

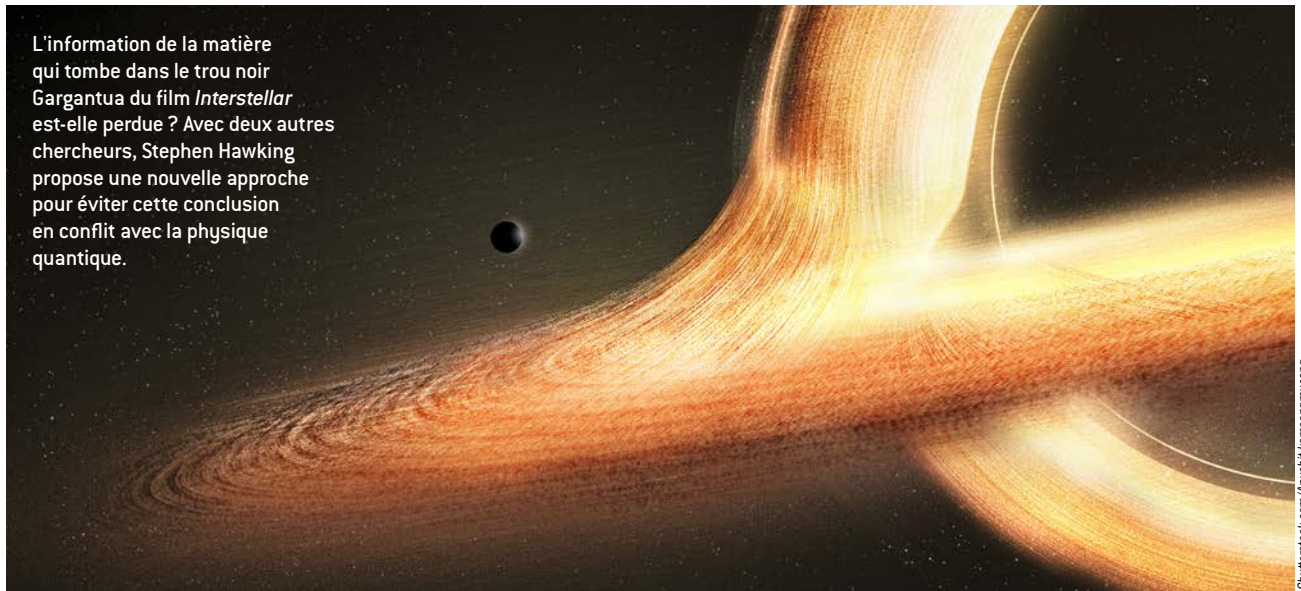
Actualités

Physique théorique

Des particules d'énergie nulle pour résoudre le paradoxe des trous noirs

L'information contenue dans la matière qui tombe dans un trou noir serait irrémédiablement détruite, résultat en contradiction avec les principes de la physique quantique. Stephen Hawking, Andrew Strominger et Malcolm Perry proposent une nouvelle voie pour résoudre ce paradoxe.

L'information de la matière qui tombe dans le trou noir Gargantua du film *Interstellar* est-elle perdue ? Avec deux autres chercheurs, Stephen Hawking propose une nouvelle approche pour éviter cette conclusion en conflit avec la physique quantique.



Que devient une lettre que vous jetez dans un trou noir ? Selon la théorie de la relativité générale, lorsque votre message franchit une certaine limite – l'horizon des événements –, il ne pourra pas ressortir, même s'il se déplace à la vitesse de la lumière. Votre texte semble définitivement perdu... Est-ce vraiment le cas ? Le théoricien britannique Stephen Hawking et deux collègues viennent d'apporter une nouvelle contribution à cette question ancienne.

Dans les années 1970, Stephen Hawking s'est intéressé aux effets quantiques qui se manifestent près de l'horizon des événements du trou noir. Il a montré théoriquement que, malgré les principes de la relativité générale, un rayonnement s'échappe de l'astre : ce dernier « s'évapore »

en perdant peu à peu sa masse. Ainsi, toute la matière initiale du trou noir, ou tombée dedans ultérieurement, finit par en ressortir sous forme d'un rayonnement. Le message serait-il récupérable par ce biais ?

Le rayonnement prédit par Stephen Hawking est un rayonnement thermique : l'information qu'il véhicule ne dépend que de la température du trou noir et n'a aucun lien avec la matière tombée dans l'astre. Ainsi, votre message semble irrémédiablement perdu. Or cette conclusion se heurte aux principes de la physique quantique : l'information peut être transformée, mais elle n'est jamais perdue. En théorie, il devrait toujours être possible de reconstituer le message initial.

Comment résoudre cette contradiction ? Les physiciens

se penchent sur ce problème depuis quarante ans. Dans les années 1990, les travaux du physicien argentin Juan Maldacena ont convaincu de nombreux chercheurs, dont Stephen Hawking, que l'information tombée dans le trou noir doit être préservée. Il restait alors à expliquer comment elle s'en échappe si le rayonnement de Hawking est thermique et ne dépend que de la température de l'astre. Malgré plusieurs pistes, le paradoxe demeurerait irrésolu.

Et voilà que Stephen Hawking, lors d'une conférence à Stockholm en août 2015, a présenté les idées d'une nouvelle approche qu'il a étudiée avec Malcolm Perry, de l'université de Cambridge au Royaume-Uni, et Andrew Strominger, de l'université Harvard aux États-Unis.

Comme toute communication de Stephen Hawking, celle-ci a été très relayée dans les médias, mais les physiciens, eux, attendaient de voir les calculs pour en évaluer les promesses. L'article est finalement paru début janvier 2016 sur le serveur de prépublication arXiv.

