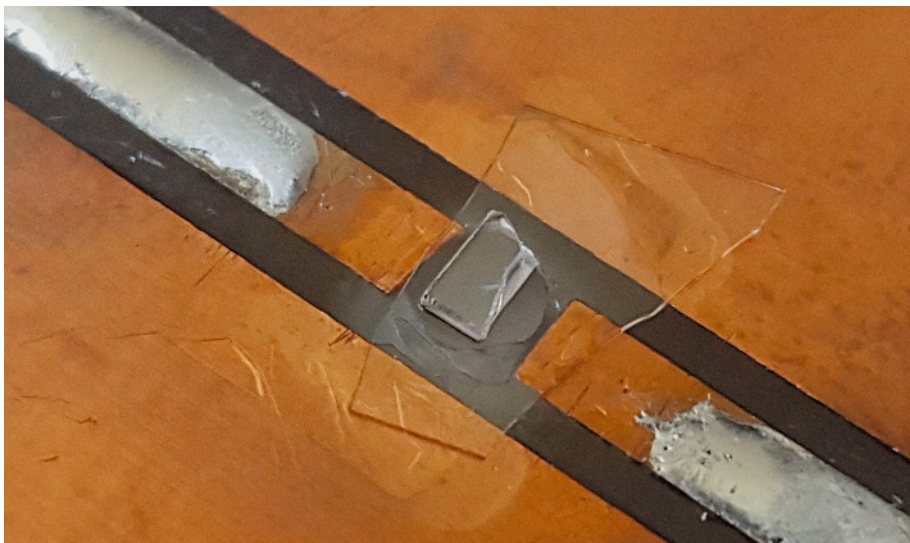




En moyenne, chaque spin azote-lacune est fortement associé à quatre spins de carbone ^{13}C à une distance d'environ 1 nanomètre.

En contrôlant et étudiant les spins à l'aide de lasers et d'impulsions radiofréquences, les chercheurs ont pu mesurer comment un changement dans le spin de l'azote est enregistré par les changements dans les spins nucléaires de l'environnement. Comme ils l'ont rapporté en septembre 2019, ils ont également observé la redondance caractéristique prédite par le darwinisme quantique : l'état du spin de l'azote est « enregistré » sous la forme de copies multiples dans l'environnement, et les informations sur le spin saturent d'autant plus rapidement que la fraction de l'environnement considérée est plus grande.

Selon Wojciech Zurek, les expériences avec les photons créent des copies d'une façon artificielle, laquelle ne fait que simuler un véritable environnement, elles n'intègrent pas un véritable processus de sélection qui extraierait des états pointeurs naturels résilients à la décohérence. Ce sont plutôt les chercheurs qui imposent les états pointeurs.

Par contre, l'environnement dans le diamant suscite bien des états pointeurs, même si « l'expérience pose aussi un problème à cause de la taille de l'environnement, ajoute Wojciech Zurek, mais au moins celui-ci est naturel. »

GÉNÉRALISER LE DARWINISME QUANTIQUE

Jusqu'à présent, tout va bien pour le darwinisme quantique. « Toutes ces études révèlent ce à quoi on s'attendait, du moins approximativement », précise Wojciech Zurek.

Jess Riedel estime qu'on pouvait difficilement s'attendre à autre chose. Selon lui, cette théorie n'est que l'application prudente et systématique de la mécanique quantique standard

à l'étude de l'interaction d'un système quantique avec son environnement. Bien que cela soit virtuellement impossible à faire en pratique pour la plupart des mesures quantiques, les prédictions sont claires, si l'on peut suffisamment simplifier une mesure : « le darwinisme quantique ressemble plutôt à un contrôle interne d'autocohérence effectué sur la théorie quantique elle-même. »

Toutefois, bien que ces études soient cohérentes avec la théorie, elles ne peuvent pas encore faire office de preuve définitive. Par exemple, rappelle Adán Cabello, les trois expériences ne proposent que des versions schématisées de ce qu'est réellement un environnement.

Par ailleurs, ces expériences n'écartent pas toute autre explication du passage vers le classique. Ainsi, une alternative nommée « théorie du spectre de diffusion », développée par Pawel Horodecki, de l'école polytechnique de Gdańsk, en Pologne, et ses collaborateurs, tente de généraliser le darwinisme quantique. La théorie du spectre de diffusion (qui n'a été traitée que pour quelques cas idéalisés) identifie les états d'un système quantique intriqué avec son environnement, lesquels fournissent des informations objectives que de nombreux observateurs peuvent obtenir sans les perturber. En d'autres termes, elle vise à assurer non seulement que différents observateurs peuvent accéder aux répliques du système dans l'environnement, mais aussi qu'en agissant de la sorte, ils n'affectent pas les autres répliques. Et cette propriété est aussi une caractéristique des mesures classiques.

