

> de la structure globale du multivers, même aux plus grandes échelles de distance.

Afin de mieux expliquer comment l'interprétation des mondes multiples de la physique quantique pourrait décrire le multivers inflationnaire, je dois faire une digression et parler des trous noirs. Ces astres très compacts déforment l'espace-temps environnant de façon extrême, au point que tout objet qui y tombe ne peut s'en échapper. La frontière qui définit le point de non-retour et qui sépare l'intérieur de l'extérieur du trou noir est nommée l'horizon des événements. Les trous noirs représentent un terrain de réflexion idéal pour la physique faisant intervenir des effets quantiques et gravitationnels forts. Une expérience de pensée sur ces entités nous montre où le concept traditionnel de multivers fait fausse route et rend impossibles les prédictions.

Imaginez que nous fassions tomber un livre dans un trou noir et que nous observions de l'extérieur ce qui se passe. Alors que le livre lui-même ne pourra jamais s'échapper du trou noir, la théorie quantique impose que l'information contenue dans celui-ci ne sera pas perdue. Or un trou noir s'évapore progressivement en émettant un faible rayonnement (un phénomène connu sous le nom de rayonnement de Hawking, découvert par le physicien Stephen Hawking). Il finit donc par disparaître. Que devient l'information? Elle se cacherait dans le rayonnement de Hawking. Ainsi, un observateur extérieur devrait, en principe, être capable de reconstituer toute l'information contenue dans le livre initial en examinant attentivement le rayonnement émis.

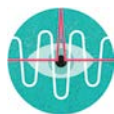
LE PARADOXE DU TROU NOIR

Il se passe quelque chose de curieux si nous imaginons la même situation du point de vue de quelqu'un qui tombe dans le trou noir en même temps que le livre. Dans ce cas, le livre semble simplement franchir la frontière du trou noir et rester à l'intérieur de ce dernier. Ainsi, pour l'observateur dans le trou noir, l'information du livre est contenue à jamais au sein du trou noir. D'un autre côté, nous venons d'expliquer que, du point de vue d'un observateur situé à l'extérieur, l'information finit par sortir de l'astre. Laquelle de ces propositions est la bonne? On pourrait penser que l'information est simplement dupliquée: une copie à l'intérieur, une copie à l'extérieur. Mais une telle solution est exclue. En physique quantique, un théorème très fort, d'impossibilité de clonage quantique, interdit d'avoir une copie à l'identique de l'information. Par conséquent, il semble que les deux situations vues par les observateurs respectifs ne peuvent être vraies toutes deux.

Les physiciens Gerard 't Hooft, de l'université d'Utrecht, aux Pays-Bas, Leonard Susskind et leurs collaborateurs ont proposé la solution

QUATRE INTERPRÉTATIONS DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE

Le monde quantique est très étonnant et contre-intuitif. Les physiciens ont développé diverses façons de comprendre ce qui est sous-jacent au formalisme mathématique de la théorie quantique. Les univers multiples ne sont qu'une des interprétations possibles. Sur le plan expérimental, les diverses conceptions sont équivalentes : les résultats de mesure qu'elles prédisent sont les mêmes. Il est donc difficile de savoir quelle interprétation est la plus pertinente, et la question reste débattue.



L'interprétation dite de Copenhague a été développée entre 1925 et 1927 notamment par le Danois Niels Bohr et l'Allemand Werner Heisenberg. C'est la version « orthodoxe » de la théorie quantique. Selon cette interprétation, un système physique n'a pas de propriété bien définie avant une mesure. Ses propriétés mesurables sont données par un objet mathématique, la fonction d'onde. En appliquant la règle dite de Born à la fonction d'onde, on calcule les probabilités des résultats de la mesure. L'opération de mesure provoque la réduction de l'état quantique en un nouvel état, qui correspond au résultat effectif de l'expérience. Cette réduction instantanée de la fonction d'onde soulève de nombreuses difficultés conceptuelles. Par ailleurs, cette interprétation donne un rôle particulier à l'observateur.



Selon l'interprétation des univers multiples proposée par Hugh Everett en 1957, l'état quantique de l'Univers est unique, évolue régulièrement et de manière prévisible. Quand on effectue une mesure ayant deux résultats possibles (pour déterminer par laquelle de deux fentes un électron est passé, par exemple), cet état ne se réduirait pas à l'état correspondant à une seule des fentes ; l'Univers se dédoublerait en deux branches indépendantes, chacune correspondant à un des deux résultats. Ainsi, au cours du temps, l'Univers se ramifierait indéfiniment, comme un arbre où chacune des branches correspond à la réalisation d'un des résultats possibles. Mais cette théorie des « multivers » est incapable d'expliquer le processus responsable de la ramification et a du mal à justifier la règle de Born.



L'interprétation de l'onde-pilote a été proposée par Louis de Broglie (dans les années 1920) et David Bohm (dans les années 1950). Ils ont privilégié une réécriture du corpus mathématique de la physique quantique de façon à inclure un champ de force réel, nommé onde-pilote, qui contrôle le mouvement des particules. L'évolution au cours du temps de cette onde est décrite par l'équation de Schrödinger. Elle guide la particule et agit sur cette dernière à la façon d'un champ électrique. La particule a un état déterminé même sans mesure. Cependant, cette image séduisante échoue dès que plusieurs particules sont impliquées. Plus troublant encore, l'onde-pilote exerce une action à distance, par laquelle des effets physiques sont transmis instantanément à grande distance.



Les théories de la réduction spontanée ont été introduites dans les années 1970 par l'Allemand Dieter Zeh. Plutôt que d'éliminer la réduction de la fonction d'onde due à l'observateur, ces théories postulent qu'il s'agit d'un processus entièrement naturel : de tels processus ont lieu spontanément, bien que rarement, pour chaque système quantique, mais deviennent prépondérants quand le système quantique interagit avec un objet macroscopique. Ces théories doivent cependant expliquer comment est réalisée la réduction. Des expériences de laboratoire, portant sur des systèmes constitués de quelques atomes ou photons, ont été réalisées ou sont en cours afin d'analyser les mécanismes à l'œuvre et de les élucider.