

Il fascino dell'impossibile

Eventi rari e fisica oltre il modello standard

di Barbara Sciascia

a.
Una parte del rivelatore di muoni dell'esperimento Lhcb durante l'installazione.

Alice rise: “È inutile che ci provi – disse – non si può credere a una cosa impossibile”. “Oserei dire che non ti sei allenata molto – ribatté la Regina – Quando ero giovane, mi esercitavo sempre mezz’ora al giorno. A volte riuscivo a credere anche a sei cose impossibili prima di colazione”.

A differenza di Alice nel paese delle meraviglie, i fisici si allenano molto e arrivano a credere a ben più di sei “cose impossibili”, anche se non si tratta tanto di credere, quanto di misurare fenomeni impossibili o molto rari. Non sappiamo perché la Regina volesse esercitarsi sulle cose impossibili, ma sappiamo molto bene perché lo facciamo noi fisici. Il modello standard delle particelle elementari, pur descrivendo con grande accuratezza quasi tutti i risultati sperimentali finora ottenuti, non include la forza di gravità, non dà nessuna spiegazione sulla materia oscura (sei volte più abbondante della materia ordinaria), né spiega perché esistono tre famiglie di particelle che si differenziano essenzialmente per una diversa massa. Siamo convinti che il modello standard è solo una parte di una teoria più ampia, cercata senza successo da molti anni; e anche se sono state avanzate molte proposte, nessuna finora ha avuto conferme sperimentali. Quelle più promettenti sono le teorie che includono la *supersimmetria*, la proprietà secondo cui a ogni particella fondamentale del modello standard corrisponde una compagna, detta *superparticella*. Lo studio di fenomeni molto rari o addirittura impossibili, dà indicazioni importanti su quale delle *teorie Susy* (dall'inglese *SUPERSymmetry*), potrebbe diventare il nuovo modello standard.

Le superparticelle, se esistono,



Hic sunt leones

1.
Lo studio attento della cartina indica dove è più probabile trovare un buon sentiero, ma sarà poi il percorrere realmente la montagna che confermerà la scelta fatta.



Hic sunt leones era la scritta che nelle antiche carte geografiche indicava all'incauto esploratore il possibile pericolo nascosto nelle zone ancora inesplorate, e come tali piene forse di nuove ricchezze e conoscenze. Tanto da spingere molti a rischiare l'incontro con i *leones*. Anche i fisici sono mossi da una brama di conoscenza analoga, quando esplorano le zone sconosciute delle loro teorie.

In fisica, tra teoria ed esperimento, c'è più o meno lo stesso rapporto che c'è tra una carta topografica e il terreno che essa descrive. Se un esploratore (il fisico sperimentale) scopre qualcosa di nuovo sul campo, la cartina deve essere modificata. Il compito del cartografo (il fisico teorico) è quello di organizzare i dati raccolti sul terreno dagli esploratori, disegnando cartine sempre più precise. In ogni caso, se cartina e terreno sono in disaccordo, sarà sempre la prima a dover essere modificata!

Nella fisica delle particelle elementari abbiamo un'ottima cartina, nota come modello standard, ma vorremmo ampliarla per includere regioni sconosciute non

ancora descritte, dove campeggia *l'hic sunt leones*. A differenza di una vera cartina, le aggiunte devono rispettare regole rigorose (principi di simmetria, leggi di conservazione) e il modo migliore per capire come farle, è andare in esplorazione (fare nuove misure).

