

qu'on prend «la chose qui provoque l'effondrement de la fonction d'onde» et qu'on commence à la décrire quantiquement», explique Marc-Olivier Renou, de l'université de Genève. «La théorie ne définit pas ce qu'est un observateur, et différentes versions sont envisageables. Par exemple, un être doué de conscience, ou encore un système complexe doté d'une mémoire.» Cependant, la notion de mémoire est problématique en physique quantique. «En effet, d'un point de vue technique, toute la bizarrerie de ces expériences est que l'on utilise des outils mathématiques unitaires et donc réversibles sur des observateurs qui ont une mémoire. Or, la mémoire est un processus irréversible (au moins pendant un certain temps)», ajoute Antoine Tilloy, de l'institut Max-Planck d'optique quantique, à Munich. «Si on applique ces outils, cela revient à effacer la mémoire des observateurs!»

UNE COHÉRENCE MISE EN DÉFAUT

En 2016, Daniela Frauchiger et Renato Renner ont proposé une version améliorée de l'expérience de pensée de «l'ami de Wigner». En s'appuyant sur des hypothèses, *a priori* raisonnables (la physique quantique est valide de façon universelle, les prédictions de deux observateurs ne sont jamais contradictoires et une mesure donne un seul résultat), les deux chercheurs ont montré que deux observateurs arrivent parfois à des résultats contradictoires concernant une mesure en s'appuyant uniquement sur des arguments issus de la théorie quantique. Pour résoudre ce problème, il faut alors accepter qu'une des hypothèses raisonnables ne soit pas valide. L'étude n'indique pas laquelle est à rejeter, mais chaque possibilité éclaire sous un nouveau jour les différentes interprétations de la physique quantique et oblige les chercheurs à bien comprendre les particularités de chaque interprétation et les principes qu'elle admet, parfois pas toujours de façon très explicite.

En quoi consiste l'expérience de pensée de Daniela Frauchiger et Renato Renner? Comparé à l'idée de Wigner, il y a maintenant quatre acteurs: Alice et l'ami d'Alice, Bob et l'amie de Bob. L'ami d'Alice est dans son labo et réalise une expérience sur un système quantique; Alice est à l'extérieur de son labo. L'amie de Bob est dans son labo et réalise une expérience; Bob est à l'extérieur.

L'expérience commence avec l'ami d'Alice qui fait une mesure, l'équivalent d'un «pile» ou «face» avec une pièce quantique présentant une probabilité un tiers d'avoir «face» et deux tiers d'avoir «pile». Si c'est face, l'ami d'Alice prépare un électron avec un spin «bas» et l'envoie à l'amie de Bob. Si c'est «pile», le système est préparé de telle sorte que l'électron

CONTRADICTIONS QUANTIQUES

L'expérience de pensée de Daniela Frauchiger et Renato Renner oblige les physiciens à abandonner l'une des hypothèses *a priori* raisonnables sur lesquelles repose la physique quantique.

Q : L'UNIVERSALITÉ

Tout dans l'Univers obéit aux lois de la physique quantique.



Cette hypothèse est contredite par les théories selon lesquelles les grands systèmes quantiques s'effondrent d'eux-mêmes.

C : LA COHÉRENCE

Les prédictions de deux observateurs ne sont jamais contradictoires.



Cette hypothèse est contredite par des théories comme le QBism, postulant que les résultats des mesures dépendent de l'observateur.

S : L'UNICITÉ

Une mesure donne un seul résultat.



Dans la théorie des mondes multiples, tous les résultats possibles d'une mesure adviennent chacun dans son propre univers.

est dans une superposition équiprobable de «haut» et «bas». Deuxième étape: l'amie de Bob mesure le spin de l'électron qu'elle a reçu. Quand elle obtient «haut», elle peut facilement déduire que l'ami d'Alice avait tiré «pile».

Qu'en est-il pour Alice et Bob? Ils considèrent, à la façon de Wigner, que leur ami respectif et son labo sont intriqués et font des prédictions sur les mesures en utilisant les règles de la physique quantique. À ce stade du raisonnement, il faut introduire la première hypothèse de l'expérience: la physique quantique est valide de façon universelle et peut s'appliquer à tout système, peu importe sa taille et sa complexité (Q). Il n'y a donc pas de coupure de Heisenberg et on suppose une situation idéale où on contrôle parfaitement le système de sorte qu'il est possible de considérer le laboratoire et l'ami à l'intérieur dans un état de superposition. Ainsi, comme chez Wigner, l'ami d'Alice connaît précisément le résultat de son tirage, mais pour Alice, le labo et son ami sont dans un état superposé «pile» et «face».

Dans l'expérience des deux chercheurs de Zurich, Alice opère une mesure quantique particulière sur le labo et son ami qui lui donne une certaine réponse (notée «oui» ou «non») à partir de laquelle elle peut déduire le résultat de la mesure de l'amie de Bob. Et, en particulier, si elle obtient «oui», elle en déduit que son ami a obtenu «pile». Pour cela, il faut faire appel à la deuxième hypothèse: la physique quantique présente une