

» INTERVISTA**POSSIBILI INDIZI DI NUOVA FISICA DAL
COMPORTEMENTO DEL MUONE**

Intervista a Graziano Venanzoni, ricercatore INFN della sezione di Pisa e co-portavoce della collaborazione Muon g-2.

Lo scorso 7 aprile i media di tutto il mondo hanno dato notizia dei primi attesi risultati ottenuti da Muon g-2, esperimento ospitato nel principale laboratorio statunitense per la fisica delle particelle, il Fermilab, e dedicato alla misura di precisione del momento magnetico anomalo del muone, un "cugino" pesante dell'elettrone. Il lavoro di analisi dei primi dati acquisiti dall'esperimento, svolto dalla collaborazione internazionale responsabile di Muon g-2, ha infatti fornito nuove evidenze a favore dell'esistenza di una discrepanza con le previsioni del Modello Standard, l'imponente edificio teorico per mezzo del quale oggi descriviamo la natura delle particelle subatomiche e il loro comportamento. Nonostante non abbia ancora raggiunto la significatività statistica necessaria per ottenere lo status di scoperta, il risultato potrebbe rappresentare un entusiasmante indizio della presenza di fenomeni e forze ancora sconosciuti e anticipare, se confermato, una di quelle tappe cruciali per la storia della fisica e del pensiero scientifico.

Attivo dal 2017, Muon g-2 ha usufruito di un importante contributo dell'INFN che, oltre a essere uno dei fondatori dell'esperimento, continua a svolgere un ruolo centrale all'interno della collaborazione attraverso la partecipazione delle proprie sezioni di Napoli, Pisa, Roma 2, Trieste, del gruppo collegato di Udine, e dei Laboratori Nazionali di Frascati. In particolare, i ricercatori italiani hanno fornito un contributo fondamentale sia nella fase di realizzazione e presa dati dell'esperimento sia in quella di analisi dati. A testimoniare la centralità delle attività svolte dall'INFN, anche la nomina, nel settembre del 2020, di Graziano Venanzoni, ricercatore INFN della sezione di Pisa, a co-portavoce della collaborazione Muon g-2.

» INTERVISTA

Graziano Venanzoni, l'esperimento Muon g-2 è dedicato alla misura di precisione del momento magnetico anomalo del muone. Ci può spiegare a quale comportamento del muone questo parametro si riferisce e perché è così importante conoscerne l'esatto valore?

Le particelle elementari cariche e dotate di un momento angolare intrinseco chiamato spin, che possiamo pensare come il moto di rotazione di una trottola, possiedono anche un momento magnetico, ovvero producono un campo magnetico del tutto analogo a quello dell'ago di una bussola. Il Modello Standard prevede che per ogni particella il valore del momento magnetico sia proporzionale al suo spin tramite un fattore numerico calcolabile e che il suo valore sia leggermente diverso da 2. Tale fattore è usualmente indicato con la lettera g e l'entità dell'anomalia, ovvero la differenza fra il valore reale e 2, è indicata con $g-2$. Questa anomalia associata al momento magnetico è stata rivelata per la prima volta nell'elettrone alla fine degli anni Quaranta del secolo scorso da una misura premiata con il Nobel nel 1955. Altri esperimenti di precisione crescente si sono succeduti nel tempo e all'inizio degli anni 2000 un esperimento con precisione più spinta, analogo al nostro, svoltosi presso il laboratorio di Brookhaven, nei pressi di New York, ha riscontrato una discrepanza intrigante tra le previsioni teoriche e il risultato sperimentale. La conferma con precisione maggiore di questa differenza con il valore previsto dalla teoria può aiutarci a comprendere se essa sia dovuta all'influenza esercitata sui muoni da particelle sconosciute. L'obiettivo di Muon $g-2$ è proprio quello di verificare questa ipotesi misurando il momento magnetico anomalo del muone con una precisione quattro volte superiore a quella di Brookhaven. Se la discrepanza con quanto previsto dal Modello Standard venisse confermata, saremmo perciò di fronte a una scoperta di grandissimo rilievo che aprirebbe la strada a nuova fisica.

Il 7 aprile la vostra collaborazione Muon g-2 ha pubblicato i primi attesi risultati dell'analisi dei dati raccolti dall'esperimento durante il run 1. Quali indicazioni hanno fornito alla comunità scientifica?

