

¿Se ha roto el modelo estándar?

Un esperado experimento anuncia que el momento magnético del muon se desvía de la predicción teórica de consenso, aunque un cálculo recién publicado rebaja las expectativas

DAVIDE CASTELVECCHI

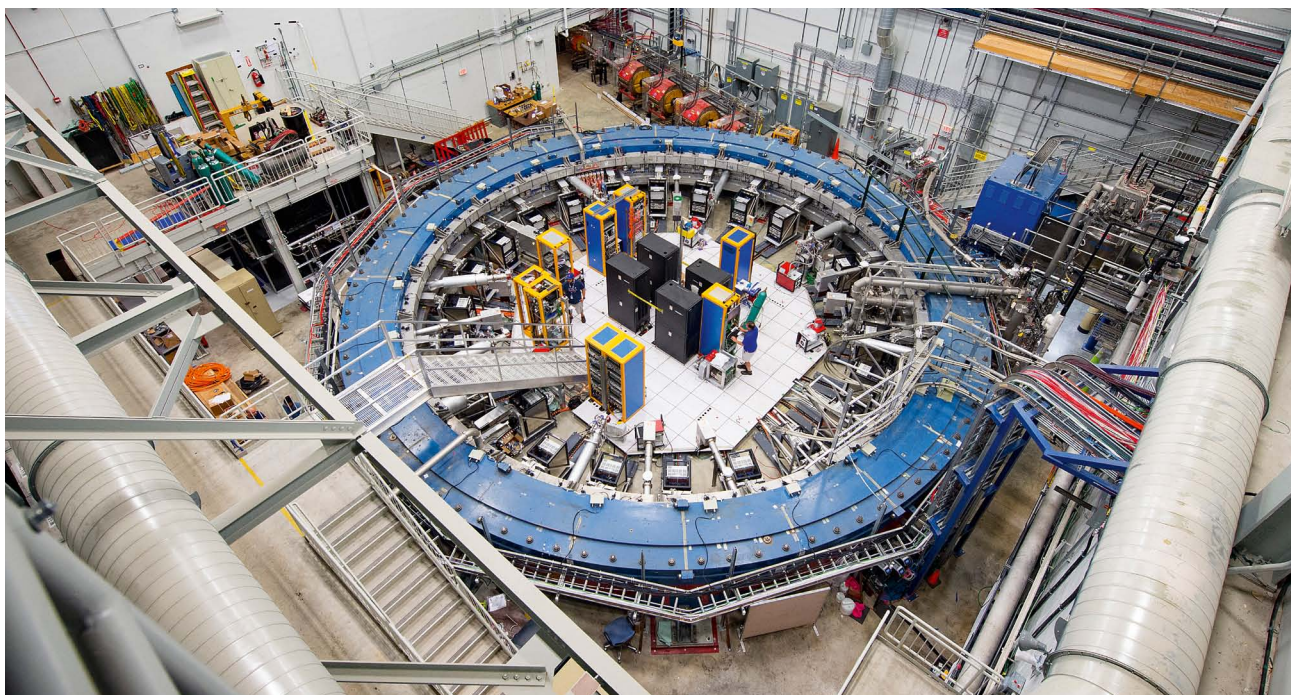


IMAGEN DEL EXPERIMENTO Muon $g - 2$ en el Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi (Fermilab), cerca de Chicago.

Los muones siguen comportándose de manera extraña. Un experimento en Estados Unidos ha confirmado un hallazgo previo según el cual esta partícula (muy similar al electrón, pero inestable y más masiva) sería más magnética de lo esperado. Si el resultado sobrevive el paso del tiempo, podría revelar la existencia de nuevas partículas elementales, algo que supondría toda una revolución en física teórica.

La colaboración Muon $g - 2$, del Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi (Fermilab), cerca de Chicago, anunció sus últimos hallazgos en una videoconferencia el 7 de abril. Los resultados, publicados en *Physical Review Letters*, son «extremadamente alentadores» para quienes esperan descubrir nuevas partículas, afirma Susan Gardner, física de la Universidad de Kentucky en Lexington.

