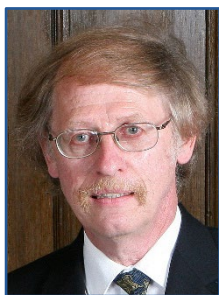


DEUX QUESTIONS POUR LE BICENTENAIRE



Par **LOUIS MARCHILDON** < louis.marchildon@uqtr.ca >

Département de physique, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, G8Z 4M3, Canada

La mécanique quantique est née au cours de l'été 1925, alors que le jeune physicien Werner Heisenberg se retirait dans l'île de Helgoland, au nord de l'Allemagne, pour fuir les allergies qui l'accablaient. Au cours des cent dernières années, la théorie a donné lieu à d'innombrables applications. L'électrodynamique quantique, l'une de ses généralisations, a révélé un accord entre prédictions et mesures d'une précision stupéfiante, meilleure qu'une partie dans mille milliards [1].

Et pourtant, les fondements de la théorie échappent toujours à la compréhension. Cela tient à deux propriétés qui distinguent radicalement la mécanique quantique de son pendant classique : la superposition et l'intrication. La première signifie que toute combinaison linéaire de vecteurs d'état quantiques est un état quantique ; la seconde permet des corrélations dont l'explication semble requérir une action à distance transmise instantanément. Les deux propriétés sont essentielles à l'élaboration d'ordinateurs quantiques, dont on parle abondamment depuis que Peter Shor [2] a montré leur rapidité dans la factorisation en nombres premiers.

On s'accommoderait de la superposition si elle ne s'appliquait qu'à des systèmes microscopiques, comme un électron. Mais voilà : dans la mesure où la théorie a une valeur universelle, superposition microscopique implique superposition macroscopique, comme dans le cas du chat de Schrödinger. Différentes interprétations de la mécanique quantique (l'onde pilote de Bohm et de Broglie [3], les mondes multiples d'Everett [4] ou la réalité relationnelle de Rovelli [5], par exemple) tentent de réconcilier la superposition macroscopique avec ce qu'on observe. Une solution très différente, qui remonte à Dirac et von Neumann [6], consiste à affirmer que la superposition macroscopique est impossible, c'est-à-dire qu'à partir d'une certaine échelle, la théorie quantique n'est plus valable.

La théorie quantique rend compte du monde microscopique, alors que la structure à grande échelle de l'univers est décrite par la théorie de la relativité générale. Celle-ci n'a, jusqu'à maintenant, jamais été prise en défaut. La relativité générale est une théorie classique, incompatible avec la mécanique quantique. La plupart des chercheurs estiment que l'incompatibilité sera résolue lorsqu'on aura élaboré une théorie quantique de la gravité. D'autres, comme Roger Penrose [7], croient que le principe de superposition ne s'applique pas au champ gravitationnel, et que celui-ci est le responsable de la réduction du vecteur d'état.

La construction d'un ordinateur quantique performant pose des défis colossaux. Il faut maintenir l'intrication des « qubits », malgré les perturbations dues à l'environnement. Mais le défi n'est pas que

technique. Si la mécanique quantique n'est plus valable à une certaine échelle, la taille et la puissance des ordinateurs quantiques sont limitées. Dans ce sens, la construction d'ordinateurs quantiques de plus en plus puissants constitue un test sévère de la théorie quantique.

Ces réflexions conduisent à de nombreuses interrogations, qu'on peut sans doute ramener à deux questions fondamentales :

1. Est-ce qu'un jour, le développement des ordinateurs quantiques sera freiné par une limite fondamentale de la validité de la théorie quantique ?
2. Le champ gravitationnel (Figure 1) satisfait-il au principe de superposition et, si oui, comment en donner une version quantique ?

