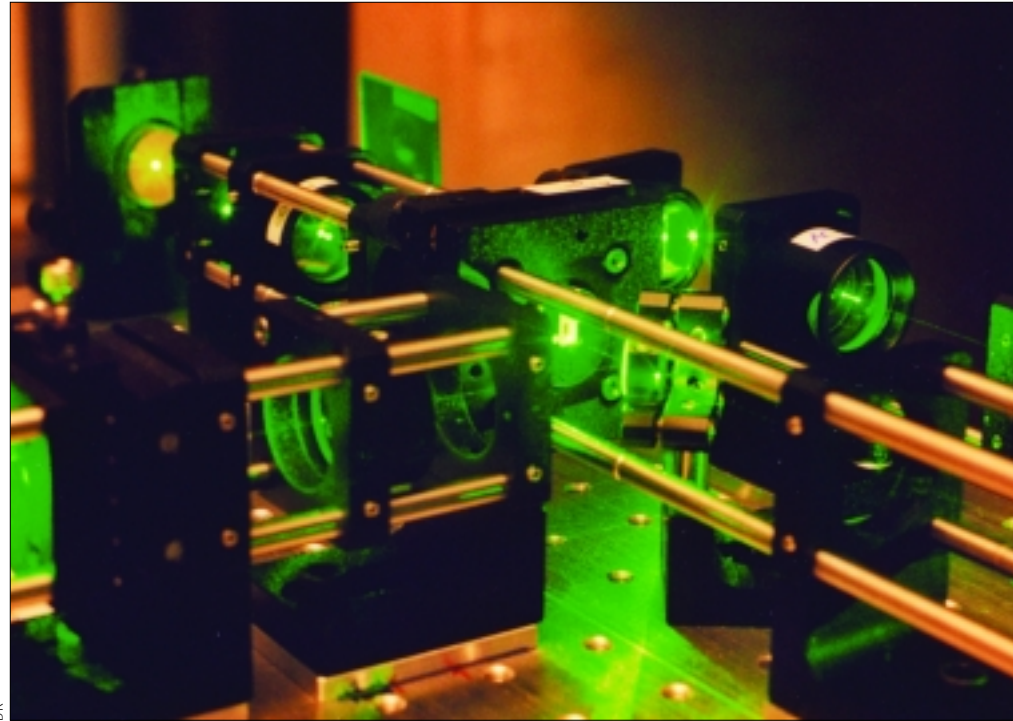


Les photons dans tous leu

L'intrication quantique est un phénomène qui pourrait révolutionner les systèmes de communication actuels. A la pointe de la recherche, une équipe genevoise du Groupe de physique appliquée.

L'«INTRICATION» est un terme qu'il faut se préparer à entendre de plus en plus souvent dans les années, voire les décennies à venir. Cette notion désigne un phénomène qui n'existe que dans le monde de la physique quantique. Il se trouve cependant que le nombre de chercheurs qui s'y intéressent croît de manière exponentielle et que des conférences commencent à lui être consacrées à travers le monde. La carotte qui fait courir ces scientifiques? L'intrication pourrait conduire à une révolution des systèmes de communication actuels, notamment par le développement d'une technique de cryptographie inviolable. Cette technologie laisse également entrevoir le développement de ce qu'on appelle la téléportation quantique et promet des débouchés encore inconnus, mais que l'on pressent comme très nombreux.

Active dans le domaine depuis maintenant plus de dix ans, l'équipe genevoise dirigée par le professeur Nicolas Gisin, du Groupe de physique appliquée (GAP) de la Faculté des sciences, est à la pointe au niveau mondial. En décembre dernier, l'*Optics and Photonics Review*, la revue américaine d'optique quantique, a en effet placé leurs travaux parmi les plus importants de l'année. En janvier, la revue *Technology Review*, éditée par le MIT à Boston, citait elle aussi le GAP pour illustrer l'une des 10 technologies qui allaient, selon elle, changer le monde – les neuf autres étant représentées par des équipes américaines.