Come ricordato, l'anomalia del momento magnetico anomalo del muone è nota già da tempo e viene attribuita alle fluttuazioni quantistiche previste dalla teoria di campo, che rappresenta la base del Modello Standard. Ad oggi sappiamo che tutti i settori del Modello Standard, elettromagnetico, debole e forte, contribuiscono a determinare il comportamento magnetico anomalo del muone. Nel giugno del 2020 una collaborazione teorica formata da più di cento scienziati ha certificato il valore teorico di riferimento del $g-2$ raggiungendo una precisione di 400 parti per miliardo. Questa stessa collaborazione ha confermato la discrepanza con il valore misurato a Brookhaven. I primi risultati pubblicati ad aprile hanno non solo mostrato che la nostra misura era in ottimo accordo con quella precedente, ma hanno permesso di rafforzare la significatività della discrepanza dal Modello Standard portandola a 4,2 deviazioni standard. In altre parole, siamo passati da una probabilità che il risultato di Brookhaven

» INTERVISTA

fosse dovuto a una fluttuazione statistica di uno su 5.000 a uno su 40.000 combinando le due misure.

Di che cosa si compone l'apparato di Muon g-2 e in quale modo è in grado di effettuare misure tanto precise delle proprietà magnetiche del muone?

Il cuore dell'esperimento è l'anello di accumulazione, ereditato dal laboratorio di Brookhaven, in cui un campo magnetico ad altissima uniformità permette di far circolare i muoni per migliaia di giri durante il tempo di misura di 700 microsecondi. Le particelle vengono accelerate a velocità prossima a quella della luce e iniettate con la direzione dello spin allineata con il piano dell'orbita. Dopodiché, 24 calorimetri a cristalli di tipo Cherenkov distribuiti intorno all'anello permettono di misurare energia e tempo degli elettroni emessi nel decadimento dei muoni e ricostruire la direzione dello spin. Inoltre, due stazioni di *straw tubes*, rivelatori che utilizzano gas ionizzato, posizionate all'interno della camera a vuoto permettono di fare una "tomografia" ad alta precisione del fascio di muoni. Dalla misura di precisione della frequenza di precessione dello spin del muone e del campo magnetico (misurato da apposite sonde NMR - risonanza magnetica nucleare) si misura l'anomalia magnetica del muone con una precisione di 460 parti per miliardo.

Questo primo successo della vostra collaborazione è stato un successo anche della fisica italiana. Quale è stato e quale continua a essere il contributo dell'INFN a Muon g-2?

L'INFN ha dato un contributo estremamente importante e altamente apprezzato dalla collaborazione Muon g-2. Innanzitutto, grazie anche alla collaborazione con l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR, abbiamo costruito un sistema di calibrazione laser essenziale per raggiungere la precisione nella misura della frequenza di precessione anomala dello spin del muone, denominata ω_a . Inoltre siamo presenti in molti aspetti dell'esperimento. Contribuiamo infatti all'analisi della misura di ω_a , allo studio della dinamica di fascio, alla misura del campo magnetico, alla presa dati e alla ricostruzione software dei dati stessi. Attività che vengono svolte grazie anche al contributo di validissimi giovani ricercatori. Infine, ricopriamo ruoli di responsabilità in molti ambiti della gestione dell'esperimento.

Lei è uno dei due portavoce della collaborazione Muon g-2. Che cosa ha provato quando ha osservato per la prima volta i risultati e che cosa spera questi ultimi possano comportare per il futuro della fisica delle particelle?

Ho avuto delle sensazioni contrapposte. Da una parte l'enorme eccitazione ed emozione nel vedere un risultato così lungamente atteso; d'altra parte, ho sentito su di me la responsabilità, come co-portavoce dell'esperimento, di comunicare un risultato così importante. Il risultato che abbiamo annunciato è

» INTERVISTA

relativo al 6% dei dati che ci aspettiamo di prendere a conclusione dell'esperimento. Nel frattempo, abbiamo già acquisito i dati di una seconda e terza campagna di attività, e una quarta è attualmente in fase di svolgimento. Entro un paio d'anni dovrebbe essere pronta l'analisi dei dati della seconda e terza campagna che dovrebbe permettere di ridurre l'incertezza di un fattore 2, ottenendo così una misura ancora più precisa. La speranza è quella che i nostri sforzi, insieme ai risultati di altri esperimenti che verranno realizzati nel prossimo futuro al CERN e in Giappone dove è in programma la misura del momento anomalo del muone con un metodo alternativo, possano confermare la discrepanza rispetto alle previsioni del Modello Standard e l'esistenza di nuova fisica. Naturalmente, potrebbe anche accadere che, alla luce del nostro risultato, i teorici rivedano la loro predizione, trovando magari un valore più vicino alla misura sperimentale. Ma questo è parte integrante del modo in cui evolve il progresso scientifico, attraverso un confronto continuo e serrato tra misura sperimentale e predizione teorica. Vorrei infine fare una nota personale: vorrei dedicare questo risultato ad Antonio Anastasi, mio primo studente in Muon g-2, ragazzo straordinario e di grande talento, che purtroppo non ha avuto la possibilità di assistere alla realizzazione del suo lavoro. ■