique et sans collision quand on utilisait dans le terme de collision la section efficace modifiée par les effets du milieu. Nous avons montré que l'origine de ce problème n'était pas la section efficace, mais une approximation trop grossière pour la résolution de l'équation de Boltzmann par la méthode des moments d'ordre deux. En incluant des moments d'ordre supérieur, nous avons considérablement amélioré l'accord entre expérience et théorie. Ces résultats ont été publiés dans un proceeding [M. Urban, S. Chiacchiera, D. Davesne, and T. Lepers, J. Phys. : Conf. Ser. 321 (2011) 012026] et dans un article de revue [S. Chiacchiera, T. Lepers, D. Davesne, and M. Urban, Phys. Rev. A 84, 043634 (2011)].

En collaboration avec P.-A. Pantel, qui a effectué son stage M2 en 2011 et qui vient de commencer sa thèse à l'IPN Lyon, nous avons également étudié l'oscillation du centre de masse (sloshing mode) dans un piège anharmonique. Contrairement au cas d'un potentiel parfaitement harmonique (théorème de Kohn), l'oscillation du centre de masse dans un potentiel réaliste (qui n'est harmonique que près du minimum) dépend de l'interaction entre les atomes. Ce sujet est surtout important dans le contexte des expériences qui utilisent ce mode pour la détermination précise des fréquences du piège. Une publication est en cours de rédaction.

Utilisation des crédits

Le montant de 1000 euros qui nous a été attribué en 2011 a été utilisé comme suit :

16/03-18/03	voyage et séjour de P.-A. Pantel à Orsay	211,50
31/05	voyage de M. Urban à Lyon	160,25
03/10-06/10	voyage et séjour de P.-A. Pantel à Orsay	473,15
07/12	voyage de M. Urban à Lyon	155,10
total		1000

3 Projet

Depuis le début de la thèse de P.-A. Pantel (octobre 2011), nous avons commencé à étudier des systèmes de gaz de fermions asymétriques, c'est-à-dire, avec plus d'atomes de spin \uparrow que de spin \downarrow , où avec des atomes de masses différentes. Les gaz asymétriques sont particulièrement intéressants parce qu'ils comportent, à basse température, une région centrale contenant les deux espèces enveloppée d'une

région contenant seulement une espèce. Cette situation est très similaire à la croûte des étoiles à neutrons, où, à cause de l'excès de neutrons, les clusters (noyaux) contenant neutrons et protons flottent dans un gaz contenant uniquement des neutrons.

L'asymétrie implique l'existence de deux types de modes collectifs : Les oscillations des deux espèces d'atomes peuvent être en phase ou opposées (comme dans les modes isoscalaires et isovectoriels des noyaux). Expérimentalement, ces deux modes ont récemment été découverts dans le groupe de C. Salomon (ENS Paris). Dans le cas d'une très forte asymétrie (c'est-à-dire si le nombre d'atomes \downarrow est très faible devant le nombre d'atomes \uparrow), l'oscillation \uparrow contre \downarrow peut être reliée au "polaron" dans un gaz complètement polarisé. Une première étude théorique pour expliquer les résultats de cette expérience a été faite par A. Recati et S. Stringari, mais ils se sont limités de nouveau à la méthode de scaling (équivalente aux moments d'ordre 2) qui est, comme nous l'avons démontré, insuffisante.

Un autre exemple où il y a localement une forte asymétrie est la collision d'un nuage d'atomes \uparrow avec un nuage d'atomes \downarrow comme celle qui a été réalisée par le groupe de M. Zwierlein (MIT). Dans cette expérience, ils ont mis en évidence l'existence, en fonction de la température, de différents régimes : un régime de "rebond" et un autre de "transmission". Il existe deux explications qualitatives pour le rebond : une par Goulko, Chevy et Lobo dans le cadre d'une approche Boltzmann (incluant les collisions avec la section efficace libre, mais pas de champ moyen), et une autre par Taylor, Zhang, Schneider, and Randeria, dans le cadre d'un modèle hydrodynamique avec un champ moyen répulsif alors que le champ moyen devrait normalement être attractif.

Pour analyser quantitativement ces expériences, il est donc nécessaire de résoudre l'équation de Boltzmann, incluant le champ moyen et la section efficace dans le milieu, dans le cas asymétrique. Nous avons commencé à généraliser notre code numérique (développé précédemment dans le cadre de ce projet). En ce qui concerne le champ moyen et la section efficace dans le milieu, notre idée est d'utiliser, comme dans le cas symétrique, la matrice T (resommation de diagrammes d'échelle), qui a déjà été utilisée avec succès pour décrire le "polaron" dans un système très polarisé.

Participants

Ces travaux se font en collaboration entre D. Davesne (IPNL), M. Urban (IPNO), S. Chiacchiera (actuellement post-doc à Coimbra, Portugal) et P.-A. Pantel (qui a commencé une thèse à l'IPNL).

Durée du projet

La fin prévisionnelle du projet est août 2014 (fin de la thèse de P.-A. Pantel).

Montant demandé

Le montant demandé pour 2012 est de 2500 euros, ce qui est supérieur au montant qui nous a été accordé ces dernières années. Voici l'estimation des dépenses en détail :

6 réunions des participants de l'IPNO et de l'IPNL	$6 \times 150 = 900$
2 séjours d'une semaine de P.-A. Pantel à Orsay	$2 \times 300 = 600$
1 vol + séjour de S. Chiacchiera à Lyon ou Orsay	500
participation à une conférence ou un workshop	500
<hr/> total	<hr/> 2500