

L'intrication quantique :

En 1982 Alain Aspect, Prix Nobel de Physique 2022, a tranché le débat Einstein-Bohr et complète les fondements de la mécanique quantique

En 1801 le physicien Thomas Young réalisait l'expérience de la double fente en envoyant un flux lumineux à travers un écran percé de 2 fentes et observait sur un second écran des franges d'interférences produites par les rayons lumineux diffractés et issus des 2 fentes.

L'interprétation classique de ce phénomène fut très facile mais ça se compliqua quand on put envoyer les photons un par un et que le phénomène d'interférence était maintenu comme si les photons passaient par les deux fentes à la fois.

Les 2 photons issus de la diffraction lors du passage à travers les 2 fentes sont 2 photons intriqués car le photon initial Ph_0 , a une chance sur deux de passer par l'une ou l'autre des fentes et il y a production de 2 photons intriqués Ph_1 et Ph_2 dont les fonctions d'onde sont liées à celle du photon initial et sont donc corrélées.

En mécanique quantique, l'intrication quantique, ou enchevêtrement quantique, est un phénomène dans lequel deux particules (ou groupes de particules) forment un système lié, et présentent **des états quantiques dépendant l'un de l'autre quelle que soit la distance qui les sépare.**

On s'accorde à dire que ce sont Erwin Schrödinger et Albert Einstein qui ont

découvert au milieu des années 1930 le phénomène d'intrication dans les équations de la théorie quantique dont ils étaient parmi les plus importants pères fondateurs. Le phénomène d'intrication est l'un des phénomènes les plus troublants en mécanique quantique en accord avec l'interprétation de Copenhague de celle-ci. Schrödinger en tira une expérience de pensée qui deviendra célèbre avec son fameux chat : $| \text{Chat} \rangle = | \text{Chat mort} \rangle + | \text{Chat vivant} \rangle$

Une autre expérience de pensée, d'Einstein, non moins fameuse qui sera appelé le paradoxe ou l'effet EPR sera exposé dans un article publié en 1935 et il a été développé en collaboration avec Boris Podolsky et Nathan Rosen dans le but de réfuter l'interprétation de Bohr de la physique quantique.

Cet article désormais célèbre intitulé : « La description de la réalité physique par la mécanique quantique est-elle complète ? » Les auteurs y présentent le raisonnement EPR qui remet en cause le caractère complet du formalisme de la mécanique quantique. **Ce qui les gêne ? L'idée d'une possible influence voyageant plus vite que la lumière.**

En 1964, John Bell, théoricien irlandais travaillant au CERN montre que les positions respectives de Niels Bohr et d'Albert Einstein conduisent à des prédictions différentes. Il écrit des inégalités qui, appliquées aux résultats de mesures bien choisies portant sur des particules intriquées, permettraient de trancher le débat

Alain Aspect entreprend en 1975, à l'Institut d'optique d'Orsay, la construction d'une source de paires de photons intriqués d'une efficacité sans précédent, grâce à l'utilisation d'une excitation laser à deux photons.

Cette source lui permettra, avec ses collaborateurs, de réaliser en **1982** des tests des inégalités de Bell dans des situations très proches des expériences de pensée idéales sur lesquelles raisonnent les théoriciens.

Les résultats violent de façon très nette les inégalités de Bell, et sont en excellent accord avec les prédictions quantiques. Il n'existe donc pas de modèle dans l'esprit des conceptions dites « réalistes locales » d'Einstein, pour décrire les particules intriquées.

On ne peut pas se les représenter comme deux systèmes distincts portant deux copies identiques d'un ensemble de paramètres déterminant la totalité des propriétés physiques. Il faut admettre qu'il s'agit d'un système unique, « inséparable », décrit par un état quantique global.

Grâce à cette nouvelle source, **Alain Aspect** sera capable dès 1985 de maîtriser l'émission de photons uniques et de mettre en évidence des propriétés quantiques, sans équivalent classique, de la lumière ainsi obtenue.

Depuis la démonstration faite en 1982 de l'existence de l'intrication quantique par **Alain Aspect** et ses collègues, ce phénomène est observé dans de nombreuses expériences et il intervient maintenant depuis la fin des années 1990 dans des programmes de recherches qui font rêver.

L'intrication quantique est maintenant comprise comme un phénomène fondamental de la mécanique quantique. Des systèmes, comme deux particules, se retrouvent alors dans un état quantique dans lequel ils ne forment plus qu'un seul système dans un certain sens subtil.

Avant l'intrication, deux systèmes physiques sans interactions sont dans des états quantiques indépendants mais, après l'intrication, ces deux états sont en quelque sorte « *emmêlés* » et il n'est plus possible de décrire ces deux systèmes de façon indépendante.

On montre clairement que deux particules intriquées, sont, en quelque sorte, un tout indivisible, même si elles sont séparées par des années-lumière. L'observation d'une propriété de la première particule, ou plus généralement d'un de deux systèmes physiques quantiquement intriqués, va provoquer plus vite que la lumière (on ne sait pas si l'effet est instantané) une modification d'une autre propriété similaire pour l'autre particule, et ce, de façon corrélée, pas arbitraire bien qu'avec une loi de probabilité

L'intrication quantique a ouvert un champ de recherche très actif

Les propriétés quantiques des paires de photons intriqués et des photons uniques sont aujourd'hui utilisées pour réaliser des opérations de transmission sécurisée de l'information par cryptographie quantique. Dans ces méthodes, la sécurité de la transmission est garantie par les lois fondamentales de la physique quantique, et ne repose pas, comme les méthodes classiques de cryptographie, sur l'hypothèse que l'adversaire (celui qui cherche à déchiffrer le message secret) a un niveau de connaissances mathématiques, ou de développement informatique, qui ne dépasse pas l'état de l'art actuel.

Le phénomène d'intrication est également à la base des travaux sur l'ordinateur quantique qui pourrait, s'il était un jour réalisé, avoir une puissance de calcul exponentiellement plus grande que celle des ordinateurs classiques. Ces recherches en information quantique sont susceptibles d'avoir un impact considérable dans le domaine de la sécurité des communications, par exemple sur la « toile ».