

Il fantasma dell'Opera

Il caso dei neutrini superluminali

di Lucia Votano

a.
L'affollatissimo seminario al Cern del 23 settembre 2011, in cui l'esperimento Opera annunciò l'anomalia individuata nella velocità dei neutrini.



Misterioso neutrino! Il racconto della sua storia scientifica si è subito tinto di giallo. La misteriosa scomparsa di buona parte dei neutrini attesi dal Sole ha intrigato per anni tanti fisici che, tessera dopo tessera, hanno alla fine rivelato che l'assassino era proprio il neutrino stesso, o meglio la sua capacità di trasformarsi oscillando da uno all'altro dei tre tipi (o "sapori") in cui si manifesta. Come un navigato uomo di spettacolo il neutrino ha quindi sempre amato sorprendere e salire agli onori della cronaca. L'ultimo esempio risale al 2015 con l'assegnazione del premio Nobel per la fisica ad Art McDonald e Takaaky Kajita per le oscillazioni dei neutrini.

Il colpo di teatro più azzardato l'ha però tentato a settembre 2011 quando, in un affollatissimo seminario tenutosi al Cern (vd. fig. a, ndr), sostenne di essere riuscito a superare la velocità della luce, suscitando un putiferio nella comunità scientifica e nei media di tutto il mondo, allertati da indiscrezioni già uscite in precedenza. Il sorprendente risultato era stato ottenuto al laboratorio del Gran Sasso dall'esperimento Opera, che dal

2008 al 2012 ha scoperto l'apparizione di cinque neutrini tau nel fascio puro di neutrini muonici Cngs (Cern Neutrinos to Gran Sasso), fornendo così la prova diretta dell'oscillazione dei neutrini muonici in neutrini tau. Il fascio Cngs, prodotto al Cern come risultato della collisione di protoni accelerati ed estratti dell'acceleratore Sps (Super Proton Synchrotron) su un bersaglio di grafite, era inviato sotto la crosta terrestre verso il laboratorio italiano. Con il superamento della velocità della luce entrava in crisi uno dei capisaldi della fisica contemporanea e, in particolare, della teoria della relatività speciale di Einstein, per la quale la velocità della luce c nel vuoto è in assoluto la più alta raggiungibile da qualunque particella.

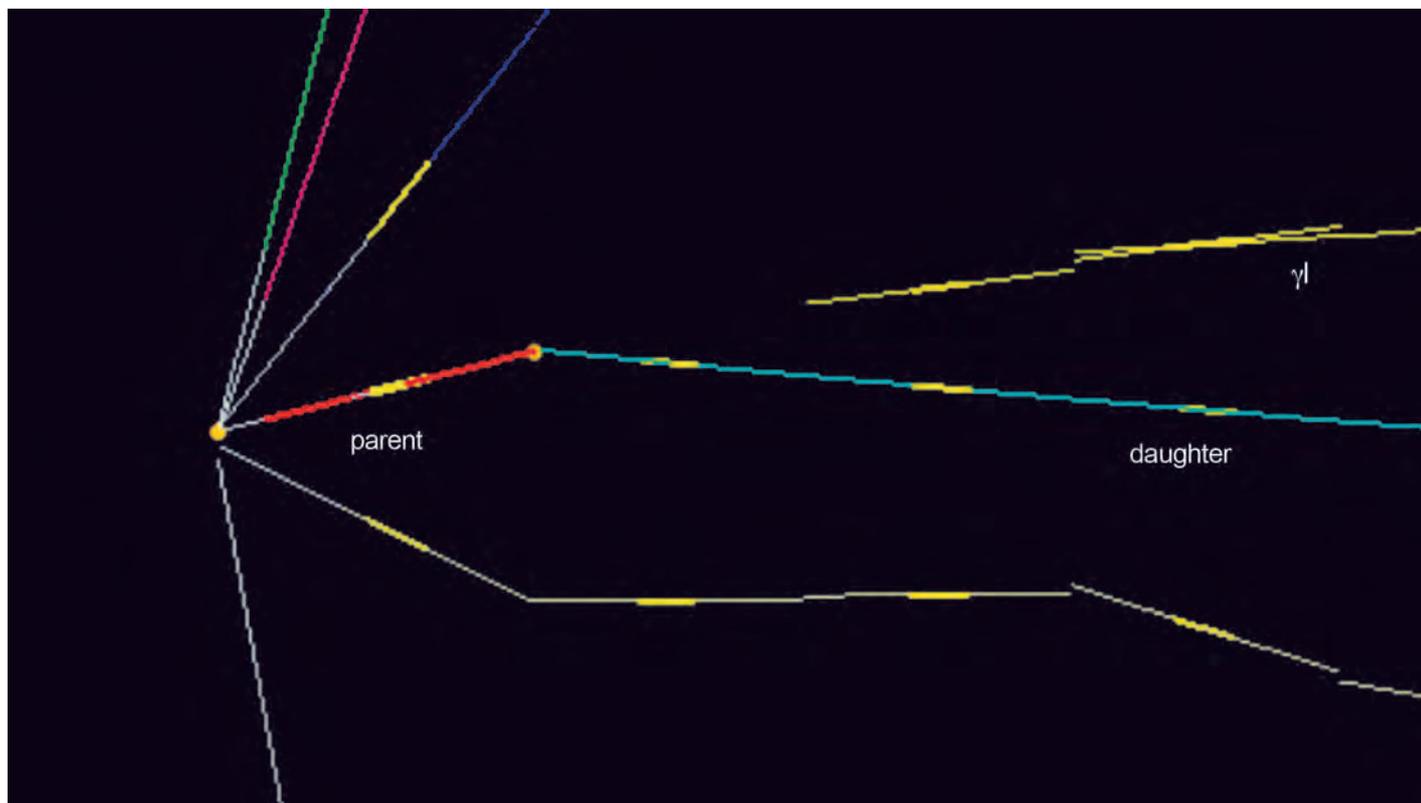
Più precisamente, i risultati indicavano, con una significanza statistica altissima (pari a $6,2 \sigma$), che i 15.223 neutrini misurati da Opera erano arrivati al Gran Sasso in anticipo di 57,8 ns (miliardesimi di secondo) rispetto al tempo che avrebbe impiegato la luce nel vuoto e che la deviazione relativa delle due velocità era di circa una parte su 100.000.

