

L'ESSENTIEL

● La plupart des physiciens pensent que la physique quantique et la relativité générale ne peuvent être conciliées que dans le contexte d'une théorie quantique de la gravitation.

● Les principales pistes que sont la théorie des cordes ou la gravitation quantique à boucles n'ont pas encore obtenu de résultats satisfaisants.

● Une autre voie est celle de la «gravitation semi-classique», où cette force resterait de nature classique. Des modèles développés récemment montrent que cette approche peut fonctionner.

● Des expériences pour tester directement la nature quantique ou classique de la gravitation pourraient voir le jour.

L'AUTEUR



ANTOINE TILLOY
physicien à l'institut
Max-Planck
d'optique quantique,
près de Munich,
en Allemagne

P

our Carlo Rovelli, du centre de physique théorique de Luminy, près de Marseille, «le problème de la gravitation quantique n'est rien de moins que le problème de trouver la nouvelle description cohérente du monde, qui amènerait enfin la révolution scientifique du xx^e siècle à sa conclusion.»

La révolution en question est celle de l'avènement de la physique quantique et de la relativité générale. Ces deux théories ont bouleversé notre vision du monde, des plus petites aux plus grandes échelles. Mais les réunir dans «une nouvelle description cohérente», est encore hors de portée. Jusqu'ici, toutes les tentatives visant à élaborer une théorie quantique de la gravitation, ou «gravité quantique», ont été décevantes. Mais cette synthèse est-elle vraiment nécessaire? Et si oui, la gravité quantique est-elle la seule façon d'y parvenir? Des physiciens explorent une autre piste qui consiste à concilier relativité générale et physique quantique sans pour autant imposer une formulation quantique de la gravitation.

Pour y parvenir, ils sont amenés à repenser les fondements de la physique quantique. Au cours de la seconde moitié du xx^e siècle, elle a conduit au développement de la théorie quantique des champs, qui intègre dans un ensemble cohérent le «modèle standard de la physique des particules», trois des quatre interactions

fondamentales: l'électromagnétisme, qui agit entre photons et particules dotées d'une charge électrique, l'interaction forte, qui assure la cohésion des protons et des neutrons dans le noyau atomique, et l'interaction faible, qui se manifeste notamment dans la radioactivité bêta.

La quatrième interaction fondamentale, la gravitation, est décrite par une autre théorie très différente, la relativité générale, introduite en 1915 par Albert Einstein. Dans cette théorie, la matière et l'espace-temps interagissent pour donner ce que l'on perçoit comme la force gravitationnelle: la matière (et l'énergie) courbe l'espace-temps et son mouvement est, en retour, déterminé par le «relief» de l'espace-temps.

La relativité générale est utile dans les situations où la gravitation domine, c'est-à-dire principalement en astrophysique et en cosmologie. La physique quantique, plus précisément le modèle standard, s'applique plutôt dans des situations où la gravitation est négligeable en comparaison des autres forces, ce qui est le cas dans les expériences menées dans les accélérateurs de particules.

DES THÉORIES INCOMPATIBLES

Ainsi, à son niveau le plus fondamental, l'Univers semble régi par deux mécaniques distinctes, deux ensembles de lois *a priori* incompatibles tant les notions et objets de ces théories sont différents. Dans leurs domaines d'application respectifs, ces deux théories sont d'une efficacité redoutable. Mais relativité générale et physique quantique ne semblent pas pouvoir être utilisées simultanément, en tout cas pas sans modification. Que se passe-t-il, par exemple, dans une situation où les effets dus à la physique quantique sont importants, mais où la force gravitationnelle domine? La réponse simple est que l'on ne sait pas. On n'a même pas de cadre théorique approprié.

Les situations où il faudrait utiliser à la fois la physique quantique et la relativité générale sont rares dans la nature. Nous n'avons donc