

PHYSIQUE QUANTIQUE

UN GAZ D'ATOMES ULTRAFROIDS DEVIENT INVISIBLE

Grâce aux lois de la physique quantique, des chercheurs ont empêché toute diffusion de la lumière sur un gaz de fermions, le rendant de fait totalement transparent.

L'invisibilité, sous toutes ses formes, fascine. Des physiciens ont fait disparaître des gaz d'atomes en les comprimant et les refroidissant. Pour réaliser ce «tour de magie», ils ont utilisé des atomes appartenant à la famille des fermions. Ces derniers ont la particularité de se plier au principe d'exclusion de Pauli, qui stipule que deux fermions identiques (même particule, même état interne, etc.) ne peuvent occuper le même état quantique. Et c'est justement en s'appuyant sur ce principe que les chercheurs ont rendu leur gaz transparent, et donc invisible!

Le principe de Pauli se manifeste dans de nombreuses situations. Par exemple, au sein d'un atome dans son état de plus basse énergie, les électrons remplissent d'abord les couches de plus basses énergies. Dès qu'une orbitale est remplie, les électrons investissent les couches supérieures. Une façon de se représenter cette idée est celle d'une salle de concert où tout le monde voudrait les places les plus proches de la scène, mais où on ne peut s'asseoir que sur une chaise vide.

En 1990, David Pritchard, du MIT, et deux collègues ont imaginé une façon surprenante de mettre en évidence le principe d'exclusion de Pauli. En refroidissant un gaz d'atomes fermioniques à une température proche du zéro absolu, on obtient alors un gaz dit «dégénéré»: les atomes occupent les niveaux d'énergie les plus faibles (les places les plus proches de la scène de concert). Et si, en plus, on comprime le gaz, les atomes vont ressentir fortement les contraintes du principe d'exclusion de Pauli. Quelle conséquence?

Dans des conditions non dégénérées, quand un gaz est éclairé avec de la lumière, les photons (les particules de lumière) sont diffusés dans toutes les directions par les atomes du gaz. C'est cette lumière diffusée qui nous permet de voir le gaz. Lorsqu'un atome diffuse un photon, il subit un mouvement de recul en échangeant de l'énergie et de l'impulsion avec le photon. Mais si le gaz est dans un état dégénéré, les atomes n'ont pas la possibilité de changer d'énergie puisque les états d'énergie voisins sont déjà occupés par d'autres atomes. Toutes les places dans la salle de concert autour de l'atome sont prises. Le gaz



Dans l'expérience menée au laboratoire Jila, aux États-Unis, un laser bleu traverse un ensemble de lentilles avant de pénétrer dans un gaz de strontium ultrafroid. À cause des conditions de densité et de température, les photons ne peuvent interagir avec les atomes et traversent le gaz sans être diffusés.

37 %

AVEC UN GAZ DE LITHIUM 6 À UNE TEMPÉRATURE DE 20 MICROKELVINS ET UNE DENSITÉ DE L'ORDRE DE 10^{15} ATOMES PAR CENTIMÈTRE CUBE, L'ÉQUIPE DE WOLFGANG KETTERLE A CONSTATÉ UNE BAISSSE DE 37 % DE L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE DIFFUSÉE.

ne peut donc plus diffuser de photons: ces derniers traversent le gaz sans dévier de leur trajectoire initiale. Le gaz devient ainsi invisible.

Le phénomène n'avait jamais été observé car il est très difficile de comprimer un gaz en le maintenant à basse température. Trois équipes viennent de relever le défi: le groupe de Wolfgang Ketterle, du MIT; Jun Ye, de l'université du Colorado, et ses collègues; Amita Deb et Niels Kjærgaard, de l'université d'Otago, en Nouvelle-Zélande. Tous ont observé une baisse de luminosité comme prévu. «Le résultat d'Amita Deb et Niels Kjærgaard est très élégant, note Hélène Perrin, chercheuse CNRS au Laboratoire de physique des lasers de l'université Sorbonne-Paris-Nord. Les deux chercheurs ont comparé la situation de leur gaz de fermions (potassium 40) avec un gaz de bosons (du rubidium 87). Ils ont constaté dans ce dernier cas une diffusion amplifiée, un résultat aussi prévu par David Pritchard et ses collègues dans leur article de 1990.» ■

Sean Bailly

C. Sanner *et al.*, *Science*, 2021; A. B. Deb et N. Kjærgaard, *ibid.*; Y. Margalit *et al.*, *ibid.*