DR

Nicolas Gisin et ses collègues viennent de publier un dernier article sur l'intrication qui fera probablement date. Leur étude, qui a été acceptée par la revue *Physical Review A*, décrit en détail l'expérience qui a permis de marier, dans une même manipulation, la théorie quantique – qui décrit le monde du tout petit – et la théorie de la relativité – qui explique ce qui arrive lorsqu'on se déplace à très grande vitesse, proche de celle de la lumière. Ils ont montré que l'intrication, et avec elle la mécanique quantique, résistait, même dans des conditions relativistes.

UNE INTIMITÉ PEU COMMUNE

L'intrication quantique doit se comprendre comme une relation d'une intimité peu commune entre deux particules. Le terme désigne l'idée que ces deux objets, même séparés par une certaine distance, sans lien mécanique entre eux, ne forment en réalité qu'un seul tout, qu'une seule entité. Ainsi, lorsqu'on agit sur un des membres d'une paire de photons intriqués, l'autre réagit immédiatement en conséquence, qu'ils soient éloignés d'un millimètre ou de 20 kilomètres l'un de l'autre.

Même éloignés l'un de l'autre et en absence de lien physique entre eux, deux photons dits «intriqués» continuent à ne former qu'un seul et même objet.

Cette notion est restée une question philosophique jusque dans les années 70, lorsque des expériences ont commencé à en mesurer les effets. Les premiers résultats, difficiles à interpréter, étaient contradictoires. En 1981 et 1982, le chercheur français Alain Aspect a mis tout le monde d'accord avec une expérience qui porte désormais son nom. L'intrication existe. Elle a quitté le papier pour apparaître dans les laboratoires. L'équipe de Nicolas Gisin l'a même fait sortir des tables optiques. En 1998, ils ont réalisé l'expérience dans des fibres optiques de Swisscom entre Bernex, dans la Champagne genevoise, et Bellevue, au bord du lac. La preuve que le phénomène peut être maîtrisé à grande échelle et dans des infrastructures déjà existantes.

Il se trouve que des paires de photons intriqués peuvent être produites naturellement, lors de la désintégration de certains noyaux atomiques, par exemple. Les chercheurs effectuent ensuite une

mesure sur la première particule, puis sur la deuxième. Si la corrélation des deux résultats suit toujours les lois quantiques — un grand nombre de mesures est nécessaire pour s'en rendre compte —, cela signifie que les photons sont bel et bien intriqués. En particulier, cela signifie qu'on ne peut pas comprendre ces résultats comme le reflet d'une réalité prédéterminée.

Il faut savoir qu'en physique quantique, l'état d'une particule est totalement indéterminé. En fait, par définition, la particule est dans tous les états possibles à la fois. Le scientifique qui s'apprête à mesurer, disons, la polarisation d'un photon (en gros, la direction dans laquelle il oscille), n'a aucune idée à l'avance du résultat qu'il pourrait obtenir. En fait, le photon lui-même ne le saurait pas.

Seulement, la mesure opère une discrimination subite et fournit un et un seul résultat. Ainsi, si la polarisation du premier photon s'avère être horizontale, alors, immédiatement, son compère intriqué abandonne sa plurivalence et adopte le même état horizontal. L'expérience d'Aspect et celles qui ont suivi l'ont toujours démontré.

UN PHÉNOMÈNE CURIEUX

«A première vue, c'est un phénomène curieux, admet Nicolas Gisin. On a l'impression d'avoir là une sorte d'action à distance. Ce n'est pas une action que l'on peut contrôler, puisque le résultat de la mesure est parfaitement aléatoire. Mais dès qu'on le connaît, on sait que de l'autre côté, on mesurera forcément le résultat complémentaire.» Cette observation dérange l'intuition. Comment l'information est-elle passée du premier photon au deuxième? Plusieurs expériences ont montré que cette information, si elle devait circuler d'une particule à l'autre, aurait dû se déplacer plus vite que la vitesse de la lumière. Dans l'étude qui va paraître bientôt, les chercheurs genevois ont même montré que cette information aurait dû dépasser des millions de fois cette limite physique. Une hypothèse que les physiciens rejettent.

