

Le darwinisme quantique à l'heure des tests

Le darwinisme quantique est une des pistes explorées pour expliquer le passage du monde quantique à la réalité objective classique. Trois expériences récentes soutiennent le bien-fondé de cette idée.

L

a physique quantique dépeint un monde étrange et contre-intuitif. De fait, il ne ressemble en rien à celui dont nous faisons l'expérience au quotidien, au moins mécaniquement parlant. Jusqu'au xx^e siècle, tout le monde pensait que les lois de la physique classique formulées par Isaac Newton et d'autres s'appliquaient à toutes les échelles. Dans ce cadre, n'importe quel objet a une position et des propriétés bien définies à tous moments. Ce n'est pas le cas.

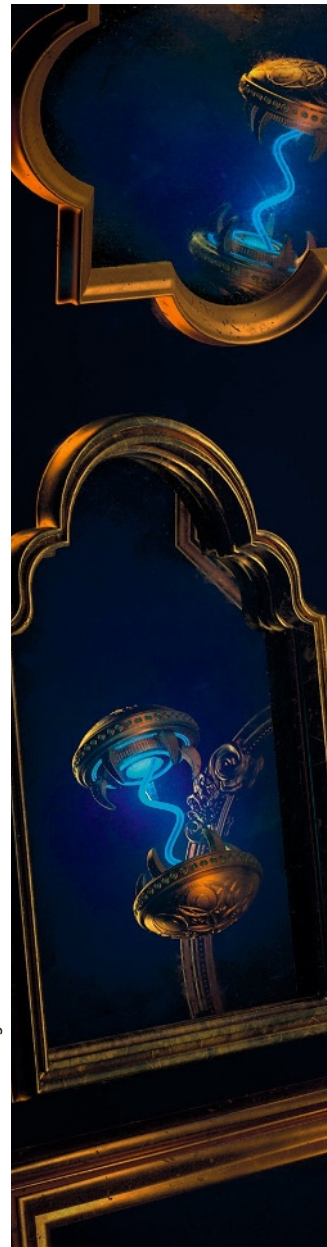
Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr et leurs contemporains ont découvert que, à l'échelle des atomes et des particules subatomiques, cette loi de bon sens disparaît, engloutie dans un océan de possibilités. On ne peut pas, par exemple, assigner une position définie à un atome: on peut à peine calculer la

probabilité de le trouver en tel endroit. La question devient alors: comment des probabilités du monde quantique peuvent-elles se métamorphoser en la réalité tangible du monde classique?

À propos de ce phénomène, les physiciens parlent de «transition quantique-classique». Toutefois, on découvre depuis peu qu'il n'y a pas de raison de penser que les règles changent selon les échelles, petite ou grande. En d'autres termes, aucune transition soudaine ne marque le passage entre les deux. Ces dernières décennies, des chercheurs ont mieux compris comment la mécanique quantique devient classique lorsqu'une particule, ou un autre système microscopique, interagit avec son environnement.

LA SURVIE DU PLUS APTE

Dans ce cadre, l'une des idées les plus intéressantes est que les propriétés classiques des objets (comme la position et la vitesse), résultent d'une sélection au sein d'un champ de possibilités quantiques selon un processus analogue à la sélection naturelle dans le monde vivant. Les propriétés qui survivent sont, en quelque sorte, les plus «adaptées». Ce sont elles qui génèrent ensuite le plus de copies d'elles-mêmes pour qu'en fin de compte de nombreux observateurs indépendants puissent mesurer un système quantique et se mettre d'accord sur le résultat. On retrouve alors une caractéristique du monde classique.



© Olena Shmahalo/Quanta Magazine

L'ESSENTIEL

● La transition quantique-classique intrigue les physiciens depuis le début du xx^e siècle. Comment les propriétés contre-intuitives du monde quantique disparaissent-elles à l'échelle macroscopique?

● Pour l'expliquer, les physiciens Dieter Zeh et Wojciech Zurek ont développé une théorie, le darwinisme quantique.

● Elle stipule que des copies de l'état quantique d'un système sont transférées à l'environnement et que seules les plus robustes, les plus aptes, peuvent être observées.

● Ces idées ont récemment été testées par trois expériences distinctes.

L'AUTEUR



PHILIP BALL est journaliste scientifique. Il contribue régulièrement à *Quanta Magazine*, mais aussi à *Nature*, *New Scientist*...



Quanta
magazine

Cet article a d'abord été publié en anglais par *Quanta Magazine*, une publication en ligne indépendante soutenue par la Simons Foundation afin de favoriser la diffusion des sciences: <http://bit.ly/QM-QDarwin>



> Cette idée, le darwinisme quantique, explique pourquoi nous percevons le monde de façon «classique», et non de la manière si particulière avec laquelle il se manifeste à l'échelle des atomes et des particules fondamentales. Bien que certains aspects de l'énigme restent à préciser, le darwinisme quantique aide à bâtir des ponts au-dessus de la faille, seulement apparente, qui sépare la physique quantique de la physique classique.

