

2025, année de la physique quantique



De quoi la physique quantique est-elle le nom ?

Cette année 2025 marque le centenaire de la naissance de la mécanique quantique moderne. À cette occasion, l'ONU l'a proclamée « année internationale des sciences et technologies quantiques », avec l'objectif affiché de sensibiliser le public aux révolutions induites par la physique quantique dans notre vie quotidienne.

La physique quantique est née en réalité 25 ans plus tôt, en 1900, avec Max Planck et l'émergence de l'idée que l'énergie, comme la matière avec ses atomes, est constituée de grains indivisibles, les quanta d'énergie : c'est la naissance de la théorie des quanta, l'ancienne théorie quantique. Puis vient très vite l'évidence, avec Albert Einstein, que la lumière se comporte à la fois comme une onde (étendue par nature) et une particule (localisée), un paradoxe incompatible

avec les théories « classiques ». Ce constat est étendu par Louis de Broglie aux particules matérielles, comme les électrons, dès 1924. Et c'est donc l'année suivante qu'émerge la « mécanique » quantique.

Elle change notre vision du monde, ou plutôt, elle crée un deuxième monde, le monde quantique, qui vient compléter le monde réel, classique, que nous connaissons. Dans le monde quantique, les objets ont des propriétés extrêmement difficiles, voire impossibles à appréhender.

“Elle change notre vision du monde, ou plutôt, elle crée un deuxième monde, le monde quantique, qui vient compléter le monde réel, classique, que nous connaissons.”

Par exemple, un objet quantique peut être dans une superposition d'états. L'état d'un objet, c'est tout ce qui le caractérise et qui peut changer. Par exemple la position, la vitesse, l'état de santé d'un être vivant. Dans le monde quantique, vous pouvez être en train de vous promener sur la digue à Wimereux et assis dans votre bureau à Lille. Un chat peut être vivant et mort.

“Un chat peut être vivant et mort.”

Le monde quantique et le monde réel sont tous deux déterministes : les mêmes causes produisent les mêmes effets. Mais le monde quantique nous est inaccessible. Le simple fait d'observer un objet quantique le fait passer dans le monde réel. Son état change instantanément et redevient « classique » : si l'on vous observe, vous vous retrouvez à un seul endroit, la digue à Wimereux ou votre bureau à Lille. L'état final est « choisi » de façon aléatoire, c'est donc le passage du monde quantique au monde réel qui génère du hasard.

Lorsque deux objets quantiques interagissent, leurs états s'entremêlent, et les états des deux objets deviennent interdépendants : on parle d'intrication quantique. Si on limite les états d'un smartphone à « allumé » et « éteint », on peut intriquer deux téléphones en superposant l'état « les deux smartphones

sont allumés » avec l'état « les deux smartphones sont éteints ». Lorsqu'on ramène l'un des deux objets dans le monde réel (simplement en l'observant), l'autre objet revient lui aussi instantanément dans le monde réel, avec le même état que le premier.

Et ce, même si l'on a éloigné les objets après

les avoir intriqués. En d'autres termes, le fait de « lire » l'état d'un smartphone déclenche à distance le retour du deuxième smartphone dans le monde réel, et si le premier est allumé, le second sera aussi allumé. Il semble y avoir une transmission instantanée d'information, ce qui est en contradiction avec la théorie de la relativité, où l'information ne peut pas se déplacer plus vite que la vitesse de la lumière. En fait, ce n'est pas le cas : l'intrication ne remet en cause cette limite, mais le principe même de localité des objets. Les deux smartphones constituent en fait un seul objet qui n'est plus localisé à un endroit bien défini, comme dans le monde réel.

Certains des fondateurs de la mécanique quantique, et notamment Niels Bohr, ont beaucoup joué avec la notion de réalité, en affirmant que ce qui se passe entre deux observations, deux mesures, n'est pas réel. Seul serait réel le monde que nous percevons, que j'appelle ici le « monde réel », et qu'il serait plus juste de qualifier de « monde où les lois de la physique classique s'appliquent ». Au cours des dernières décennies, des travaux, notamment ceux de Serge Haroche, ont montré que la nature est plus subtile. En particulier, si dans le monde quantique un objet interagit avec plusieurs autres objets, et donc s'intrique avec plusieurs autres objets, son état tend vers un état du monde classique au fur et à mesure que le nombre d'intrications augmente.

Ainsi, sans qu'on l'ait observé ni mesuré quoi que ce soit, l'objet perd son « exotisme » quantique. La mesure ne fait plus alors intervenir de processus fondamentalement aléatoire, elle ne fait que révéler un état préexistant (que l'on n'a certes aucun moyen de connaître avant la mesure).