Los primeros datos anómalos sobre el magnetismo del muon fueron obteni-

dos en 2001 en una versión previa del experimento ubicada en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, en Nueva York, cuyos resultados finales se publicaron en 2006. Las mediciones hacen referencia al momento magnético del muon: una propiedad de la partícula que hace que esta se comporte como un pequeño imán. El modelo estándar de la física de partículas predice que, en las unidades adecuadas, dicho momento magnético debería ser un número muy próximo a 2. En Brookhaven los físicos midieron esa diferencia, conocida como $g - 2$, y hallaron que era mayor de lo que predecía la teoría.

El interés por este parámetro se debe a que, en el caso de una partícula elemental, el valor de su momento magnético se ve modificado por los efectos de las partículas virtuales (versiones efímeras de las partículas reales que aparecen y desaparecen constantemente en el vacío cuán-

tico). Para predecir dicho valor, los físicos deben efectuar laboriosos cálculos que incluyan las contribuciones virtuales de todas las partículas conocidas. Si los datos experimentales difieren de manera apreciable de la predicción teórica, eso supondría un indicio de la existencia de nuevas partículas elementales en la naturaleza. En 2001, los resultados del experimento de Brookhaven hicieron pensar a muchos físicos que esas nuevas partículas no tardarían en dejar su impronta en otros experimentos.

Un experimento «ciego»

Para verificar los resultados obtenidos en su día en Brookhaven, los investigadores construyeron una nueva versión del experimento en las instalaciones del Fermilab. El dispositivo, que hace circular muones por un anillo de 15 metros de diámetro dotado de imanes superconductores, comenzó sus operaciones en 2017. Los resul-

tados presentados ahora corresponden al primer año de toma de datos.

Para evitar sesgos en el análisis, los físicos ocultaron deliberadamente el valor de un parámetro clave del experimento: la frecuencia de un reloj digital presente en la instalación. Solo dos físicos del Fermilab que no formaban parte de la colaboración conocían su valor. Como consecuencia, durante todo el proceso experimental los investigadores se vieron obligados a registrar los datos en un gráfico cuyos ejes tenían una escala incierta, lo que les impedía inferir el verdadero valor experimental del momento magnético del muon.

El 25 de febrero, en una videoconferencia en la que participaron la mayoría de los más de 200 miembros de la colaboración, los dos codirectores del experimento abrieron un sobre que contenía la frecuencia secreta del reloj. Cuando introdujeron ese número en los ordenadores, estos revelaron el verdadero resultado del experimento. En aquel momento se hizo obvio que la medición era compatible con la obtenida en Brookhaven veinte años atrás.

«El acuerdo es excelente», afirma Lee Roberts, físico de la Universidad de Boston en Massachusetts y uno de los miembros del experimento original. «La gente comenzó a aplaudir y a saltar, al menos hasta donde lo permite [una videoconferencia por] Zoom». Las reacciones de alegría eran evidentes a pesar de que muchos de los participantes tenían su micrófono silenciado, recuerda Brynn MacCoy, de la Universidad de Washington en Seattle. Según Roberts, el nuevo resultado valida el del experimento original.

Otros físicos están de acuerdo. Para Gino Isidori, físico teórico de la Universidad de Zúrich, los nuevos datos dan «una respuesta bonita y clara» al enigma planteado por los resultados anteriores. «Aquel experimento era correcto», asegura.

Pero, aunque la diferencia entre los resultados teóricos y los experimentales ha aumentado su significación estadística, todavía no constituye una prueba inequívoca de la existencia de nuevas partículas. «Quienes eran escépticos probablemente lo seguirán siendo», apunta Isidori. «En este momento, la pelota está en el tejado de los teóricos», añade.