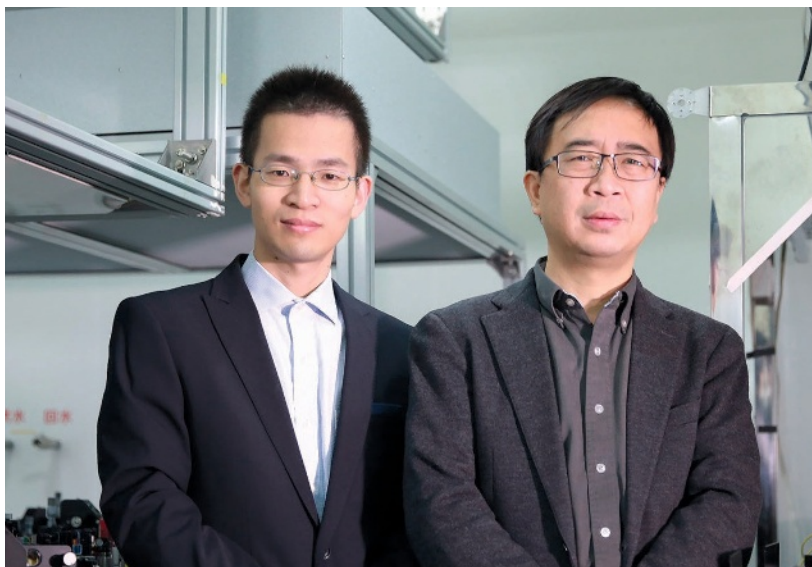
Cette idée a quitté récemment le monde théorique pour celui des tests expérimentaux. Trois groupes de recherche, travaillant indépendamment en Italie, en Chine et en Allemagne, se sont mis en quête de la signature de ce processus de sélection naturelle quantique. Ces tests sont rudimentaires, et demandent à être confirmés, mais jusqu'à présent, la théorie se vérifie.

STRANGER THINGS

Au cœur du darwinisme quantique se trouve la notion incertaine de mesure – le processus d'observation. En physique classique, ce que l'on voit est simplement ce qui est. Et il n'y a rien à ajouter. En physique quantique, ce n'est plus vrai. Les mathématiques formelles de la mécanique quantique ne disent rien d'évident sur «la nature des choses» dans un objet quantique; elles ne sont qu'une indication sur ce que nous pourrions voir si nous le mesurons. Ainsi, une particule quantique peut avoir un éventail d'états possibles que l'on dit «superposés». Cela ne signifie pas qu'elle est dans différents états en même temps, mais plutôt que, si nous la mesurons, nous observerions l'une de ces possibilités. Avant la mesure, les différents états superposés interfèrent, et peuvent chacun constituer le résultat avec une probabilité propre.

Mais pourquoi ne pouvons-nous pas voir une superposition quantique? Pourquoi tous les états possibles d'une particule ne survivent-ils pas jusqu'à l'échelle humaine? On répond souvent que les superpositions sont fragiles, facilement perturbées par le bruit de l'environnement. Ce n'est pas tout à fait exact. Lorsque deux objets quantiques interagissent, ils s'enchevêtrent, et adoptent un état quantique partagé où les possibilités pour leurs propriétés sont interdépendantes, c'est l'intrication quantique.

Prenons un atome dans une superposition de deux états possibles pour son spin: «haut» et «bas». L'atome est ensuite libéré, et heurte une molécule de l'atmosphère avec laquelle il s'intrique; les deux sont désormais dans une superposition jointe. La molécule d'air peut être poussée dans un sens quand le spin de l'atome est «haut» et dans un autre avec un atome au spin «bas». Ces deux possibilités coexistent.



Chaoyang Lu (à gauche) et Jian-Wei Pan (à droite) ont récemment dirigé une expérience qui a testé le darwinisme quantique dans un environnement artificiel composé de photons en interaction.

À mesure que ces particules rencontrent d'autres molécules dans l'air, l'intrication se répand, et la superposition initialement spécifique à l'atome se diffuse. Les états superposés de l'atome n'interfèrent plus de façon cohérente, car ils sont désormais intriqués avec d'autres états dans l'environnement, parmi lesquels, peut-être, se trouve un instrument de mesure. Pour celui-ci, la superposition de l'atome a disparu et a été remplacée par une liste de résultats classiques qui n'interfèrent plus.

Cette disparition du «caractère quantique» d'un système dans l'environnement est la décohérence. C'est l'événement crucial de la transition quantique-classique, qui explique pourquoi un comportement quantique est difficile à observer dans des systèmes macroscopiques. Ce processus est extrêmement fugace.

Étonnamment, bien que la décohérence soit inhérente à la mécanique quantique, elle n'a été identifiée que dans les années 1970, par l'Allemand Heinz-Dieter Zeh. L'Américano-Polonais Wojciech Zurek, aujourd'hui au Laboratoire national de Los Alamos, dans le Nouveau-Mexique, développa l'idée au début des années 1980 et la popularisa.

Mais pour expliquer l'émergence de la réalité classique et objective, il ne suffit pas de dire que la décohérence efface le comportement quantique d'un système. D'une certaine façon, plusieurs observateurs peuvent s'accorder sur les propriétés d'un système quantique. Pour ce faire, Wojciech Zurek, estime que deux conditions doivent être remplies.

D'abord, les systèmes quantiques doivent avoir des états particulièrement robustes, face à la décohérence perturbatrice de l'environnement. Wojciech Zurek parle d'«états pointeurs» parce qu'ils peuvent être représentés par une aiguille pointant une position sur le