

d'obstacles, la masse omniprésente qu'ils représentent a ralenti l'agrégation de la matière noire, effet qui devrait être détectable aujourd'hui.

Plus les neutrinos sont massifs, plus ils auront freiné l'agrégation de la matière, ce qui a pour effet de brouiller les contours de la structure à grande échelle de l'Univers. Pour cette raison, il est possible de déduire les masses des neutrinos de la répartition de la matière dans l'Univers.

Cartographier la distribution de la matière (qui est pour l'essentiel de la matière noire invisible) n'est pas une mince affaire. Mais les chercheurs ont remarqué que le rayonnement résiduel du Big Bang, le « fond diffus cosmologique », est légèrement déformé à cause des effets gravitationnels des grumeaux de matière noire

qui remplissent l'espace entre le fond diffus cosmologique et nous, et qui courbent les rayons lumineux. L'analyse de ces « lentilles gravitationnelles » du fond diffus cosmologique est une approche très prometteuse pour mesurer la distribution de matière noire dans l'Univers.

Les nouvelles mesures précises du rayonnement fossile qui sont en cours nous permettront de mesurer les déformations par effet de lentille avec la meilleure précision qui soit, et ainsi de cartographier la matière noire autrement invisible. Si la matière noire est confinée à des structures à bords nets séparés par des vides, nous pourrions en déduire que la masse des neutrinos est petite ; en revanche, si les contours sont flous, nous saurons que la masse des neutrinos est

plus grande. La nouvelle génération d'expériences portant sur le fond diffus cosmologique devrait permettre de déterminer les masses des trois types de neutrinos à un cinq millionième de la masse de l'électron près.

Qu'il soit possible de mesurer la masse de la plus légère et la plus insaisissable des particules élémentaires en observant l'Univers entier illustre une fois de plus comment l'étude de la physique, à toutes les échelles, continue de surprendre et de pousser les astrophysiciens à sonder en profondeur les rouages de la nature.

Sudeep Das

Laboratoire américain d'Argonne (Illinois)

Tristan Smith

Centre de physique cosmologique de l'Université de Californie à Berkeley

neutrinos que leurs résultats conduisent parfois à des contradictions. Une piste expérimentale séduisante (et controversée) suggère l'existence d'un quatrième type de neutrinos : le neutrino stérile. Cette particule, qui aurait déplié à Pauli, ne serait détectable qu'indirectement, comme le neutrino droit ultramassif invoqué pour faire fonctionner le mécanisme de *seesaw*.

Néanmoins, plusieurs expériences ont peut-être repéré des traces du neutrino stérile. Des mesures effectuées auprès de réacteurs depuis 30 ans suggèrent en effet un déficit en neutrinos électroniques de quelque six pour cent. Par ailleurs, menée au Laboratoire de Los Alamos (États-Unis) dans les années 1990, l'expérience LSND a mis en évidence des indices (controversés) de conversions inhabituelles d'antineutrinos. L'expérience MiniBooNE du Fermilab (États-Unis), qui a livré ses premiers résultats en 2007, suggère aussi l'existence de telles conversions.

Cependant, toute une série d'expériences, par exemple CDHSW (CERN Dortmund Heidelberg Saclay Warsaw) et MINOS (au Fermilab, États-Unis) menées auprès d'accélérateurs, vont plutôt à l'encontre de l'hypothèse d'un neutrino stérile.

La théorie quantique n'autorise les neutrinos à changer de saveur que si chaque

saveur est associée à une masse différente. Les différentes masses des neutrinos pourraient déclencher des oscillations expliquant les signaux anormaux observés à LSND et à MiniBooNE, mais seulement s'il existe une autre différence de masse en plus de celles que nous connaissons déjà – en d'autres termes, seulement s'il existe quatre types de neutrinos et non trois.

Cependant l'existence d'un neutrino supplémentaire participant à l'interaction faible aurait pour conséquence une désintégration trop rapide du boson Z (l'un des médiateurs de l'interaction faible) ; il faut donc que le quatrième neutrino ne participe pas à l'interaction faible. C'est à cela que se réfère l'adjectif « stérile » : à un neutrino presque entièrement coupé du reste des autres particules élémentaires.

Un quatrième neutrino, qualifié de stérile ?

Les résultats surprenants obtenus à l'aide de détecteurs d'un nouveau type conçus pour enregistrer les neutrinos émis par des réacteurs nucléaires voisins indiquent peut-être l'existence d'un neutrino stérile. Les données de plusieurs expériences de réacteurs suggèrent une disparition anormale d'antineutrinos électroniques sur de courtes distances, ce qui, interprété en termes d'oscillations, suggère l'existence de neutrinos stériles. Cette anomalie est repérée depuis un moment, mais sa signification en faveur de l'existence d'un neutrino stérile n'a été comprise que récemment, après de nouveaux calculs du flux de neutrinos produits par les différents réacteurs.

Cependant, les indices en faveur de l'existence de neutrinos stériles restent vagues, indirects et sujets à controverse... MiniBooNE et une expérience rattachée nommée MicroBooNE, en préparation au Fermilab, pourraient bientôt livrer des éléments plus concrets sur la question.

Il est remarquable que le puissant LHC et les expériences à relativement basse énergie qui étudient l'humble neutrino se complètent aussi bien dans l'exploration des rouages intimes de la nature. Plus de 80 ans après l'introduction de la « particule qui ne peut pas être détectée » de Pauli, les neutrinos continuent à défendre leurs secrets et nous continuons à essayer de les percer. La lumière qui jaillira en physique fondamentale si nous y parvenons justifie sans doute amplement cette quête. ■

BIBLIOGRAPHIE

H. Päs, *The Perfect Wave*, Harvard University Press, à paraître, 2014.

Th. Lasserre et D. Vignaud, *La mystérieuse identité des neutrinos*, Dossier Pour la Science n° 62, pp. 36-42, janvier-mars 2009.

H. Päs, *Neutrino masses and particle physics beyond the Standard Model*, *Annalen der Physik*, vol. 11(8), pp. 551-572, 2002.

W. Porod et al., *Testing neutrino mixing at future collider experiments*, *Physical Review D*, vol. 63(11), 115004, 2001.