

2D or not 2D ? La superfluidité en question

La superfluidité est une manifestation spectaculaire de la mécanique quantique à l'échelle macroscopique. Mise en évidence dès 1937 dans l'hélium liquide, elle n'a été observée que récemment dans l'état gazeux, pour des atomes ultra froids. Au laboratoire de physique des lasers, nous étudions la superfluidité d'un gaz ultra-froid confiné en dimension deux, dans un plan (gaz 2D).

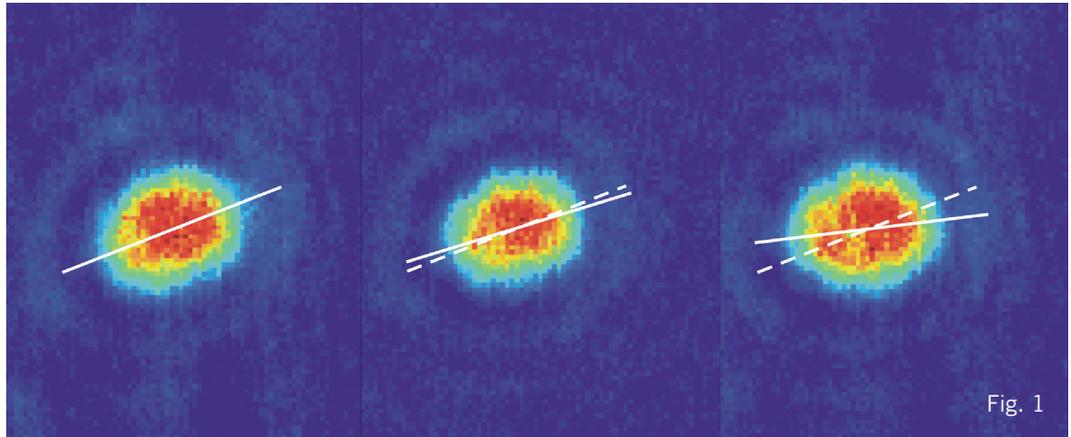


Figure 1 :
 Mode « ciseaux ». Le superfluide 2D elliptique a son axe principal qui oscille dans le plan de l'image, signature ici de la superfluidité.

Les théories quantiques ont été développées par les plus grands physiciens du vingtième siècle comme Albert Einstein ou Niels Bohr. Louis de Broglie a en particulier montré que les particules se comportent comme des ondes, à la manière des rides à la surface de l'eau. La physique quantique est indispensable pour décrire le monde de l'infiniment petit. Impossible autrement d'expliquer la structure de l'atome et le mouvement des électrons autour du noyau. En revanche, la physique classique suffit généralement pour rendre compte du comportement macroscopique d'un gaz ou d'un liquide, car le mouvement relatif désordonné des particules, lié à la température, brouille les ondes quantiques, dont l'effet n'est plus observable.

Est-il possible de voir malgré tout des effets quantiques dans des systèmes macroscopiques ? La réponse est positive : il faut pour cela réduire très fortement leur température. Une onde quantique macroscopique, commune à l'ensemble des particules du système, émerge alors. Ce phénomène est à l'origine de propriétés spectaculaires comme la supraconductivité de certains solides, c'est-à-dire l'absence de résistance électrique, ou la superfluidité.

La superfluidité est cette propriété dynamique des fluides quantiques qui leur permet par exemple de remonter spontanément les parois d'un récipient (effet fontaine). Elle se traduit également par une absence totale de viscosité lors de l'écoulement du fluide. C'est Piotr Kapitza qui l'observa le premier en 1937 dans l'hélium liquide à très basse température. La superfluidité est à l'écoulement d'un fluide ce que la supraconductivité est au courant électrique, ce qui motive des recherches très actives pour ses applications liées aux mesures de grande sensibilité ou à l'information quantique.

Au LPL, nous étudions ce phénomène avec un gaz d'atomes ultra-froids à une température de quelques milliardièmes de degrés au-dessus du zéro absolu (voir la Gazette de l'IG, numéro 1). Les gaz à ultra basse température, qui représentent un autre exemple d'onde quantique macroscopique, ont l'avantage d'avoir des paramètres physiques (densité, vitesse...) bien plus facilement mesurables que, par exemple, ceux des électrons dans un solide supraconducteur. A ce titre, on peut s'en servir comme simulateur d'autres systèmes physiques.

Nous nous intéressons en particulier au cas où le gaz est fortement confiné dans l'une de ses directions, de sorte que les atomes évoluent dans un plan, dans un monde en deux dimensions (2D). Notre objectif est de décrire l'apparition de la superfluidité en observant comment le gaz quantique réagit à des excitations collectives. Par exemple, son rayon augmente et diminue dans un mouvement d'oscillation que l'on appelle un mode de respiration. La fréquence à laquelle cette respiration se produit nous renseigne sur la dimension de l'espace dans lequel les atomes évoluent : 2D ou 3D. Un autre mode, appelé le mode « ciseaux », dans lequel l'axe principal du nuage oscille de droite à gauche (voir figure), traduit l'apparition de la superfluidité. Ces mesures, que nous confrontons aux théories existantes, permettent de mieux comprendre ce phénomène complexe qu'est la superfluidité.

Hélène PERRIN,
 helene.perrin@univ-paris13.fr

Laurent LONGCHAMBON,
 laurent.longchambon@univ-paris13.fr

contact

Laboratoire
 de Physique
 des Lasers (LPL)
 CNRS - UMR 7538

Directeur :
 Olivier Gorceix
 ☎ 01 49 40 39 85
 Institut Galilée