Il risultato di Opera era stato ricavato da misure complesse e molto precise del tempo di volo dei neutrini e della distanza percorsa, circa 730 km, dal Cern al Gran Sasso (vd. anche in *Asimmetrie* n. 17 l'approfondimento a p. 41, ndr). Il tempo di volo, ad esempio, non era misurabile individualmente per ogni neutrino, non essendo possibile identificare quale, tra i tantissimi protoni estratti ciclicamente per 10,5 μ s (milionesimi di secondo) dall'anello Sps, fosse il suo progenitore. Era invece ottenuto dal confronto in coordinate Utc (il "tempo coordinato universale", ovvero il fuso orario di riferimento da cui sono calcolati tutti gli altri fusi orari del mondo) tra la distribuzione temporale degli eventi di Opera e la probabilità di emissione dei neutrini, ricavata dalla misura della distribuzione temporale dei protoni limitatamente alle estrazioni che avevano generato un evento. La sincronizzazione al nanosecondo era stata ottenuta grazie a due identici sistemi Gps e orologi al cesio, molto precisi, installati appositamente nel 2008 da Opera al Cern e al Gran Sasso, calibrati dall'Istituto federale di metrologia svizzero e controllati nel 2011 dall'Istituto federale tedesco di metrologia.

Inoltre, si era tenuto conto o valutato con grande scrupolo e meticolosità ogni possibile effetto dovuto a incertezze nella conoscenza della posizione di partenza del neutrino e del vertice dell'interazione, tempi di transito e ritardi introdotti da rivelatori, cavi, schede di elettronica, ecc. La distanza percorsa dai neutrini era infine nota con un errore di soli 20 cm (corrispondente a un errore di meno di 1 ns) a seguito di campagne di rilevazioni geodetiche eseguite al Cern e al Gran Sasso. I sistemi Gps installati da Opera potevano anche monitorare continuamente i movimenti della crosta terrestre. Opera pubblicò in rete i risultati, dopo una votazione e vivaci discussioni all'interno della collaborazione sulla necessità o meno di procedere con più analisi parallele e con addizionali controlli, in aggiunta ai tanti e meticolosi già eseguiti, nonché ai calcoli di tutti gli effetti noti che avrebbero potuto inficiare la misura. La notizia dei neutrini superluminali provocò la pubblicazione in rete di un impressionante numero di articoli teorici che tentavano di conciliare la misura di Opera con le inconfutabili prove sperimentali della relatività. A dicembre 2011 c'è un nuovo colpo di

scena. Rimisurando il ritardo introdotto dagli 8,3 km di fibra ottica che portava il segnale Utc dei laboratori dalla superficie fino alla scheda elettronica che produceva il *master clock* per l'esperimento - all'interno del tunnel del Gran Sasso -, si trovò un valore di 73,2 ns maggiore di quello misurato nel 2006 e nel 2008. Si scoprì poi che la causa era tanto semplice quanto "ben nascosta": una cattiva connessione del cavo che, riducendo l'ampiezza del segnale, produceva in ultima analisi una sottostima del tempo di volo. Ripristinando correttamente la connessione, il valore tornava quello misurato in precedenza. Durante altri controlli a tutta la catena di temporizzazione degli eventi, si riscontrò inoltre che l'oscillatore del *master clock*

b.
Immagine del primo evento tau e del suo decadimento misurato in Opera nel maggio del 2010.





