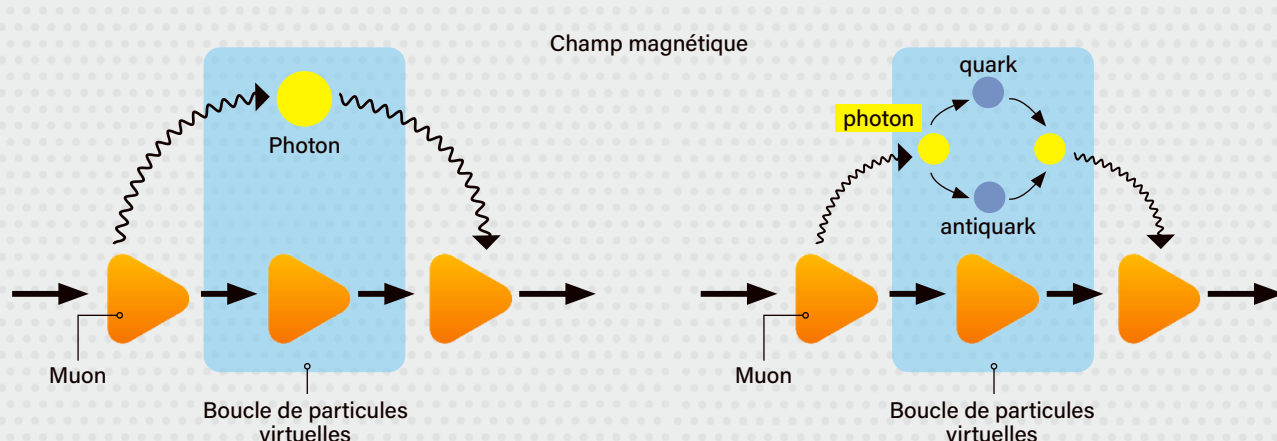




Dans l'expérience *Muon g-2*, le moment magnétique anomal du muon est mesuré à partir du mouvement de précession du spin de cette particule plongée dans un champ magnétique. La valeur du moment magnétique dépend en partie des particules virtuelles que le muon émet et absorbe en permanence. Dans le cas le plus simple (à gauche), le muon émet un photon puis l'absorbe. C'est la contribution principale à l'anomalie magnétique du muon. Parfois, le photon émis peut donner naissance à une paire quark-antiquark (à droite). Cette composante hadronique est difficile à calculer et, de ce fait, soumise à d'importantes incertitudes.

donc développer une autre méthode indépendante.

une puissance de calcul colossale pour traiter un problème donné.

En quoi consiste-t-elle ?

Il s'agit de partir des équations de base de la QCD et de calculer directement les corrections. Dans cette théorie, des champs décrivent en tout point de l'espace-temps les quarks et leurs interactions. C'est la même idée qu'une carte météorologique qui indique la température en chaque endroit, sauf qu'ici chaque point est associé à une centaine de paramètres correspondant aux différentes particules du modèle. Dans un espace-temps continu, on a donc une infinité de valeurs et les calculs sont impossibles à mener. Une approche, la QCD sur réseau, consiste à discrétiser l'espace-temps selon un réseau hypercubique (comprenant les trois dimensions d'espace et une dimension de temps) dont la maille a une certaine longueur a . Les champs associés aux quarks prennent des valeurs uniquement sur les nœuds des mailles et ceux associés aux gluons seulement sur les liens entre deux nœuds voisins. On peut alors exprimer la QCD dans un formalisme de physique statistique, et les calculs deviennent possibles sur ordinateur. Par des méthodes éprouvées, on fait ensuite tendre a vers zéro pour retrouver le cas physique d'un espace-temps continu.

Grâce à cette approche, on passe d'une infinité de variables à un nombre fini, mais qui se compte tout de même en milliards sur les réseaux les plus grands. Il faut alors

C'est l'approche que vous avez suivie ?

Avec des collègues de l'université Loránd-Eötvös, à Budapest, en Hongrie, du Centre de physique théorique à Marseille, et de l'université de Wuppertal, en Allemagne, entre autres, nous avons exploré cette piste. En 2008, nous avons d'abord considéré un problème plus simple (le calcul de la masse du proton) pour confirmer que l'approche de la QCD sur réseau fonctionnait. Puis, en 2015, nous avons introduit la QED dans nos simulations pour calculer la petite différence de masse entre le neutron et le proton. Nous nous sommes ensuite concentrés sur le calcul du moment magnétique anomal du muon et la contribution hadronique. Pour cela, nous avons dû prendre en compte de nombreux effets, y compris de petits effets négligés jusque-là. Pour arriver au résultat, nous avons fait tourner nos calculs sur plusieurs supercalculateurs, en Allemagne et en France : Turing et le tout nouveau Jean-Zay de l'Idris du CNRS, et Joliot-Curie du TGCC au CEA.

Quel résultat avez-vous obtenu ?

Nous avons obtenu un moment magnétique anomal du muon très proche de la valeur expérimentale. Ce résultat arrive un peu à contre-courant de celui de référence, dont la valeur est plus faible et en tension avec les expériences. Il suggère que le modèle standard pourrait encore être

compatible avec les mesures de Brookhaven et de Fermilab.

Mais l'équipe de *Muon g-2* n'a analysé que 6 % de ses données. En accumulant plus de mesures, elle réduira ses barres d'erreur d'un facteur proche de 4. Selon l'évolution de leur résultat et des progrès théoriques que nous ferons, soit nous resterons compatibles, soit une tension va apparaître. Le suspense est entier. Par ailleurs, la situation théorique reste à éclaircir. Pourquoi les deux approches théoriques ne donnent-elles pas le même résultat ?

Comment y voir plus clair ?

D'autres équipes utilisent la QCD sur réseau pour calculer la correction hadronique. Nous attendons avec impatience leurs conclusions pour voir si elles confirment notre valeur ou si elles se rapprochent du calcul de référence. Dans le cas où ces autres groupes arriveraient à des résultats similaires au nôtre, il restera à comprendre pourquoi les deux méthodes ne s'accordent pas. Même si la comparaison est difficile – il est impossible par exemple de regarder terme par terme les différences –, nous réfléchissons à des stratégies et j'ai bon espoir que nous trouverons au moins une partie de la réponse.

Et la fameuse faille dans le modèle standard ?

Il est trop tôt pour affirmer que le modèle standard a enfin été mis en défaut. Cependant, il est clair que de nombreuses choses nous échappent, car il y a beaucoup de questions fondamentales auxquelles le modèle standard ne répond pas. La physique des particules reste un territoire riche et fascinant à explorer.