L'analogia tra geografia e fisica non può essere spinta troppo oltre, ma può aiutarci ancora un po'. Il passaggio verso terre sconosciute, oltre una catena di montagne apparentemente invalicabile, dovrà essere cercato in luoghi impervi prima inesplorati (ricerca di "eventi impossibili" o quasi). Ma utili indicazioni di quale dei tanti luoghi impervi esplorare, potrebbero venire da un'attenta analisi della cartina, cioè di quello che già si conosce. Un'altra indicazione di terre sconosciute potrebbe essere la presenza di piante non autoctone. E i posti migliori in cui possono crescere floride sono le zone con moltissimi altri alberi: il problema in questo caso è quello di distinguere l'albero della specie nuova da tutti gli altri, spesso molto simili (lo studio degli "eventi rari").

possono essere scoperte e studiate in due modi diversi e complementari: producendole in acceleratori di particelle come Lhc (ricerca *diretta*) o studiandone gli effetti su altri tipi di fenomeni (ricerca *indiretta*). Fino a oggi la ricerca diretta in Lhc da parte degli esperimenti Atlas e Cms non ha rivelato nessuna superparticella e bisognerà attendere i dati a più alta energia, che saranno raccolti a partire dal 2015. Nella ricerca indiretta, fenomeni molto promettenti sono il decadimento del mesone B_s in due muoni e il decadimento del muone in un elettrone e un fotone. Vediamo di che cosa si tratta.

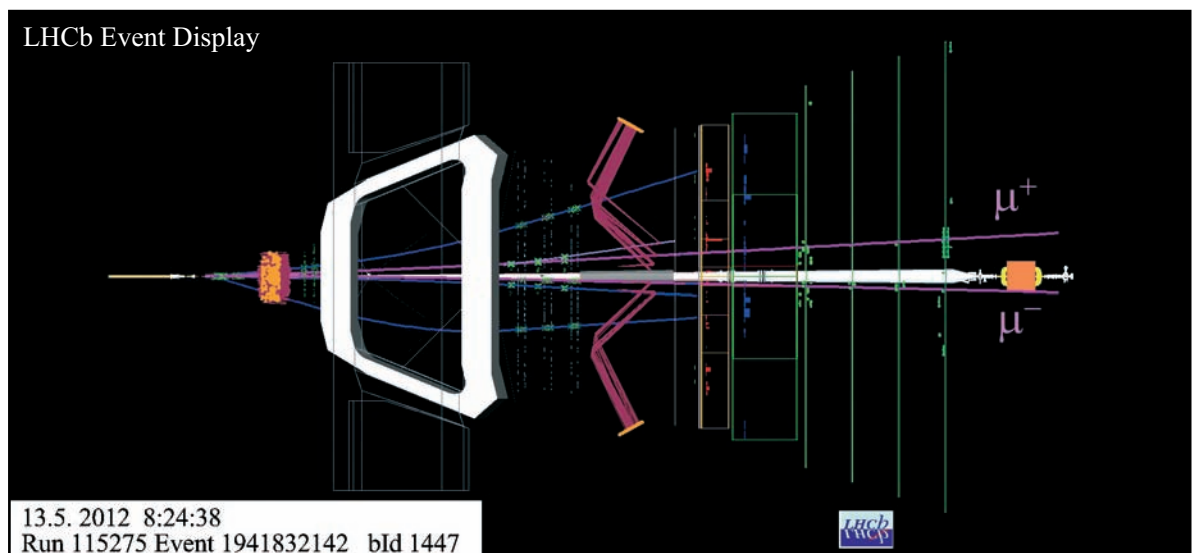
Quasi tutte le particelle di materia del modello standard, una volta create, vivono per pochissimo tempo (di solito frazioni minime di secondo) prima di morire, i fisici dicono “prima di *decadere*”, trasformandosi in altre particelle. Ciascuna particella può decadere in diverse combinazioni di altre particelle e la probabilità con cui si manifesta una combinazione o l'altra può essere calcolata teoricamente.

Secondo il modello standard, la probabilità che un mesone B_s (composto da un antiquark bottom e un quark strange) decada in due muoni è molto piccola, appena tre volte ogni miliardo di decadimenti. L'esistenza di particelle supersimmetriche può modificare questa probabilità, aumentandola o diminuendola.

