

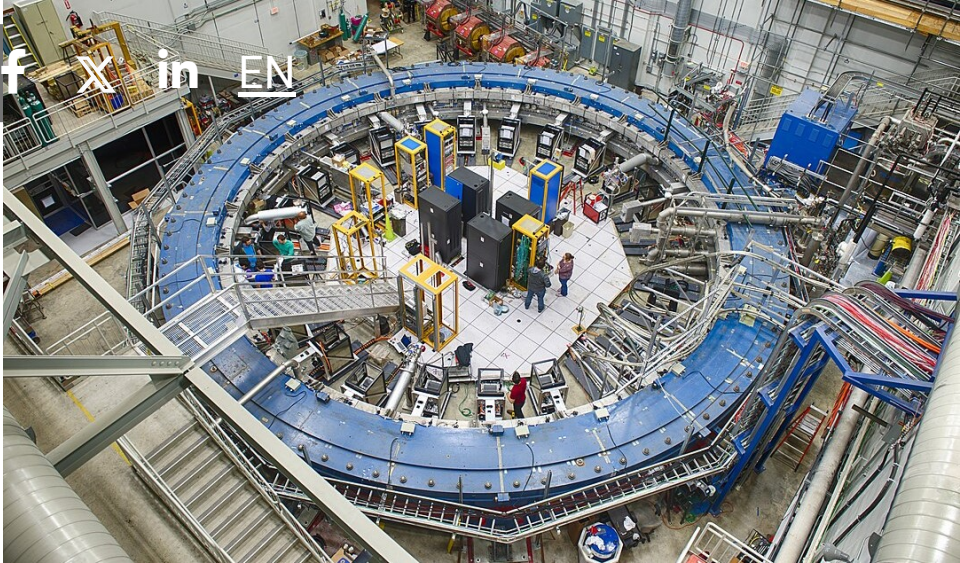
Estudo esclarece questão-chave da física de partículas

Resultado, que identifica a origem da divergência nas previsões recentes do momento magnético do múon, pode contribuir para a prospecção de efeitos de nova física, incluindo matéria escura

11 de janeiro de 2024



José Tadeu Arantes | Agência FAPESP – Momento magnético é a grandeza que quantifica a interação de uma partícula dotada de spin com um campo magnético, como o de um ímã. Assim como a massa e a carga elétrica, o momento magnético é uma das grandezas fundamentais da física. Existe uma diferença entre o valor teórico do momento magnético do múon, uma partícula que pertence à mesma classe do elétron, e os valores obtidos nos experimentos de altas energias, realizados nos aceleradores de partículas. A diferença só aparece na oitava casa decimal, mas vem intrigando os cientistas desde 1948, quando foi descoberta. E não se trata de um detalhe, pois essa diferença pode indicar que o múon interaja com partículas de matéria escura, outros bósons de Higgs ou, até mesmo, que existam forças diferentes das conhecidas envolvidas no processo.



Anel de armazenamento de múons no Fermilab (foto: Reidar Hahn/Wikimedia Commons)

O valor teórico do momento magnético do múon, representado pela letra “g”, obtido a partir da equação de Dirac (formulada pelo físico inglês Paulo Dirac, 1902-1984, Prêmio Nobel de Física de 1933, um dos fundadores da mecânica e da eletrodinâmica quânticas), é igual a 2. Mas sabemos, hoje, que g não é exatamente igual a 2 e, por isso, existe um grande interesse em entender “g-2”, isto é, a diferença entre o valor experimental e o valor previsto pela equação de Dirac. O melhor valor experimental disponível atualmente, obtido com precisão impressionante no [Fermilab](#), o Fermi National Accelerator Laboratory, nos Estados Unidos, e divulgado em agosto de 2023, é 2,00116592059, mais ou menos 0,00000000022. Informações sobre o experimento realizado no Fermilab, chamado “Muon g-2”, podem ser acessados em: <https://muon-g-2.fnal.gov/>.

“A determinação precisa do momento magnético do múon tornou-se uma questão central de física de partículas, pois a investigação desse intervalo entre os dados experimentais e as previsões da teoria pode nos proporcionar informações que levem à descoberta de algum efeito novo e espetacular”, diz à **Agência FAPESP** o físico [Diogo Boito](#), professor do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP).

Ele e colaboradores acabam de [publicar](#) um estudo a respeito em *Physical Review Letters*.

“Nossos resultados foram apresentados em dois importantes eventos internacionais. Primeiro por mim, em um workshop em Madri, na Espanha. Depois por meu colega Maarten Golterman, da San Francisco State University, em um encontro realizado em Berna, na Suíça”, conta Boito.

