

» FOCUS



n_TOF: IL MISTERO NASCOSTO NEI PRIMI TRE MINUTI DI VITA DELL'UNIVERSO

È un mistero che dura ormai da mezzo secolo. E che risale ai primordi del universo. Ai suoi primi tre minuti di vita dopo il Big Bang. Un intervallo di tempo durante il quale si formano gli elementi più leggeri e abbondanti dell'universo. Qualcosa, però, non quadra. Il litio. La stima dei modelli teorici è più abbondante di un fattore tre rispetto a quella dedotta dalle osservazioni. È il cosiddetto *problema del litio cosmologico*.

Il modello teorico della cosiddetta Nucleosintesi del Big Bang (BBN) dà, infatti, conto con notevole precisione dell'abbondanza osservata degli elementi leggeri e dei loro isotopi nel cosmo. Le quantità osservate di deuterio ed elio rispetto all'idrogeno rispecchiano appieno le previsioni del BBN. Quando si tratta del litio, però, il valore osservato risulta tre volte inferiore a quanto previsto. I fisici della Collaborazione n_TOF al CERN, cui partecipano i ricercatori dell'INFN, lo hanno affrontato effettuando delle misure complesse sul berillio.

n_TOF è una sorgente pulsata di neutroni accoppiata a due basi di volo, di 200 e 20 metri, progettata per studiare le interazioni neutrone-nuclei per neutroni con energia cinetica compresa da pochi meV a diversi GeV. L'energia cinetica dei neutroni è determinata dal tempo di volo, in inglese *time-of-flight*, da cui il nome n_TOF. Lo studio di queste reazioni è di grande importanza in una grande varietà di ambiti di ricerca, tra cui appunto lo studio della nucleosintesi stellare. Il nuovo risultato della collaborazione n_TOF ha già portato a una pubblicazione su *Physical Review Letters* (PRL). Lo studio, per la sua importanza, è stato, inoltre, selezionato dalla rivista come "Editors' Suggestion".

I ricercatori di n_TOF hanno scelto il berillio (^7Be), perché è quasi esclusivamente dal suo decadimento che il litio cosmologico è prodotto nella cosiddetta BBN. Una possibile spiegazione dell'abbondanza del litio è che nei modelli teorici sia sovrastimata la produzione di berillio. Oppure, che sia sottostimata la sua distruzione, in seguito a reazioni indotte da neutroni o particelle cariche.

Il ^7Be , isotopo instabile del berillio, decade in ^7Li con una vita media di circa 53 giorni. Tre minuti dopo il

» FOCUS

Big Bang gli elementi leggeri appena formati non interagiscono più tra di loro. Le quantità presenti rimangono "congelate". Il ${}^7\text{Be}$, però, si trasforma a poco a poco in ${}^7\text{Li}$, dimezzando la propria quantità ogni 53 giorni. In pochissimo tempo scompare del tutto. Ecco perché osservare un deficit di litio implica che il ${}^7\text{Be}$ iniziale fosse meno di quanto previsto dal modello BBN. Per spiegare questo effetto bisogna trovare un meccanismo alternativo che abbia distrutto precocemente il ${}^7\text{Be}$ (un'altra possibilità è che inizialmente si sia formato meno ${}^7\text{Be}$, anche se questa ipotesi è molto meno accreditata).

Quasi tutte le reazioni nucleari possibili nello scenario dei primissimi minuti dell'universo sono state, però, misurate con notevole precisione. Le uniche restanti per tentare di spiegare la distruzione precoce del ${}^7\text{Be}$, sono due reazioni del berillio indotte da neutroni, ampiamente presenti nello scenario primordiale. In alternativa, sarebbe necessario postulare Nuova Fisica o un errore nella stima del litio primordiale nelle osservazioni astrofisiche.

Le misure, per oltre 50 anni, sono risultate proibitive, in quanto richiedono la combinazione di diversi fattori: un fascio di neutroni con energia simile a quella dello scenario primordiale, e con un flusso estremamente elevato, bersagli di ${}^7\text{Be}$ in quantità e purezza sufficiente, e un apparato di misura adeguato. Uno dei limiti maggiori è stato per tanti anni la mancanza di un'adeguata quantità di ${}^7\text{Be}$, un isotopo altamente radioattivo, che si disintegra rapidamente e pone non pochi problemi di radioprotezione.

Negli ultimi anni, la Collaborazione n_TOF si è, quindi, proposta di dare finalmente risposta al mistero del litio. Il fascio di neutroni con le caratteristiche richieste dall'esperimento è stato disponibile dal 2014 nella nuova area sperimentale "EAR2" al CERN. L'apparato sperimentale, ad alta efficienza e selettività, è stato sviluppato dal gruppo INFN, in particolare presso i Laboratori Nazionali del Sud (LNS) di Catania.

La misura - secondo quanto illustrato nello studio appena pubblicato - ha dimostrato che, nel range d'interesse per la BBN, è in grado di fornire un valore dieci volte inferiore a quanto attualmente utilizzato nei modelli teorici, chiarendo in maniera inequivocabile che questo canale di reazione non è in grado di risolvere il problema del litio cosmologico. Il mistero, quindi, permane. E, secondo alcuni modelli, potrebbe anche essere un segnale di fisica oltre il Modello Standard.

Gli scienziati della Collaborazione n_TOF stanno, quindi, già guardando oltre. E hanno deciso di effettuare nuove misure. Su un nuovo canale di reazione. Recentemente è stato realizzato un altro esperimento, ancora presso EAR2 a n_TOF, con un setup sperimentale sviluppato assieme a un gruppo dell'Università di Lodz. Il nuovo esperimento dovrebbe chiudere il cerchio di tutte le reazioni nucleari coinvolte nella nucleosintesi primordiale. L'analisi dei dati è in corso. Un'analisi alla fine della quale i fisici sperano finalmente di trovare la soluzione a uno degli enigmi risalenti alle origini dell'universo, attesa ormai da 50 anni. ■