

Juste au-dessus du zéro absolu (- 273,15°C), la matière acquiert parfois d'étranges comportements. A ces températures, les bizarreries de la physique quantique deviennent presque tangibles. Certains métaux laissent les électrons circuler sans aucune résistance : c'est la supraconductivité. Certains fluides perdent, eux, toute viscosité et s'écoulent sans aucune friction : c'est la superfluidité.

Sommaire

- [Des chercheurs américains mettent en évidence un nouvel état de la matière](#)

Des chercheurs américains mettent en évidence un nouvel état de la matière

Des travaux américains publiés jeudi 23 juin dans la revue Nature - sous la signature de Wolfgang Ketterle, Prix Nobel de physique en 2001, montrent pour la première fois l'existence de cette étrange propriété chez des atomes dits « fermioniques ». La découverte marque une étape importante dans l'étude des gaz ultrafroids.

Pour comprendre, il faut savoir que les physiciens divisent le bestiaire des atomes et des particules en deux grandes catégories : les bosons et les fermions. Les premiers, explique Jean Dalibard, directeur de recherche (CNRS) au Laboratoire Kastler-Brossel, « ont tendance à se mettre ensemble, à prendre les mêmes propriétés ».

Les bosons, on l'aura compris, ont tendance à marcher au pas. Ils ont, illustre M. Dalibard, « l'instinct grégaire ». Ce comportement moutonnier est, par exemple, celui des photons - qui appartiennent à la famille des bosons - dans les lasers.

Dans ces faisceaux lumineux très cohérents, tous les grains de lumière ont en effet les mêmes propriétés de longueur d'onde, de polarisation, etc.

Le premier, Albert Einstein avait prévu, en 1924, l'existence d'un état de la matière directement issu de ces caractéristiques. Enfermés dans une enceinte, à une température suffisamment basse, des atomes bosoniques se comportent tous de la même façon... Cet état de la matière, dit « condensat de Bose-Einstein » n'a

été observé pour un gaz qu'en 1995, par trois chercheurs américains (Ketterle, Wieman, Cornell). Ce qui leur valut le prix Nobel de physique en 2001.

La condensation de Bose-Einstein est très apparentée à la superfluidité. La plupart des physiciens considèrent ainsi que la première manifestation expérimentale - encore indirecte - de cet état de la matière est, à la fin des années 1930, le premier refroidissement de l'hélium à - 271,15 °C, température à laquelle cet élément devient superfluide.

Naturels et bien connus chez les bosons, ces phénomènes le sont moins chez les fermions. Pourquoi ? Parce que ces derniers obéissent à d'autres lois de comportement que leurs grégaires cousins. Ils sont soumis, notamment, à ce que les physiciens nomment le principe d'exclusion, selon lequel deux fermions confinés ne peuvent se trouver dans le même état quantique. Les bosons se mettent au pas ; les fermions, eux, marchent en rangs désordonnés. Il y a cependant un hic. Les phénomènes de supraconductivité impliquent que tous les électrons, dans certains métaux refroidis, se déplacent ensemble, sans résistance. Au pas, en somme. Or, malheureusement, les électrons sont des fermions...

Ce paradoxe a engendré de persistantes migraines chez les théoriciens. "Ce n'est que tardivement, dans les années 1950-1960, que les physiciens se sont accordés sur une théorie pour expliquer la supraconductivité", explique M. Dalibard. Cette théorie montre que des fermions « appariés », bien que ne se comportant pas exactement comme des bosons, peuvent subir une condensation et basculer vers un état superfluide. D'où l'explication de la supraconductivité. Pour un gaz, cela n'avait jamais été observé expérimentalement. Il manquait, comme l'explique Rudolf Grimm, chercheur à l'université d'Innsbruck (Autriche) dans un commentaire publié par Nature, une « preuve définitive ». Pour réaliser ce tour de force expérimental, Wolfgang Ketterle, Martin Zwierlein et leurs collègues du département de physique du Massachusetts Institute of Technology (MIT) ont assemblé quelques centaines de milliers d'atomes de lithium dans une enceinte où règne un vide poussé. Confinés dans un piège magnéto-optique, ces atomes « fermioniques » ont été refroidis par laser. En braquant plusieurs faisceaux laser sur des atomes agités (donc chauds), les chercheurs sont en effet parvenus à diminuer drastiquement leur mouvement et donc leur température : de l'ordre du milliardième de degré au-dessus du zéro absolu. Pour permettre aux atomes de lithium de s'apparier, et de « mimer » ainsi le comportement des bosons, les chercheurs ont eu recours à l'application de champs magnétiques sur le nuage.

L'affaire n'est pas finie. Les physiciens américains ont ensuite mis en rotation cette soupe ultrafroide. Comment ? "Ils ont utilisé un faisceau laser, un peu comme on se sert d'une petite cuiller dans une tasse de café, illustre M. Dalibard. Mais, dans le cas d'un superfluide, cette mise en rotation ne crée pas un tourbillon central : c'est un maillage de minuscules tourbillons, des *undefinedundefinedvortex* quantiques" qui se forme."

Pour constater la formation de ce réseau de maelströms invisibles à l'oeil nu, les chercheurs du MIT ont libéré ce gaz de son piège. Son expansion amène à l'échelle macroscopique le réseau des tourbillons, qui devient alors visible. La preuve en est donc faite : un tel gaz peut se comporter comme un superfluide.

"Cela pourra améliorer notre compréhension, encore incomplète, des phénomènes de supraconduction à haute température", avance M. Dalibard.

Stéphane Foucart.

- Article paru dans l'édition du 25.06.05.