La ricerca di un B_s che decada in due muoni è iniziata più di 25 anni fa. Gli ultimi in ordine di tempo a provare a trovarlo sono stati tre degli esperimenti attivi in Lhc: Atlas, Cms e Lhcb. Finalmente, nel novembre 2012, analizzando un campione di dati contenente più di cinquanta miliardi di mesoni B_s , Lhcb ha individuato una manciata di eventi (uno è mostrato in fig. b), in cui il mesone B_s decada in due muoni. È uno dei decadimenti più rari mai osservati in natura.

L'impresa sperimentale è stata enorme. I pacchetti di protoni in Lhc collidono una volta ogni cinquanta miliardesimi di secondo, producendo ogni secondo quasi quattordici milioni di eventi registrati dal rivelatore Lhcb. Di tutti questi eventi, solo poche migliaia ogni secondo sono interessanti da studiare, e una delle sfide dei moderni rivelatori è proprio quella di individuare i pochissimi eventi “buoni” in tempi brevi (nel caso di Lhcb qualche millesimo di secondo al massimo). Questo compito è svolto dal *trigger* (dall'inglese “attivare”) uno dei sistemi fondamentali di ogni esperimento. Nel trigger, proprietà dei rivelatori e caratteristiche dei decadimenti da selezionare si fondono in un unico sistema, capace di riconoscere gli eventi senza studiarli in dettaglio. Senza un ottimo trigger gli esperimenti di Lhc registrerebbero quasi solo eventi poco significativi, e sicuramente Atlas e Cms non avrebbero potuto scoprire il bosone di Higgs!

b. Rappresentazione schematica di uno degli eventi del campione di dati raccolto da Lhcb nel 2012, in cui un mesone B_s è probabilmente decaduto in due muoni: le due lunghe linee viola rappresentano i due muoni che provengono da un unico punto (a sinistra), dove il mesone B_s è decaduto a pochi millimetri di distanza da dove è stato prodotto nell'interazione dei fasci di protoni di Lhc.

