

6%

seulement des données de l'expérience *Muon g-2* ont été analysées pour l'heure

(voir l'entretien avec L. Lellouch, page 68). Elle est fondée sur une exploitation théorique des données provenant des collisionneurs électron-positron et est limitée par la précision de ces dernières.

Néanmoins, ces vingt dernières années, ce volet théorique a connu d'importants progrès. En 2020, après trois ans de travail de synthèse, une collaboration internationale de plus de 130 chercheurs a évalué ces incertitudes en utilisant en particulier les données récentes et précises des expériences *BaBar*, au Slac, en Californie, et *Kloe*, en Italie. Ils ont publié une valeur théorique de référence pour l'anomalie magnétique du muon : $a_{\text{théorique}} = (g-2)/2 = 116591810(43) \times 10^{-11}$.

DES EXPÉRIENCES QUI ONT DÉBUTÉ DANS LES ANNÉES 1960

De leur côté, les expériences visant à mesurer avec précision l'anomalie magnétique du muon ont débuté dans les années 1960, au Cern, notamment sous l'impulsion de Georges Charpak. Les résultats successifs n'ont montré aucun signe d'incompatibilité avec la théorie... jusqu'en 2001. C'est pourquoi les conclusions de l'expérience *E821*, à Brookhaven, ont été accueillies avec enthousiasme. L'équipe avait obtenu une mesure du moment magnétique significativement différente de la valeur théorique calculable à l'époque. Les physiciens de Brookhaven

avaient-ils trouvé une faille dans le modèle standard ? Face à un enjeu aussi crucial, une confirmation indépendante par une expérience plus précise semblait nécessaire.

En 2013, le cœur de l'expérience *E821*, un aimant de 700 tonnes en forme d'anneau, a été déménagé par bateau et par camion pour être 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. 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 4 sur la précision de mesure.

L'expérience *Muon g-2* a commencé à réaliser des mesures en 2018. Son principe ? Un accélérateur de Fermilab produit un faisceau de protons de haute énergie qui bombarde une cible (voir la figure page ci-contre). De nombreuses particules instables émergent de cette collision, dont des pions qui se désintègrent en produisant 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 réaligne avec la direction du mouvement tous les 27 tours environ.

Les antimuons étant des particules instables, ils finissent par se désintégrer en émettant deux neutrinos et un positron (l'antiparticule de l'électron). Ce dernier est émis préférentiellement