b. Dettaglio dell'esperimento Opera nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Infn. Opera ha fornito la prova diretta dell'oscillazione dei neutrini da muonico a tau mediante la misura di cinque neutrini tau, risultato dell'oscillazione dei neutrini muonici del fascio Cngs.

non era stato perfettamente calibrato, con la conseguenza che la temporizzazione di ogni evento era sovrastimata di una quantità dipendente dalla posizione nel ciclo di acquisizione degli eventi. Una nuova informazione arrivò, infine, dall'analisi congiunta di Opera e Lvd (il Large Volume Detector, un altro esperimento installato nei Laboratori del Gran Sasso) dei tempi di attraversamento di circa trecento muoni atmosferici orizzontali in coincidenza nei due rivelatori, posti a distanza reciproca di 160 m. Fu chiaro che il cavo era stato reinserito malamente nel 2008 e si ebbe la conferma che, da quel momento in poi, la temporizzazione degli eventi di Opera era falsamente anticipata di quasi 60 ns. Individuato l'errore strumentale, il 23 febbraio del 2012 l'Infn e il Cern diffusero congiuntamente una nota di Opera per comunicare che erano stati identificati due effetti che, in versi opposti, potevano aver sostanzialmente inficiato la misura precedente. Nel frattempo, dopo il clamoroso annuncio dei neutrini superluminali, anche altri esperimenti dei Laboratori del Gran Sasso (Borexino, Icarus, Lvd) avevano deciso, incoraggiati e sostenuti dalla direzione del laboratorio, di misurare la velocità dei neutrini, migliorando i rispettivi sistemi di temporizzazione degli eventi. Anche il Cern si era attrezzato per modificare per brevi periodi il ciclo di Cngs, in modo da inviare impulsi di neutrini molto brevi (di qualche nanosecondo), separati opportunamente tra loro, consentendo così la misura del tempo di volo di ogni singolo neutrino. Icarus e Borexino, utilizzando i dati raccolti in questi *run* speciali, pubblicarono, rispettivamente, a marzo e a luglio 2012 i loro risultati che confutarono ogni anomalia. Anche Opera, rianalizzando i dati del 2009-2011, alla luce di quanto scoperto, pubblicò un nuovo risultato nel luglio 2012, del tutto compatibile con la relatività di Einstein. L'anomalia era definitivamente rientrata e, con i dati raccolti nei *run* speciali, Opera pubblicò a dicembre, separatamente per neutrini e antineutrini, la misura statisticamente più precisa mai ottenuta della velocità dei neutrini. Il 28 marzo 2012 la direzione del Gran Sasso organizzò un

seminario pubblico in cui gli esperimenti coinvolti nella misura presentarono i propri risultati, tutti compatibili con la relatività di Einstein. L'evento ha assunto anche un valore simbolico: si chiudeva la vicenda iniziata con il seminario tenutosi al Cern, lì dove l'anomalia era stata misurata si ristabiliva la verità scientifica e non solo con l'esperimento Opera, ma con le misure di più esperimenti dei Laboratori.

La scienza ancora una volta aveva saputo correggere se stessa seguendo quel metodo basato sulle "senseate esperienze" di cui parla Galileo Galilei: ogni risultato di un esperimento per diventare "verità" scientifica deve poter essere riprodotto da chiunque ripeta la misura. Molto rimane ancora da scoprire sulla natura dei neutrini e gli esperimenti in corso o programmati ci aiuteranno a capire meglio queste elusive e misteriose particelle. Il neutrino tornerà ancora alla ribalta della scena scientifica, ma sicuramente con maggiore prudenza.

Biografia

Lucia Votano, ricercatrice associata all'Infn, dal 2009 al 2012 è stata direttore dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Lngs). Dopo l'attività iniziale in fisica sperimentale delle particelle elementari al Cern e a Desy-Amburgo, si è principalmente occupata di fisica astroparticellare con gli esperimenti Rog ai Laboratori Nazionali di Frascati e Lvd e Opera ai Lngs. Al momento è impegnata nell'esperimento Juno da realizzare in Cina entro il 2020. È autrice del libro divulgativo "Il fantasma dell'universo - Che cosa è il neutrino", Carocci editore.

Link sul web

<http://operaweb.lngs.infn.it>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2017.22.6