

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 dans la direction du spin et son énergie est maximale quand le spin est dans la direction du mouvement. Le long de l'anneau, 24 détecteurs sont installés. Le nombre de positrons qu'ils détectent oscille au cours du temps suivant une fréquence dont l'analyse permet de remonter à la valeur du moment magnétique du muon.

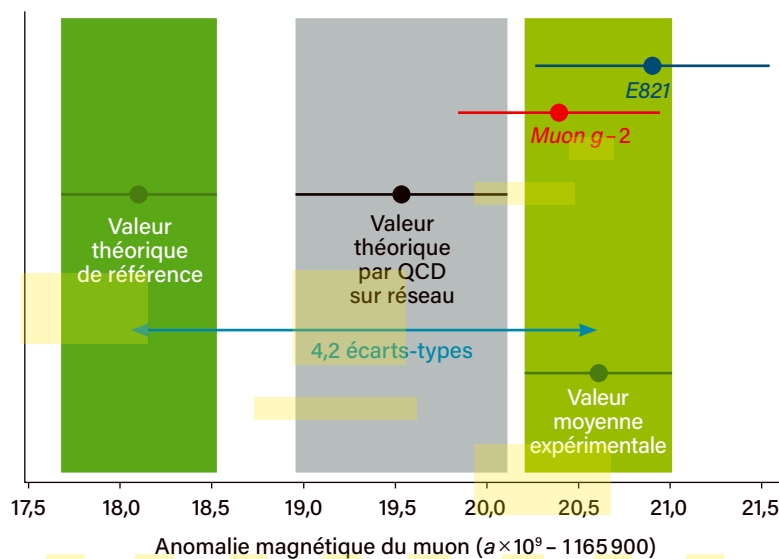
Les physiciens ont réalisé leur analyse en «aveugle». Cette technique couramment utilisée en physique des particules consiste à construire toute la chaîne d'analyse jusqu'au bout sans avoir accès aux vraies valeurs, en l'occurrence la fréquence réelle d'oscillation du flux de positrons. L'idée est de ne pas introduire de biais dans l'exploitation des données, par exemple en ajustant même de façon inconsciente certaines variables pour que le résultat aille dans le sens le plus intéressant. À la fin, une fois la fréquence révélée, l'équipe a calculé la valeur de l'anomalie magnétique :  $a_{\text{expérimental}} = 116592061(41) \times 10^{-11}$ . Elle confirme le résultat de *E821* et établit un écart de  $251 \times 10^{-11}$  avec la valeur théorique  $a_{\text{théorique}}$  calculée en 2020. La tension semble se confirmer.

## DÉSACCORD DE 4,2 ÉCARTS-TYPES

D'un point de vue statistique, la différence entre les valeurs expérimentale et théorique est significative à 4,2 écarts-types. Cela signifie que cette différence n'a que 1 chance sur 40000 d'être une fluctuation statistique. En physique des particules, un tel résultat statistique est considéré comme solide, mais en général on fixe arbitrairement à 5 écarts-types le seuil requis pour acter une découverte; le risque d'un artefact n'est alors que de 1 sur 1,7 million.

Il faut cependant souligner que les chercheurs n'ont analysé que 6 % de leurs données. Les mesures de 2019 et 2020 sont en cours de traitement. Avec l'apport de ces dernières, les physiciens augmenteront notablement la précision de leur mesure. Par ailleurs, les expériences *E821* et *Muon g-2* reposant sur le même principe, il sera intéressant de confirmer cette tension avec le modèle standard en mesurant le moment magnétique anomal du muon d'une autre façon. Des physiciens de J-Parc, un centre de recherche au Japon, préparent actuellement une telle expérience, nommée *E34*.

La balle semble donc encore dans le camp des expérimentateurs. Pourtant, une autre équipe de théoriciens, la collaboration «Budapest-Marseille-Wuppertal» (BMW), vient d'annoncer un résultat qui sème le trouble. Pour calculer la contribution



Le calcul théorique de référence donne une valeur de l'anomalie magnétique du muon plus basse que la valeur moyenne des deux expériences (*E821* et *Muon g-2*). En calculant par une méthode différente, la QCD sur réseau, la collaboration BMW a obtenu un résultat plus proche de la valeur expérimentale.

hadronique dominante, elle a mis en œuvre une approche distincte grâce à une méthode nommée «chromodynamique quantique sur réseau». Cette technique est dite *ab initio*, car elle n'utilise que les équations du modèle sans paramètres supplémentaires et sans faire intervenir des données d'autres expériences (voir l'entretien pages 30 et 31). En combinant leur résultat avec les autres contributions du modèle standard, les chercheurs ont ainsi obtenu la valeur  $a_{\text{BMW}} = 116591954(57) \times 10^{-11}$ .

Cette valeur est plus proche de la mesure expérimentale que la valeur théorique de 2020 (voir la figure ci-dessus). Elle pourrait même rendre caduque la tension entre l'expérience et la théorie! Mais avant d'en tirer des conclusions définitives, il faudra que le résultat de ce calcul soit confirmé par d'autres équipes et il restera à comprendre pourquoi les deux approches théoriques conduisent à des valeurs différentes.

Si la divergence entre la mesure expérimentale et les prédictions théoriques persistait, ce serait probablement le signe de l'existence d'une «nouvelle physique». Il faudra alors comprendre comment avancer au-delà du modèle standard. Quelle théorie explique le moment magnétique anomal mesuré tout en étant compatible avec toutes les autres expériences de physique des particules? Il sera difficile d'y voir vraiment clair avec une seule mesure indiquant un accroc dans le modèle standard. L'espoir se trouve peut-être du côté du LHC. De récentes mesures dans l'expérience *LHCb* laissent entrevoir des signes de faiblesse du modèle standard (voir l'encadré page 32). Mais la robustesse de ce modèle a déjà surpris les physiciens, et risque de le faire encore! ■

## BIBLIOGRAPHIE

B. Abi et al. (Collaboration *Muon g-2*), **Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 0.46 ppm**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 126, article 141801, 2021.

S. Borsanyi et al., **Leading hadronic contribution to the muon magnetic moment from lattice QCD**, *Nature*, en ligne le 8 avril 2021.

R. Aaij et al. (Collaboration *LHCb*), **Test of lepton universality in beauty-quark decays**, prépublication en ligne sur arXiv, 22 mars 2021. <https://arxiv.org/abs/2103.11769>