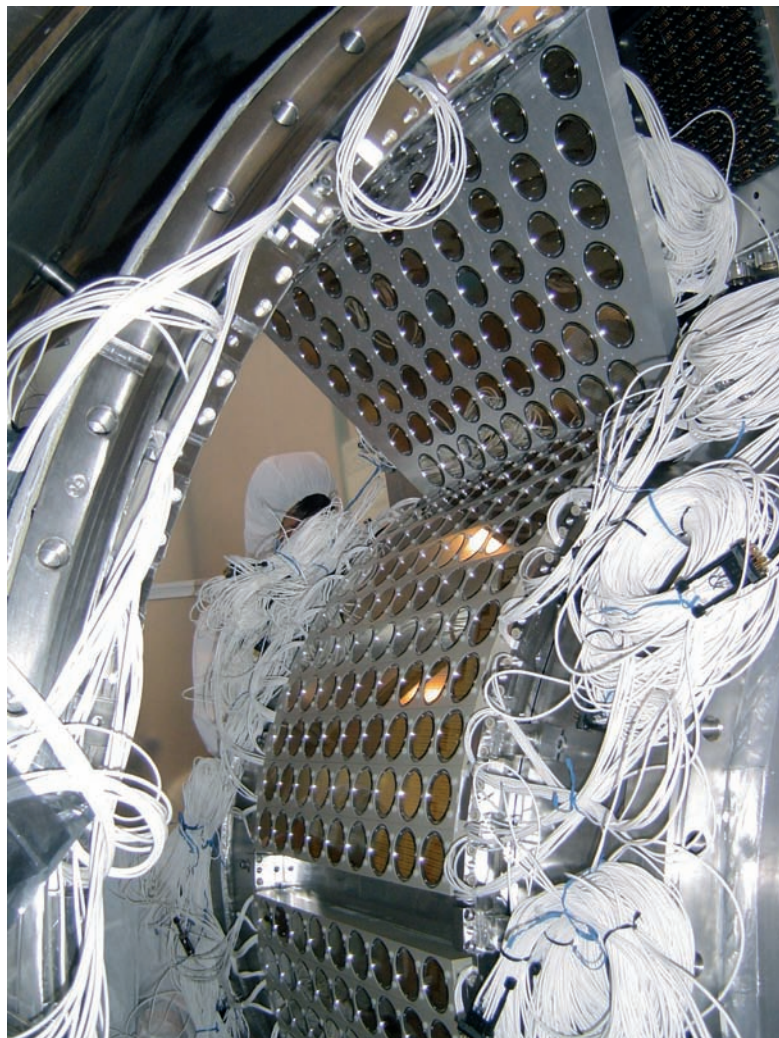


Tornando a Lhcb, nel caso della ricerca del B_s , il “segnale” da cercare è semplice: due muoni che provengono da uno stesso punto, quello dove il B_s è decaduto. Un primo problema è che in ciascun evento possono esserci decine di muoni prodotti dal decadimento di altre particelle, e non è semplice trovare “quelli giusti”. Ma la ricerca di un decadimento raro come il B_s in due muoni va ben oltre la scelta dei due muoni, e richiede l’impiego di tecniche avanzate di analisi dati, per alcuni aspetti simili alle tecniche di riconoscimento facciale che vediamo all’opera in molti telefilm investigativi. Con la manciata di eventi selezionati, Lhcb ha misurato la probabilità che il B_s decada in due muoni, trovando un valore molto simile a quello previsto; un valore non in accordo con la teoria sarebbe stato un chiaro segnale di fisica oltre il modello standard, cercata da molti anni. Successivamente anche l’esperimento Cms ha completato un’analisi di eventi di decadimento di un B_s in due muoni e lo scorso luglio i due esperimenti hanno presentato una misura combinata dei loro risultati. Sempre secondo il modello standard è di fatto impossibile che un muone decada in un elettrone e un fotone. La probabilità che ciò accada è così piccola che per sperare di osservarlo dovremmo studiare un numero enorme di muoni (più di quanti possano essere mai prodotti dall’uomo!). Invece, in molte teorie Susy, la probabilità che ciò avvenga assume valori un po’ più alti, sempre piccoli, ma tali da poter essere misurati sperimentalmente, anche se ciò non è ancora successo. Lo scorso aprile, l’esperimento Meg presso il Paul Scherrer Institut di Zurigo ha terminato l’analisi dei dati raccolti e, non avendo trovato nessun muone decaduto in un

elettrone e un fotone, ha determinato che, se anche ciò accadesse, non potrebbe farlo più di due volte ogni mille miliardi di muoni osservati. Questo è oggi il limite più stringente che abbiamo, ma in futuro la ricerca potrebbe proseguire con l’esperimento Mu2e presso il Fermilab di Chicago, negli Stati Uniti, che analizzerà i diecimila miliardi di miliardi di muoni che saranno prodotti nei primi due anni di presa dati.

Potrebbe non essere lontano il tempo in cui capiremo perché molte particelle hanno smesso di esistere pochi istanti dopo il Big Bang, perché l’universo è fatto di materia e non di antimateria e qual è l’essenza della materia oscura. E allora capiremo che avremo fatto bene a seguire, come la Regina, il fascino dell’impossibile, sia esso lo studio accurato del decadimento del B_s in due muoni o la ricerca del muone che decade in elettrone e fotone.

c. Una fase del cablaggio del rivelatore di fotoni dell’esperimento Meg del Paul Scherrer Institut di Zurigo.



Biografia

Barbara Sciascia è ricercatrice presso i Laboratori Nazionali di Frascati (Lnf) dell’Infn. Collabora agli esperimenti Kloe ai Lnf e Lhcb al Cern. In Lhcb fa parte del gruppo di lavoro che studia il decadimento del mesone B_s in due muoni.

Link sul web

<http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>

<http://meg.web.psi.ch/>

<http://mu2e.fnal.gov/public/gen/>

<http://cms.web.cern.ch/news/very-rare-decay-has-been-seen-cms>