La incógnita de la predicción teórica

La predicción teórica más aceptada para el momento magnético del muon es un

valor «de consenso» que fue publicado el año pasado. Sin embargo, otro trabajo publicado en *Nature* el 7 de abril (el mismo día que Fermilab anunció sus resultados) sugiere que la diferencia entre el valor experimental y las predicciones teóricas podría ser mucho menor de lo esperado.

Por lo que respecta al cálculo teórico, la parte más difícil de evaluar es la asociada a las contribuciones virtuales de los quarks, los constituyentes básicos del protón y el neutrón. Por esa razón, la manera tradicional de incorporar tales contribuciones en las estimaciones teóricas del momento magnético del muon se ha basado en usar datos experimentales obtenidos en otras instalaciones de física de partículas.

En el trabajo publicado ahora en *Nature* (ya conocido por la comunidad, puesto que su versión preliminar apareció en el repositorio de prepublicaciones arXiv en febrero de 2020), Zoltan Fodor, de la Universidad Estatal de Pensilvania, y sus colaboradores calcularon desde cero la contribución asociada a los quarks gracias a una técnica de simulación computacional conocida como «cromodinámica cuántica en el retículo» (*lattice QCD*). En el pasado, dicho método no se había usado en las estimaciones teóricas ya que no gozaba de la precisión requerida. Sin embargo, Fodor y sus colaboradores lograron mejorar la técnica, gracias a lo cual han obtenido un valor teórico para el momento magnético del muon que supera al valor de consenso y que se acerca mucho más al resultado experimental.

En estos momentos, otros grupos que trabajan en cromodinámica cuántica en el retículo están intentando igualar esa precisión a fin de que los resultados puedan añadirse al valor teórico de consenso, explica Aida El-Khadra, física teórica de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. «Las demás colaboraciones están trabajando para reducir sus errores, lo que requiere importantes recursos computacionales», afirma.

¿El primer fallo del modelo estándar?

Por ahora, la colaboración Muon $g-2$ sigue tomando datos y analizándolos. Los investigadores esperan que, en última instancia, la precisión de sus mediciones se multiplique por cuatro. Si la discrepancia entre la teoría y el experimento se confirma, será necesario revisar el modelo

estándar para incluir nuevas partículas. Sin embargo, un problema es que muchas de las posibles partículas que en su momento se pensó que podían estar inflando el momento magnético del muon han sido descartadas por otros experimentos; en particular, por el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN.

Siguen existiendo varias propuestas teóricas para explicar el momento magnético anómalo del muon, pero muchos físicos las consideran artificiosas. «No veo ninguna explicación que destaque por ser más elegante o convincente que las demás», opina Dominik Stöckinger, físico teórico de la Universidad Técnica de Dresde y miembro de la colaboración Muon $g-2$.

Desde que acabara de formularse allá por los años setenta del siglo pasado, el modelo estándar de la física de partículas ha superado todas y cada una de las pruebas experimentales a las que ha sido sometido. Pero los físicos saben que se trata de una teoría incompleta, y algunos albergan la esperanza de que sean los muones los que saquen a la luz su primer fallo. «Si confirmamos una diferencia con las predicciones del modelo estándar, habremos conseguido lo que la gente lleva buscando cincuenta años», concluye Roberts.

Davide Castelvecchi es periodista científico especializado en física, astronomía y matemáticas.

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 592, pág. 333, 2021.
Traducido con el permiso de Nature Research Group © 2021

Con la colaboración de **nature**

PARA SABER MÁS

Measurement of the positive muon anomalous magnetic moment to 0.46 ppm.

Colaboración Muon $g-2$ en *Physical Review Letters*, vol. 126, art. 141801, 7 de abril de 2021.

Leading hadronic contribution to the muon magnetic moment from lattice QCD.

Sz. Borsanyi et al. en *Nature*, 7 de abril de 2021.

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Indicios de nueva física en el LHC? Joaquim Matias en *IyC*, agosto de 2017.

Medir la belleza. Guy Wilkinson en *IyC*, enero de 2018.

Rompecabezas hiperfino. Jean-Philippe Karr en *IyC*, febrero de 2018.