L'idée au cœur de cette étude provient de travaux antérieurs d'Andrew Strominger. Ce dernier s'est intéressé à des symétries mathématiques, nommées supertranslations, dont serait doté l'espace-temps. Ces symétries de supertranslation, introduites dans les années 1960, impliqueraient l'existence de particules qui sont toutes d'énergie nulle, nommées gravitons *soft* et photons *soft*, mais se distinguant les unes des autres par leurs moments cinétiques. L'état de plus basse énergie, le « vide », d'un système physique

Nanotechnologie

Ampoules à incandescence : vers un retour en grâce ?

En 2012, les pays de l'Union européenne ont abandonné les ampoules à incandescence, trop énergivores, au profit des lampes à basse consommation. Une équipe du MIT, aux États-Unis, améliore l'efficacité de ces ampoules en leur associant des techniques nanophotoniques. Georges Zissis, du laboratoire Laplace à Toulouse, nous explique ce résultat.

n'est ainsi pas unique : il peut être rempli de ces particules *soft* d'énergie nulle, créant une multiplicité de vides possibles qui se distinguent par les moments cinétiques de leurs particules *soft*.

Quand Andrew Strominger a appliqué ce résultat à un trou noir qui s'évapore totalement, il s'est aperçu que dans ce cas également, le vide obtenu n'est pas unique et dépend de son contenu en particules *soft*, contenu qui constitue une information en soi.

Les observations d'Andrew Strominger sur les supertranslations indiqueraient l'existence d'un lien entre ces transformations de l'espace-temps, les particules *soft* et le paradoxe de l'information. Stephen Hawking, Malcolm Perry et Andrew Strominger ont voulu préciser le mécanisme fondé sur ces supertranslations qui assurerait la conservation de l'information. Ils ont étudié un modèle simplifié de supertranslations appliquées à l'interaction électromagnétique et ont ébauché leur application dans le cas de la gravitation, plus complexe à formaliser.

Les chercheurs ont montré que les particules *soft* sont créées sur l'horizon des événements du trou noir et enregistrent l'information de chaque particule qui franchirait l'horizon dans sa chute sur l'astre, assurant ainsi la conservation de l'information.

Les premiers calculs sont encourageants, mais certains spécialistes soulignent qu'il reste dans le modèle bien des zones d'ombre et des points techniques à éclaircir. Toutefois, d'autres s'accordent déjà à dire que l'approche est intéressante et mérite d'être explorée plus avant.

Sean Bailly

<http://arxiv.org/abs/1601.00921>

Quels étaient les défauts des ampoules à incandescence qui ont justifié leur retrait du commerce ?

Georges Zissis : Une ampoule à incandescence est composée d'un filament de tungstène chauffé à 2700 °C. Ce filament émet un rayonnement dont le spectre est proche de celui d'un corps noir. Cette source de lumière a une couleur chaude très appréciée des utilisateurs. Cependant, 90 % de l'énergie consommée est convertie en rayonnement infrarouge et en chaleur, ce qui en fait une source de lumière peu économe.

Quelles sont les solutions alternatives ?

G. Z. : Les ampoules classiques ont une efficacité énergétique de 2 à 5 % – des valeurs inférieures à celles des lampes fluocompactes (de 25 à 30 %) et à celles des LED (entre 30 et 40 %). Le remplacement des ampoules à incandescence a permis d'importantes économies en termes de consommation électrique. Cependant, ces sources ne sont pas toujours du goût de l'utilisateur.

Quelle idée propose l'équipe de Marin Soljačić, du MIT ?

G. Z. : Le dispositif étudié par les chercheurs du MIT est une ampoule à incandescence améliorée. Il est composé de deux parties, le filament d'une ampoule

classique et un dispositif nanophotonique. Ce dernier procède à un recyclage de la lumière, pour reprendre l'expression des chercheurs.

Comment fonctionne ce recyclage de la lumière ?

G. Z. : Le filament émet, comme d'habitude, une petite part de lumière visible et beaucoup d'infrarouge. Entourant le filament, le cristal photonique, constitué d'un empilement de couches d'oxydes, joue le rôle de



Georges Zissis, laboratoire Laplace, univ. de Toulouse

filtre. Il laisse passer la lumière visible et, par des effets d'interférences, agit comme un miroir vis-à-vis du rayonnement infrarouge. Celui-ci est renvoyé vers le filament et contribue à son chauffage. En recyclant une part de l'infrarouge, le dispositif nanométrique s'affranchit de la loi du corps noir qui définit le spectre d'émission du filament dans le monde macroscopique.

Quelle est l'efficacité du dispositif ?

G. Z. : L'équipe annonce une efficacité énergétique

théorique d'environ 40 %, comparable à l'efficacité des meilleures LED commerciales actuelles. Leur prototype atteint déjà 6,6 %. Il confirme le principe, mais il reste du chemin pour rattraper les LED, dont l'amélioration se poursuit.

S'agit-il là d'un dispositif qui pourrait arriver sur le marché ?

G. Z. : Les matériaux utilisés pour ces nouvelles ampoules sont bon marché et les techniques de fabrication sont classiques, de quoi espérer avoir des ampoules à un prix compétitif. Mais il faut savoir que les industriels ont investi des dizaines de milliards d'euros dans la technologie des LED. De nombreux laboratoires, dont le mien, continuent à en améliorer les performances. Je ne pense pas qu'un industriel investira dans les techniques d'éclairage par incandescence. En revanche, d'autres applications sont possibles, aux panneaux thermophotovoltaïques par exemple.

Et pour les nostalgiques de la lumière chaude des ampoules à incandescence ?

G. Z. : On dispose déjà de LED à l'aspect vintage et à lumière chaude. De quoi redonner des couleurs aux nostalgiques !

S. B.

O. Ilic et al., *Nature Nanotechnology*, 11 janvier 2016