

INTRICATION QUANTIQUE ENTRE DEUX ATOMES !

Lier le destin de deux atomes par interférence quantique

Pour la première fois, des physiciens du CNRS et de l'Université Paris-Sud au Laboratoire Charles Fabry (CNRS/Institut d'Optique Graduate School) ont réalisé des interférences entre deux atomes distincts : envoyés de part et d'autre d'un « miroir semi-réfléchissant », les deux atomes en ressortent toujours ensemble. Ce type d'expérience, réalisé avec des photons il y a une trentaine d'années, était demeuré jusqu'à présent impossible avec de la matière, du fait de l'extrême difficulté à créer et manipuler des paires d'atomes indiscernables¹. Ce travail est publié dans la revue *Nature* le 2 avril 2015.

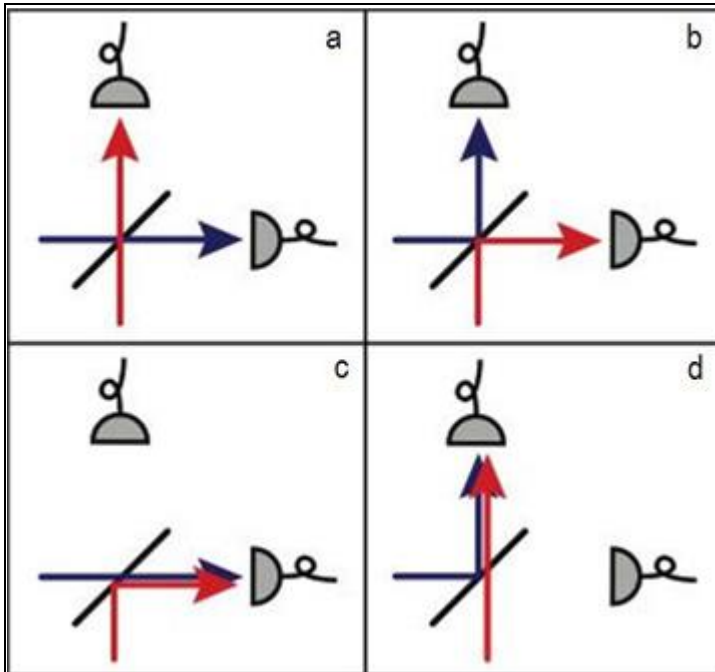
La notion de particules indiscernables¹, évoquée dès 1924 par Bose et Einstein, est au cœur des manifestations les plus déroutantes de la mécanique quantique. L'une de ces manifestations emblématiques, observée expérimentalement il y a presque 30 ans par Hong, Ou et Mandel, met en jeu des photons et un miroir semi-réfléchissant (envoyé sur une face ou l'autre de ce miroir, un photon a une chance sur deux de passer au travers et une chance sur deux d'être réfléchi). Si l'on envoie simultanément deux photons identiques sur l'une et l'autre des faces du miroir, on constate que ceux-ci peuvent en ressortir d'un côté ou de l'autre, mais toujours ensemble. Autrement dit, il apparaît impossible aux deux photons de repartir chacun de leur côté.

Pour la première fois, des physiciens du Laboratoire Charles Fabry viennent de mettre en évidence ce phénomène avec des particules de matière au lieu de particules de lumière, en l'occurrence des atomes d'hélium 4. En combinant des paires d'atomes sur l'équivalent, pour la matière, d'un miroir semi-réfléchissant², les chercheurs ont observé que lorsque deux atomes identiques arrivent en même temps, ils repartent toujours ensemble, comme le font les photons. Ce résultat est une signature indubitable d'interférences quantiques destructives : le processus où les deux atomes sont simultanément réfléchis et celui où ils sont simultanément transmis s'annulent l'un l'autre.

La grande difficulté que ces chercheurs ont réussi à surmonter a été de créer des paires d'atomes indiscernables et de les manipuler. Pour cela, ils ont tout d'abord réalisé un condensat de Bose Einstein³ contenant près de 100 000 atomes d'hélium 4. Ils sont parvenus à contrôler les collisions entre particules afin de produire des paires d'atomes indiscernables, sortant de ce gaz très froid au rythme d'une toutes les 30 secondes en moyenne. Les chercheurs ont ensuite manipulé les atomes à l'aide de faisceaux lasers, pour réaliser l'équivalent du montage optique de l'expérience que Hong, Ou et Mandel avaient réalisée avec des photons. Pour caractériser l'effet d'interférence, les chercheurs ont décalé l'instant d'arrivée des deux atomes de part et d'autre de leur miroir. Après des dizaines d'heures d'enregistrement, ils ont pu vérifier que lorsque les deux arrivées sont séparées de plus d'une centaine de microsecondes, chaque atome choisit sa voie de sortie indépendamment de l'autre tandis que lorsque les arrivées sont plus rapprochées, les atomes ont tendance à sortir du même côté. L'effet est maximum lorsque les atomes arrivent simultanément.

Par-delà la confirmation d'une prédiction surprenante de la mécanique quantique, l'expérience illustre les immenses progrès réalisés ces dernières années dans le contrôle des

sources atomiques à l'échelle quantique. Grâce à la manipulation très fine des paires d'atomes, ces travaux démontrent leur potentiel d'application dans le champ de l'information quantique, qui consiste à exploiter les spécificités de la physique quantique pour un traitement plus efficace et une communication plus sécurisée de l'information.



Principe de l'effet Hong, Ou et Mandel.

Deux particules (rouge et bleue) entrent par les deux faces d'un miroir semi-réfléchissant (trait noir). Il existe a priori quatre configurations possibles pour la sortie des particules (détectées par un capteur, en gris).

Toutefois, si les particules sont indiscernables, les processus dans lesquels les particules sont soit toutes deux transmises, soit toutes deux réfléchies (a et b), interfèrent de manière destructive. La possibilité pour les particules de sortir dans deux voies distinctes s'en trouve alors supprimée et celles-ci quittent obligatoirement le miroir par le même côté (c et d).

© Denis Boiron



Les chercheurs posent avec leur dispositif expérimental.

Au premier plan, le tube qui conduit les atomes d'hélium vers la zone où ils sont piégés, pour former

un condensat de Bose Einstein.

© Jean-Francois Dars

Images disponibles à la photothèque du CNRS, phototheque@cnrs.fr.

Notes

¹ Des particules indiscernables sont des particules parfaitement identiques, et exactement dans le même état (par exemple animés d'une même vitesse, et pour les photons, de longueur d'onde et de polarisation identiques).

² Un miroir de Bragg, c'est-à-dire une onde de lumière sur laquelle les atomes peuvent rebondir.

³ Un condensat de Bose Einstein est un gaz refroidi à très basse température dans lequel les atomes se "condensent" : ils ne sont alors plus animés de mouvements aléatoires dans toutes les directions et s'accumulent dans un même niveau quantique. Perdant leur individualité, ils sont alors décrits comme un seul objet macroscopique, décrit par une onde unique.

Contacts

Chercheur CNRS | Christoph Westbrook | T 01 64 53 33 52 / 06 47 34 08 81

christoph.westbrook@institutoptique.fr

Chercheur CNRS | Marc Cheneau | T 01 64 53 33 39 | marc.cheneau@institutoptique.fr

Presse CNRS | Véronique Etienne | T 01 44 96 51 37 | veronique.etienne@cnrs-dir.fr

Références

Atomic Hong–Ou–Mandel experiment, Raphaël Lopes, Almazbek Imanaliev, Alain Aspect, Marc Cheneau, Denis Boiron & Christoph I. Westbrook. *Nature*, 2 avril 2015.

doi:10.1038/nature14331