Esses resultados quantificam e apontam para a origem de uma discrepância entre os dois métodos utilizados nas previsões atuais de g-2. O pesquisador detalha: “Existem atualmente dois métodos para determinar um componente fundamental de g-2. O primeiro baseia-se em dados experimentais. O segundo em simulações computacionais da cromodinâmica quântica (quantum chromodynamics, ou QCD, em inglês), a teoria que estuda as interações fortes entre os quarks. Os dois métodos

$g-2$ ”.

O estudo conseguiu explicar tal discrepância. Mas, para entender isso, é preciso dar alguns passos para trás e recomeçar com uma descrição um pouco mais pormenorizada do múon.

O múon é uma partícula que pertence à classe dos léptons – a mesma do elétron. Porém, possui massa muito maior. E, por causa disso, não é estável, sobrevivendo apenas por intervalos de tempo curtíssimos, em contextos de altas energias. Quando interagem entre si, na presença de campos magnéticos, os múons se desconfiguram e reconfiguram, trazendo à presença um grande número de outras partículas: elétrons, pósitrons, bósons W e Z, bósons de Higgs, fótons etc. Assim, nos contextos experimentais, o múon sempre se apresenta acompanhado por miríades de partículas virtuais. São as contribuições dessas partículas que fazem com que o momento magnético efetivo, medido nos experimentos, seja maior do que o momento magnético teórico, igual a 2, calculado pela equação de Dirac.

“Para obter tal diferença $[g-2]$, é preciso considerar todas essas contribuições. Tanto aquelas que a cromodinâmica quântica [que compõe o modelo-padrão da física de partículas] prevê, quanto outros efeitos menores, mas que aparecem em medições experimentais muito precisas. Já conhecemos muito bem várias dessas contribuições. Mas não todas”, afirma Boito.

Os efeitos decorrentes da interação forte não podem ser calculados teoricamente apenas, pois esses cálculos de cromodinâmica quântica são impraticáveis em alguns regimes de energia. Assim, existem duas possibilidades. Uma delas, que já possui um lastro histórico, é recorrer aos dados experimentais obtidos nas colisões de elétrons com pósitrons, que geram outras partículas formadas por quarks. A outra, que se tornou competitiva apenas na década de 2020, é simular, com base na teoria, o processo em supercomputadores. Trata-se da chamada “QCD na rede”.

“O problema central da previsão de $g-2$ hoje em dia é que o resultado que se obtém usando os dados das colisões elétron-pósitron estão em desacordo com o resultado experimental total, enquanto os resultados baseados na QCD na rede estão em bom acordo com o experimento. E ninguém sabia ao certo por que isso acontecia. Nosso estudo esclarece parte desse quebra-cabeça”, comenta Boito.

Foi exatamente para resolver esse problema que ele e colaboradores realizaram o estudo em pauta. “O artigo atual é resultado de uma série de trabalhos nossos nos quais desenvolvemos um método novo para comparar os resultados de simulação de rede com aqueles obtidos a partir dos dados experimentais. Mostramos ser possível extrair, dos dados, contribuições que são calculadas na rede com grande precisão: a contribuição dos diagramas de Feynman ditos conectados”, informa o pesquisador.

Aqui é preciso abrir um pequeno parêntese para dizer que os diagramas de Feynman, criados no final da década de 1940 pelo físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988), Prêmio Nobel de Física de 1965, são representações gráficas utilizadas para descrever as interações entre partículas e simplificar os respectivos cálculos.

“No presente estudo, obtivemos, pela primeira vez, com grande precisão, as contribuições dos diagramas de Feynman conectados na chamada ‘janela intermediária de energia’. Hoje, temos oito resultados para essas contribuições, obtidos com simulações de QCD na rede, e todos eles em bom acordo entre si. E mostramos que os resultados vindos dos dados da interação elétron-pósitron não concordam com esses oito resultados das simulações”, afirma Boito.

Segundo o pesquisador, isso possibilita entender onde está o problema e quais seriam as possíveis soluções para ele. “Ficou claro que, se os dados experimentais para o canal de dois píons [mésons, isto é, partículas formadas por um quark e um antiquark, produzidas em colisões de alta energia] estiverem subestimados por alguma razão, esta pode ser a causa da discrepância”, resume. De fato, dados novos, ainda em processo de revisão por pares, do [Experimento CMD-3](#), realizado na Universidade de Novosibirsk, na Rússia, parecem indicar que os dados mais antigos do canal de dois píons poderiam estar, por alguma razão, subestimados.

Todo o trabalho feito por Boito neste estudo foi realizado no contexto de seu projeto “[Testes do modelo padrão: QCD de precisão e \$g-2\$ do múon](#)”, contemplado com Auxílio à Pesquisa Jovens Pesquisadores Fase 2 pela FAPESP.