La théorie quantique n'a pas seulement révolutionné notre vision du monde, mais aussi notre quotidien. Les technologies qui doivent leur existence ou leur développement à la théorie quantique sont en effet nombreuses, dans des domaines très variés, depuis l'électronique jusqu'à l'optique ou encore le magnétisme. Ce sont par exemple les lasers, les transistors et les circuits imprimés, les LEDs, les horloges atomiques, le microscope à effet tunnel ou les supraconducteurs. Internet. les ordinateurs. l'imagerie

“La théorie quantique n'a pas seulement révolutionné notre vision du monde, mais aussi notre quotidien.”

médicale, l'éclairage, les GPS, l'industrie ou même les loisirs auraient un tout autre visage sans la théorie quantique. Et grâce à la maîtrise de l'intrication quantique, d'autres technologies sont en train de voir le jour, notamment la cryptographie quantique et les ordinateurs quantiques.

Dans les laboratoires de recherche aussi, la physique quantique est omniprésente, au moins sous la forme d'outils, mais elle est aussi au cœur de recherches dédiées. Comme l'ont montré les dernières décennies, ce n'est pas parce

que la théorie « marche » bien – elle n'a jamais été mise en défaut alors que c'est probablement la théorie qui a été la plus testée – qu'il n'y a pas encore des choses à comprendre et à découvrir. C'est ainsi que l'équipe « systèmes quantiques » du laboratoire PhLAM (physique des lasers, atomes et molécules), sur le campus Cité scientifique, s'est donné pour objectif d'élargir notre compréhension de la physique quantique, mais aussi de l'utiliser pour le développement des nouvelles technologies.

Daniel Hennequin

Daniel Hennequin est physicien, directeur de recherche au Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules (PhLAM) et chroniqueur de l'émission « ramène ta science » sur Ici.

Conférence

Physique quantique, imaginaire et réalité - du chat de Schrödinger aux technologies quantiques

Mardi 7 octobre à 18h30

Espace culture,
campus Cité scientifique

Daniel Hennequin

En partenariat avec ALEA

Évènements associés

Mardi 14 octobre à 18h30

Espace culture

Campus Cité scientifique

Conférence

Le fallacieux dualisme de la théorie quantique

Par Jean-Marc Levy-Leblond, physicien et essayiste, professeur émérite de l'Université de Nice.

Voici environ un siècle s'élaborait la théorie quantique. Afin de caractériser le comportement contre-intuitif de ses objets (photons, électrons, etc.), les physiciens furent amenés à proposer la notion d'un « dualisme onde-corpuscule », selon lequel la nature même de ces objets serait duale. Mais cette idée n'a jamais été très claire, et reçoit plusieurs interprétations. Pour certains, le photon (pris ici comme exemple) serait à la fois onde et corpuscule, pour d'autres, il serait tantôt onde et tantôt corpuscule, pour d'autres encore, il serait constitué d'une onde et d'un corpuscule couplés. Aucune de ces interprétations pourtant ne correspond à la description formelle du photon au sein de la théorie quantique. Elles ne constituent que des constructions verbales de l'ordre du pis-aller. La survie de cette notion doit céder la place à une conception moniste autonome des objets quantiques, qui ne sont de fait, ni ondes, ni corpuscules.

Répondant : Bernard Maitte

En partenariat avec ALEA

Mardi 21 octobre à 18h30

Espace culture

Campus Cité scientifique

Conférence

D'où vient la physique quantique ?

Par Bernard Pourprix, professeur honoraire à l'Université de Lille.

Vers 1900, la physique classique est en crise. C'est aux confins de celle-ci que va se développer la physique quantique, par ruptures successives. Le premier Conseil de physique Solvay (1911) entérine la discontinuité quantique, mais deux décennies sont encore nécessaires pour l'édification de la mécanique quantique. C'est peut-être chez Niels Bohr que se manifeste le plus nettement la tension entre rupture et continuité ; son principe de correspondance, sa théorie de la complémentarité, sa conception de la dualité onde-particule illustrent son souci épistémologique d'une continuité entre la physique quantique et la physique classique. Jusqu'à la fin des années 1920, la physique quantique est concernée principalement par les expériences spectroscopiques, dans lesquelles les particules conservent leur intégrité physique. À la fin des années 1920, Paul Dirac incorpore la relativité restreinte dans la mécanique quantique et ouvre la voie à la théorie quantique des champs ; en élaborant un formalisme qui prend en compte les processus de création et d'annihilation de particules, il permet à la physique quantique de s'enrichir des apports de la « physique des particules » naissante.

Répondant : Daniel Hennequin

En partenariat avec ALEA