Pawel Horodecki et d'autres théoriciens ont aussi cherché à intégrer le darwinisme quantique dans un cadre théorique qui n'impose pas de séparation arbitraire entre un système d'une part et son environnement de l'autre. L'idée est ici de comprendre comment la réalité classique peut émerger des interactions entre différents systèmes quantiques. Pourra-t-on trancher ? Pas sûr. Mauro Paternostro estime que les prédictions de ces théories se distinguent de façon très subtile, et peut-être trop pour être révélées expérimentalement.

Quoi qu'il en soit, les chercheurs poursuivent leurs efforts, et de toute façon nous en saurons plus sur le fonctionnement du monde quantique. « La meilleure raison d'effectuer ces expériences repose probablement dans le fait qu'elles constituent un très bon exercice, remarque Jess Riedel. L'illustration directe du darwinisme quantique peut nécessiter des mesures très difficiles qui repousseront les limites des techniques de laboratoire actuelles. » La seule façon de découvrir ce qu'une mesure signifie réellement, semble-t-il, est d'effectuer de meilleures mesures. ■

BIBLIOGRAPHIE

T. UNDEN ET AL., Revealing the emergence of classicality in nitrogen-vacancy centers, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 123, 140402, 2019.

M.-C. CHEN ET AL., Emergence of Classical Objectivity of Quantum Darwinism in a Photonic Quantum Simulator, *Science Bulletin*, vol. 64, pp. 580-585, 2019.

M. CIAMPINI ET AL., Experimental signature of quantum Darwinism in photonic cluster states, *Phys. Rev. A*, vol. 98, 020101, 2018.

C. RIEDEL ET W. ZUREK, Quantum Darwinism in an Everyday Environment: Huge Redundancy in Scattered Photons, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 105, 020404, 2010.

W. ZUREK, Quantum Darwinism, *Nature Physics*, vol. 5, pp. 181-188, 2009.

L'ESSENTIEL

- La physique quantique est bien embarrassée par le rôle à attribuer aux observateurs.
- Plusieurs expériences de pensée poussent dans leurs retranchements les différentes théories en lice.

- Elles obligent à renoncer à certaines hypothèses *a priori* raisonnables de la physique quantique: l'universalité, la cohérence et l'unicité du résultat d'une mesure.
- Des versions expérimentales de ces raisonnements existent désormais.

L'AUTEUR



SEAN BAILLY
est journaliste au magazine
Pour la Science.

L'ami de Wigner, un paradoxe mis à l'épreuve

En physique quantique, le rôle attribué à l'observateur varie de simple figurant à acteur central selon les diverses interprétations de la théorie. Comment y voir plus clair ? Grâce à une version améliorée de l'expérience de pensée « l'ami de Wigner ».

E

n 1935, Erwin Schrödinger, l'un des fondateurs de la physique quantique, imaginait sa célèbre expérience de pensée du chat dans sa boîte. Aujourd'hui, cette histoire est utilisée pour illustrer auprès du grand public certains des aspects les plus surprenants et contre-intuitifs de la physique quantique: le chat, exposé à un

dispositif mortel au déclenchement aléatoire (de nature quantique comme la désintégration d'un atome radioactif), est à la fois « vivant » et « mort » dans la boîte fermée. Mais cette expérience de pensée souligne aussi certaines des questions fondamentales de la physique quantique qui sont encore aujourd'hui sans réponses.

L'« ami de Wigner » est une sorte de version revisitée du chat de Schrödinger avec des chercheurs qui font des expériences de physique quantique dans leurs laboratoires (l'équivalent de la boîte du chat). En 2016, Daniela Frauchiger et Renato Renner, de l'école polytechnique fédérale de Zurich, ont proposé une nouvelle expérience de pensée inspirée de celle de Wigner, mais plus subtile, qui permet de sonder les fondements des diverses interprétations de la physique quantique.

Lorsque les deux physiciens ont soumis leur idée, les réactions ont été vives au sein de la communauté des chercheurs. En effet, cette ➤