

Dal Gran Sasso al Big Bang e ritorno: l'esperimento LUNA e la densità della materia

✍ A. Guglielmetti, S. Zavatarelli 📅 22-12-2020 🔗 <http://www.primapagina.sif.it/article/1223>

La collaborazione LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) ha recentemente misurato uno dei processi fondamentali della BBN (Big Bang Nucleosynthesis), ricavando un'accurata determinazione della densità della materia ordinaria, o densità barionica.

LUNA, attiva da quasi 30 anni presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, riproduce in laboratorio le reazioni nucleari che avvengono nelle stelle o che avvennero durante la BBN, misurandone la probabilità o sezione d'urto. Tale probabilità è estremamente piccola alle energie di interesse astrofisico e richiede un ambiente a bassissimo fondo cosmico, quale quello dei LNGS, per poter essere efficacemente misurata. La collaborazione LUNA dispone di un acceleratore, con tensione massima di 400 kV, in grado di fornire fasci molto intensi di protoni e particelle alfa che possono incidere su bersagli solidi o gassosi per dar luogo alle reazioni nucleari di interesse astrofisico. I prodotti di tali reazioni, fotoni o particelle, vengono rivelati con rivelatori al germanio o silicio e scintillatori, talvolta inseriti in schermature per ridurre ulteriormente il fondo ambientale. Con apparati relativamente semplici sono state sinora misurate alcune reazioni chiave per la combustione dell'idrogeno e per la BBN, con ricadute importanti per i modelli stellari, la fisica del neutrino e la cosmologia.

La BBN permise la formazione degli elementi più leggeri, quali deuterio, elio e litio, pochi minuti dopo la nascita dell'Universo, attraverso una complessa rete di reazioni nucleari. La teoria che la descrive, basata sul modello cosmologico standard e sulle sezioni d'urto delle reazioni coinvolte, predice le abbondanze dei nuclidi primordiali in funzione di un solo parametro: la densità barionica. Tra le sezioni d'urto determinanti per prevedere l'abbondanza di deuterio, quella conosciuta con minor precisione era la ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$. Ciò ha motivato la decisione della collaborazione LUNA di misurarla, facendo incidere un fascio di protoni su un bersaglio gassoso di deuterio e rivelando i fotoni emessi con un HPGe (High Purity Germanium). Un enorme sforzo nella raccolta e nell'analisi dati, durato oltre 3 anni, e una estrema attenzione alla riduzione di tutte le incertezze sistematiche hanno permesso di misurare la sezione d'urto con una incertezza globale del 3% circa, sull'ampio intervallo energetico (32-263 keV) di interesse per la BBN.

L'abbondanza di deuterio "primordiale" è anche misurata da osservazioni astronomiche di oggetti stellari molto antichi. Il confronto tra abbondanza osservata e predetta dalla BBN, sulla base del nuovo valore di LUNA, ha permesso quindi di determinare la densità barionica, come recentemente pubblicato sulla rivista Nature. Il risultato di LUNA è in ottimo accordo con il valore di densità barionica ricavato dalle anisotropie nel fondo cosmico a microonde, la radiazione elettromagnetica residua dell'Universo primordiale misurata da esperimenti come Planck. La coerenza tra i valori ottenuti fornisce un forte supporto al modello cosmologico standard.

Nel prossimo futuro verrà installato ai LNGS il nuovo acceleratore LUNA MV, con tensione massima di 3.5 MV, in grado di fornire fasci intensi di protoni, particelle alfa e ioni carbonio. Sarà quindi possibile studiare reazioni chiave della combustione dell'elio e del carbonio, che avvengono in stelle più calde ed evolute del nostro Sole e che, per poter essere indagate, necessitano quindi di fasci di energie più elevate di quelli attualmente disponibili a LUNA.



Alessandra Guglielmetti - Professoressa associata presso l'Università degli Studi di Milano. È co-autrice di oltre 200 pubblicazioni di fisica nucleare sperimentale. Partecipa all'esperimento LUNA da oltre vent'anni ed è stata spokesperson della collaborazione dal 2009 al 2015 e Principal Investigator del progetto Premiale LUNA MV.



Sandra Zavatarelli - Ricercatrice dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e co-autrice di oltre 200 pubblicazioni di fisica nucleare sperimentale e fisica astroparticellare. Collabora da molti anni all'esperimento LUNA. Ha avuto un ruolo cruciale nella misura sulla reazione ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$ per cui ha curato simulazioni e analisi dati ed è uno dei corresponding author dell'articolo Nature