

installé au Fermilab et y profiter d'un faisceau de muons plus pur et plus intense. Parti de Long Island près de New York, il a longé la côte Atlantique, le golfe du Mexique, remonté le fleuve Mississippi puis l'Illinois pour arriver à destination, après un périple de près de 5 000 kilomètres (voir la photo page 28). L'expérience *Muon g-2* est donc une version notablement améliorée de celle de Brookhaven. Des modifications importantes vont permettre à terme de gagner un facteur quatre sur la précision de mesure.

L'expérience *Muon g-2* a commencé à réaliser des mesures en 2018. Voyons quel est son principe. Un accélérateur de Fermilab produit un faisceau de protons de haute énergie qui bombarde une cible (voir la figure page 29). De nombreuses particules instables émergent de cette collision, dont des pions qui se désintègrent en produisant des muons (plus exactement des muons positifs, ou antimuons). Ces derniers sont polarisés de telle façon que leur

spin soit aligné avec leur direction de déplacement. Ils sont ensuite injectés dans un « anneau de stockage », une enceinte circulaire de 14,2 mètres de diamètre.

Un ensemble d'aimants produit un puissant champ magnétique vertical de 1,45 tesla qui oblige les particules à circuler dans l'anneau suivant une trajectoire circulaire. Le champ magnétique interagit aussi avec le spin des antimuons ; en conséquence, ces spins décrivent un mouvement de précession (comparable au mouvement de précession de la Terre ou d'une toupie, dont l'orientation de l'axe de rotation change au cours du temps et décrit un cône).

Si le facteur de Landé g de l'antimuon était exactement égal à 2, la période de précession du spin serait égale à celle de la circulation des particules dans l'anneau ; le spin pointerait alors toujours dans la direction du mouvement de la particule. Mais comme g est légèrement supérieur à 2, le spin change progressivement d'orientation par rapport à la trajectoire et se

PRUDEMMENT ENTHOUSIASTES !

Si l'étude du moment magnétique anormal du muon est une piste pour mettre en défaut le modèle standard, elle n'est pas la seule à s'appuyer sur les mesures de précision. Au LHC, et notamment dans l'expérience *LHCb*, les physiciens analysent de nombreux processus et comparent les données aux calculs théoriques. Ils regardent en particulier comment les mésons B , composés d'un quark b et d'un antiquark d'une autre « saveur » se désintègrent. Ces processus seraient très sensibles à la physique au-delà du modèle standard. Jusqu'à présent, quelques alertes ont mis en avant des désintégrations présentant des anomalies. Mais ces signaux ne sont pas encore assez solides statistiquement et pourraient n'être que de simples artefacts donnant l'impression d'une détection authentique.

Le 22 mars 2021, la collaboration *LHCb* a annoncé sa plus récente mesure de deux canaux particuliers de la désintégration d'un méson B en un méson K (ou kaon) avec, d'une part, une paire électron-positron et, d'autre part, une paire muon-antimuon. En principe, les chercheurs s'attendaient à obtenir un rapport des probabilités de production de ces deux processus égal à 1. En effet, le modèle standard suggère qu'il existe une sorte d'universalité entre les leptons chargés : l'électron, le muon et le tau devraient interagir de la même façon avec les autres particules (à leur différence de masse près). Mais le rapport a été mesuré à 0,846, avec une incertitude de 0,044. Le méson B se désintègre moins souvent en émettant une paire muon-antimuon qu'une paire électron-positron. En 2019, l'équipe de *LHCb* avait déjà



L'expérience *LHCb* au Cern

obtenu un résultat similaire, mais la robustesse statistique était alors assez faible. La mesure de 2021, avec le double de données exploitées, a réduit l'incertitude : il n'y a qu'une chance sur mille que ce résultat provienne d'une fluctuation statistique ; on parle de « signal à 3σ » (la lettre grecque σ , sigma, désignant l'écart-type). Au LHC, de nombreux signaux ont été identifiés à 3σ .

En général, l'accumulation de données tend à les faire disparaître puisqu'il s'agit dans la plupart des cas d'artefacts. Ce phénomène est attendu car, avec la quantité de données livrées par les détecteurs du collisionneur, la probabilité de trouver des « faux positifs » est non nulle.

Or dans le cas de cette désintégration du méson B , les données récentes n'ont pas gommé l'anomalie. Lors de l'annonce de la collaboration *LHCb*, de nombreux chercheurs sur les réseaux sociaux se sont dits « prudemment enthousiastes ».

En général, pour parler de découverte, les physiciens des particules attendent d'atteindre 5σ (1 chance sur 1,7 million que le signal soit une fluctuation statistique). Il faudra donc encore accumuler des données.

Une confirmation indépendante sera aussi nécessaire. Tous les regards se portent sur l'expérience *Belle II*, au Japon, qui opère depuis 2018 et qui étudie les désintégrations des mésons B produits lors de collisions d'électrons et de positrons de haute énergie.

Et si l'anomalie se confirmait ? Les théoriciens ont déjà imaginé de nombreuses explications faisant intervenir des particules inconnues du modèle standard, par exemple un boson Z' , qui serait le vecteur d'une nouvelle interaction fondamentale très faible, ou un leptoquark, une particule qui combinerait les propriétés des quarks et des leptons.