

La théorie M, extension de la théorie des cordes proposée par Edward Witten, promet encore davantage. Selon ses partisans, dans le monde multidimensionnel des «branes» issu de la théorie, l'énergie sombre mesurée dans notre Univers-brane pourrait être importée à partir des dimensions supplémentaires de la «matrice» dans laquelle nous serions immergés. D'autres chercheurs voient l'origine de la répulsion cosmique dans d'éventuelles interactions entre branes – ce qui revient à éliminer toute énergie sombre. Ceci n'éclaire en rien le problème, si l'on se souvient que la théorie M est bien plus mystérieuse que l'énergie sombre, qui elle au moins a des effets observables sur la vitesse d'expansion cosmique!

La physique ne souffre-t-elle pas d'un excès d'imagination par rapport au déficit des données ?

On le voit, aucune de ces nouvelles théories, aussi fascinantes soient-elles, ne résout mieux les difficultés que leurs versions antérieures à plus basse énergie. Comme elles, elle les repousse chaque fois un peu plus loin, éloignant d'autant le fantasme qu'elles suscitent : celui d'une physique totalement unifiée qui serait proche de son achèvement.

À ce stade, on peut se demander si la découverte de l'accélération cosmique devait forcément conduire à tant de contorsions théoriques. D'un côté, on peut penser qu'il faut davantage d'imagination et de créativité pour sortir la physique théorique de ce que l'on croit être une impasse. De l'autre, on peut se demander si justement la physique actuelle ne souffre pas d'un excès d'imagination par rapport au déficit des données expérimentales.

Et entre ces deux positions, rappelons que le phénomène de l'accélération cosmique peut être simplement décrit par la constante cosmologique classique des équations d'Einstein, sans faire appel à une nouvelle physique. Cependant, ce n'est pas parce que c'est

l'explication la plus simple qu'elle est la bonne. Alors, si ce n'est pas la constante cosmologique associée au vide quantique qui provoque l'accélération observée de l'expansion cosmique, quelle en est la cause? Le problème soulevé est celui de la compatibilité entre la description classique de l'espace, du temps et de la gravitation avec celle, quantique, de la matière: la nature encore mystérieuse de l'énergie sombre suggère qu'il manque quelque chose d'essentiel dans notre compréhension de l'Univers physique. À ce titre, son élucidation peut servir de guide sur la façon de mettre au point une bonne théorie de la gravitation quantique.

TRAQUER L'ÉNERGIE SOMBRE

Peut-on dès lors imaginer des dispositifs expérimentaux susceptibles de mieux contraindre les différents modèles d'énergie sombre? Celle-ci est caractérisée par une pression négative. Cette dernière équivaut en fait à une tension, tout comme les objets élastiques, ressorts et feuilles de caoutchouc, ont eux aussi, quand ils sont tendus, une pression négative dirigée vers l'intérieur.

On montre que, lorsque la pression est inférieure à un tiers de la densité d'énergie, la force gravitationnelle change de signe et devient répulsive. Le paramètre clé est l'équation d'état, qui explicite le rapport entre la pression p de l'énergie sombre et sa densité d'énergie ρ sous la forme $p = w \rho c^2$, où w est un paramètre dépendant de la nature de l'énergie. Pour obtenir une énergie répulsive, w doit être négatif et inférieur à $-1/3$.

Comme l'avait vu Lemaître dès 1934, la constante cosmologique ou le vide quantique sont caractérisés par $w = -1$, ils sont donc fortement répulsifs. D'autres formes d'énergie sombre, comme les modèles de quintessence, ont des w compris entre -1 et $-1/3$. La forme la plus extrême d'énergie répulsive, dite «énergie fantôme», est caractérisée par $w < -1$. La flexibilité théorique permet en outre à l'équation d'état de varier arbitrairement au cours du temps.

Les astronomes ont mis en place d'ambitieux programmes d'observations susceptibles (voir *À la poursuite de l'énergie sombre*, par J. Frieman, page 84) de contraindre les valeurs possibles de w et ce faisant les différents modèles d'énergie sombre. L'enjeu est capital pour la cosmologie puisque le futur à très long terme de notre Univers en dépend entièrement (voir l'encadré, page 94). Si le paramètre w s'avère très proche de -1 , la théorie de la relativité générale et sa constante cosmologique rendront bien compte du taux d'expansion de l'Univers et de la présence de l'énergie noire. En revanche, une valeur significativement différente impliquerait soit l'existence d'une autre forme d'énergie sombre soit la nécessité de réviser la théorie de la relativité générale... ■

BIBLIOGRAPHIE

J.-P. LUMINET, *L'Invention du Big Bang*, Le Seuil/Points Sciences, 2^e éd., 2014.

J.-P. LUMINET, *L'Univers chiffonné*, 2^e éd., Folio Essais, 2005.

L'ESSENTIEL

● En 1998, les cosmologistes ont découvert que l'expansion de l'Univers accélère.

● Ce phénomène s'expliquerait par une «énergie sombre», qui représenterait 70 pour cent de la densité d'énergie de l'Univers.

● L'énergie sombre pourrait correspondre à une constante cosmologique liée aux fluctuations quantiques du vide.

● D'autres pistes sont explorées, comme la «quintessence» ou des modifications des lois de la gravitation.

L'AUTEUR



CÉDRIC DEFFAYET est directeur de recherche au CNRS et travaille à l'Institut d'astrophysique de Paris et à l'Institut des hautes études scientifiques.

Vers une nouvelle gravitation ?

L'expansion de l'Univers accélère. Pour expliquer ce phénomène constaté récemment, les théoriciens explorent plusieurs voies, comme l'existence d'une mystérieuse «énergie sombre» ou de nouvelles lois de la gravitation.

S

ouvenez-vous. La dernière fois que vous avez admiré un ciel étoilé, ne vous êtes-vous pas demandé à quelle distance se trouvent les étoiles ? Les Grecs se posaient déjà de la question. Aristarque de Samos tenta, par exemple, d'estimer la distance à l'étoile la plus proche, le Soleil. Son calcul était faussé par le manque de précision des instruments de l'époque. Au cours des siècles suivants, les astronomes ont amélioré les techniques. L'invention de la lunette astronomique a étendu le champ