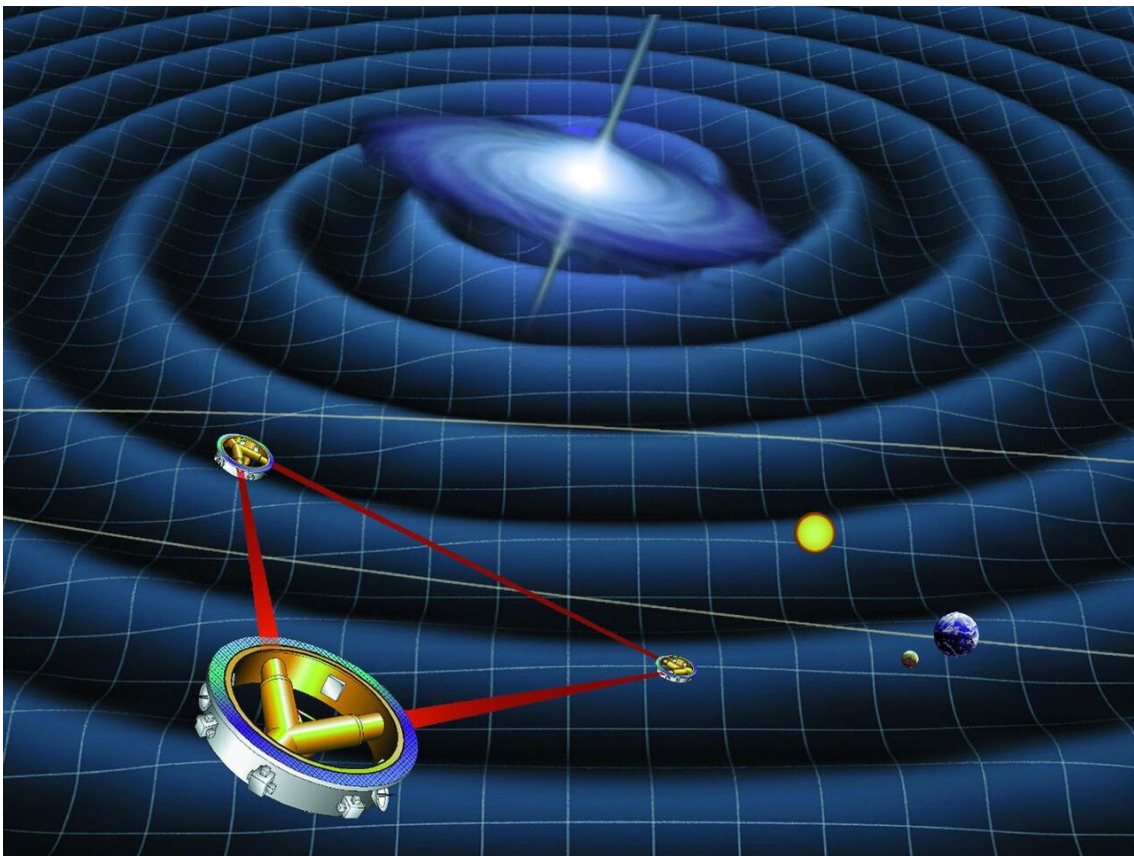


Figure 1. LISA, un interféromètre triangulaire prévu par l'Agence spatiale européenne pour 2035, pourrait détecter des signes de gravité quantique dans les ondes gravitationnelles produites lors de la fusion de trous noirs ou dans les premiers instants de l'univers. (Source : Wikimedia Commons.)

Ces questions, sous une forme ou une autre, nous accompagnent depuis plusieurs décennies. Y répondrons-nous bientôt ? En tout cas, je m'empresserais de les poser si je revenais sur terre en 2125, au moment de célébrer le bicentenaire de la théorie quantique.

RÉFÉRENCES

1. X. Fan, T. G. Myers, B. A. D. Sukra et G. Gabrielse, Measurement of the electron magnetic moment, *Phys. Rev. Lett.* **130**, 071801 (2023).
2. P. W. Shor, *Proc. 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science* (IEEE Computer Society, 1994), pp. 124-134.
3. L. de Broglie, La mécanique ondulatoire et la structure atomique de la matière et du rayonnement, *J. Phys. Radium* **8**(5), 225-241 (1927).
4. H. Everett, "Relative State" formulation of quantum mechanics, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 454-462 (1957).
5. C. Rovelli, Relational Quantum Mechanics, *Int. J. Theor. Phys.* **35**, 1637-1678 (1996).
6. J. von Neumann, *Les Fondements mathématiques de la mécanique quantique* (Félix Alcan, 1946).
7. R. Penrose, On Gravity's role in Quantum State Reduction, *Gen. Rel. Grav.* **28**, 581-600 (1996).