

Le paradoxe de l'information des trous noirs

En 1976, Hawking comprit que sa théorie de la thermodynamique des trous noirs impliquait un phénomène curieux. Si un trou noir rétrécit en émettant un rayonnement thermique vers l'infini, qu'advient-il des informations qui sont tombées dans le trou noir une fois que celui-ci s'est complètement évaporé ? Selon la mécanique quantique, aucun processus réaliste ne peut détruire l'information. Cependant, les calculs de Hawking suggèrent que c'est le cas, car le rayonnement émis à l'infini par le trou noir ne contient aucune information sur ce qui est tombé dans le trou noir. C'est le problème de l'information, probablement le problème le plus ambitieux et le plus fondamental de la physique théorique moderne, car il confronte directement deux théories considérées comme incompatibles : la relativité générale et la théorie quantique des champs. Sa résolution pourrait élucider la gravité quantique, considérée comme le Saint Graal de la physique, nous apprenant comment résoudre le problème de la singularité à l'intérieur des trous noirs et celui de l'origine de l'univers.

Au cours de sa thèse de doctorat, Sami, en collaboration avec Alejandro Perez, a eu une idée audacieuse. L'information n'est pas détruite dans le trou noir, mais se disperse dans les degrés de liberté gravitationnels microscopiques proches de la singularité, où les effets quantiques ne peuvent plus être négligés. Par conséquent, l'information est conservée, conformément à la mécanique quantique, mais inaccessible à toutes fins pratiques. Imaginez que vous laissez tomber un œuf. Lorsqu'il touche le sol, l'œuf se brise, et la plupart des informations concernant sa structure interne se perdent à cause des corrélations microscopiques entre les éléments constituant l'œuf et les atomes du sol. Bien sûr, on ne peut pas, en pratique, récupérer les informations sur l'état initial de l'œuf, mais cela tient uniquement à nos propres limites. En principe, on pourrait analyser les corrélations induites par l'impact et récupérer tout ce qu'il est possible de dire sur l'œuf.

Sami et Alejandro ont compris qu'un scénario similaire pouvait s'appliquer lors de l'effondrement d'un trou noir. Ici, le rôle joué par les corrélations modifiant l'état des atomes du sol est induit par un paramètre supplémentaire qu'ils ont introduit dans une description microscopique de la gravité, étiquetant les différents « micro-états » du champ gravitationnel quantique et s'inspirant de modèles de gravité quantique tels que la gravité quantique à boucles. Ils ont expliqué comment un tel paramètre pouvait stocker des parties de l'information initiale tombée dans un trou noir. Grâce à leurs travaux, ils ont ouvert la voie à une nouvelle piste de recherche qui pourrait mener à une description complète du sort des informations englouties par un trou noir. De plus, en soulignant la présence et l'importance de degrés de liberté microscopiques supplémentaires, les idées défendues par Sami et Alejandro ont apporté de nouvelles perspectives sur d'éventuelles nouvelles phénoménologies basées sur les transferts d'énergie et d'information du niveau macroscopique vers le monde microscopique.

Ces résultats ont été publiés dans Entropy 25 (2023) 11, 1479 : <https://arxiv.org/pdf/2307.10254>

Revision #3

Created 2026-03-01 16:22:08 UTC by Sophie

Updated 2026-03-24 18:08:40 UTC by malika