Pour corser les choses, Nicolas Gisin, André Stefanov et Hugo Zbinden du GAP ainsi qu'Antoine Suarez du Centre de philosophie quantique à Zurich, ont imaginé une configuration plus particulière encore. Ils ont mis les deux détecteurs en mouvement l'un par rapport à l'autre. La vitesse

relative est telle que les effets relativistes de contraction du temps commencent à se faire sentir. Résultat: chacun des détecteurs, depuis son référentiel en mouvement, est sûr de faire la mesure avant l'autre et donc d'être celui qui fixera le résultat et l'imposera à l'autre. Une telle configuration est possible et s'explique grâce à la relativité restreinte.

Bien entendu, et c'est le résultat principal de l'article, les deux détecteurs ont obtenu, pour chaque paire de photons, la même mesure, indiquant qu'il existe une corrélation entre les deux. «La seule explication, et elle est conforme aux prédictions de la mécanique quantique, est que les deux photons intriqués représentent un seul et même objet, explique Nicolas Gisin. C'est comme un élastique que l'on étire et qui se casse en deux. Dans le monde classique, on aurait deux morceaux devenus indépendants. Dans le monde quantique, ils continuent à ne former qu'un seul objet, qui réagit globalement lorsque l'on fait des mesures dessus.»

EN ACCORD AVEC EINSTEIN

Donc les photons intriqués qui réagissent simultanément alors qu'un seul est perturbé ne sont pas en contradiction avec Einstein qui prétend que l'on ne peut pas aller plus vite que la vitesse de la lumière? «Non, estime le chercheur genevois. D'une part parce qu'en physique quantique, la distance ne joue pas de rôle dans ce cas. Et d'autre part, le résultat de la mesure sur le photon est aléatoire. Nous, êtres humains, nous ne pouvons pas le contrôler. Donc, il nous est impossible de nous servir de cet effet délocaliseur pour "téléphoner", ou communiquer à une vitesse supraluminaire. Si l'on pouvait contrôler le résultat, alors il y aurait contradiction.» Autrement dit, deux photons intriqués sont dans tous les états physiques possibles à la fois, tout en étant, les deux, dans le même état. Richard Feynman aurait dit: «Si quelqu'un prétend avoir compris la théorie quantique, c'est la preuve qu'il n'y a rien compris.»

ANTON VOS ●

Références:

- <http://www.GAP-Optique.unige.ch/>
- «Initiation à la physique quantique, la matière et ses phénomènes», par VALERION SCARANI, Ed. Vuibert, 2003, 110 p.

La téléportation, une technologie de demain

Une des manifestations les plus remarquables de l'intrication est la téléportation. Imaginez deux particules intriquées et situées à quelque distance l'une de l'autre. Si on fait interagir une troisième particule (de la même nature) avec l'un des membres de la paire intriquée, le résultat va être de la retrouver de l'autre côté. Cette tierce particule sera passée d'un côté à l'autre, sans n'avoir jamais existé entre deux. Une telle expérience a déjà été réussie avec des photons.

Selon les experts, la téléportation d'un électron ou d'un atome, qui sont des objets extrêmement petits et simples, sera possible dans les années qui suivent. Certains groupes de recherches ont déjà réussi à intriquer des atomes, ou plus précisément des ions chargés électriquement, plus faciles à manier. Pour la téléportation des premières molécules, il faudra peut-être attendre cinquante ans. Mais personne ne peut prédire si une telle technologie sera applicable sur un objet comme un stylo ou, à plus forte raison, un être humain. Selon Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée à la Faculté des sciences, on ne sait pas encore tout ce que nous réserve l'intrication: «Si on avait demandé à nos ancêtres qui ont découvert l'électricité à quoi cela pourrait bien servir, ils auraient répondu simplement: à fabriquer un paratonnerre. On n'avait aucune idée que, grâce à l'électron, on pourrait un jour appuyer sur un petit bouton et allumer une lampe un peu plus loin.»

A.Vs ●