



**Dipartimento Interateneo di Fisica “Michelangelo Merlin”**

*Dottorato di Ricerca in Fisica XXX ciclo*

Dottoranda:

Francesca Romana Pantaleo

Titolo programma di ricerca

Misura della sezione d'urto della reazione  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$  (ciclo CNO) a LUNA

Proposta Tutori

Dott. R. Perrino, N. Colonna

Introduzione / Obiettivi del programma

Il presente progetto di ricerca sarà sviluppato nell'ambito dell'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics), presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS, INFN) e si concentrerà sullo studio della reazione termonucleare di fusione  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$ , appartenente al ciclo CNO, rilevante per la comprensione dei meccanismi di produzione di energia nelle stelle e del processo di nucleosintesi stellare. Tale processo avviene prevalentemente in stelle di massa più grande ( $> \sim 1.5$  masse solari), formate non solo da idrogeno, ma anche da elementi più pesanti ad energie tipiche nell'intervallo di 30-300 keV, dove temperature superiori a  $10^7$  K si possono sviluppare all'interno del nucleo stellare. I nuclei che formano il plasma stellare possono innescare reazioni nucleari se superano la barriera coulombiana. La presenza di tale interazione repulsiva nell'urto di due ioni comporta una diminuzione di molti ordini di grandezza della sezione d'urto di reazione  $\sigma(E)$  quando si raggiungono le energie tipiche delle reazioni termonucleari stellari (10-100 keV), da 100 fino a 1000 volte più piccole di quelle in genere esplorate nei laboratori di fisica nucleare. Il tasso di produzione delle reazioni nucleari in questione sarebbe quindi trascurabile a questi regimi di energia se non fosse per l'aumento della densità di ioni dipendente dall'energia  $E$  ad una data temperatura stellare  $T$ , che segue la distribuzione di Maxwell-Boltzmann  $\sim E e^{-E/KT}$ .

La combinazione dei due effetti determina uno stretto intervallo di energia in cui queste reazioni hanno un tasso significativamente diverso da zero (picco di Gamow).

Nella regione del picco di Gamow la sezione d'urto decresce in modo esponenziale in funzione dell'energia ed è data da:

$$\sigma(E) = S(E)E^{-1}\exp(-2\pi\eta) \quad (1)$$

dove:  $E$  è l'energia di interazione,

$S(E)$  è il fattore astrofisico che varia molto lentamente al decrescere dell'energia,



$\eta$  è il parametro di Sommerfeld, che misura gli effetti coulombiani.

Gli andamenti della sezione d'urto  $\sigma(E)$  e del fattore astrofisico  $S(E)$  sono diversi in presenza di risonanze ad energie ben precise.

La conoscenza dettagliata delle sezioni d'urto (risonanti e non risonanti) nella regione del picco di Gamow è quindi di fondamentale importanza. Infatti molti interrogativi sulle teorie dell'evoluzione stellare potranno essere affrontati solo ampliando la conoscenza sperimentale delle sezioni d'urto.

L'esperimento LUNA, progettato per rispondere a questa domanda, è nato nel 1992 utilizzando un acceleratore da 50 kV (LUNAI) nei laboratori sotterranei del Gran Sasso (LNGS) collocati sotto uno spessore di roccia di circa 1500 m. Attualmente esso utilizza un acceleratore lineare elettrostatico da 400 kV (LUNAI), che porta su bersaglio solido o gassoso fasci di protoni fino a 500  $\mu\text{A}$  e di  $\text{He}^+$  fino a 150  $\mu\text{A}$ , con energie giù fino a 50 keV.

La collocazione in un laboratorio sotterraneo è necessaria per l'abbattimento dei fondi fisici dovuti ai raggi cosmici (muoni e neutroni) e a molti altri processi che, pur presenti, hanno tassi di molti ordini di grandezza più bassi rispetto alla superficie.

Nel presente programma di ricerca si realizzeranno misure di sezione d'urto rilevanti per lo studio del ciclo stellare CNO di interesse per le stelle AGB (Asymptotic Giant Branch) ( $T=0.03-0.1$  GK, e  $0.1M_{\odot} < M < 8M_{\odot}$ ). La misura verrà realizzata su bersaglio solido. Per tali misure verrà eseguita l'analisi dei dati sperimentali; si confronteranno le evidenze sperimentali con le simulazioni sia per il controllo delle efficienze di rivelazione, sia per la comprensione del processo fisico studiato.

In particolare si approfondirà lo studio della reazione  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$ , appartenente al IV ramo del ciclo CNO. Tale reazione è di grande interesse sia perché contribuisce a chiarire il problema dell'abbondanza isotopica relativa osservata per gli isotopi stabili dell'ossigeno nell'universo, sia perché è alla base della produzione di nuclei più pesanti, quali il neon e il sodio (ciclo NeNa), il magnesio e l'alluminio (ciclo MgAl).

Il bersaglio solido è un composto  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , isotopicamente arricchito con  $^{18}\text{O}$ . I fasci di protoni saranno accelerati mediante l'acceleratore lineare elettrostatico da 400 kV. I fotoni  $\gamma$  emessi prodotti dalla reazione saranno rivelati con scintillatore BGO (alta efficienza, bassa risoluzione) e rivelatore a stato solido HpGe (bassa efficienza, alta risoluzione), opportunamente schermati con piombo.

La reazione da studiare presenta la particolarità di una risonanza a 95 KeV, teoricamente prevista, ma non ancora misurata. Per tale motivo verrà dapprima usato il rivelatore BGO per evidenziare la presenza della risonanza, ed in una seconda fase verranno fatte le misure di precisione con HpGe, capace di misurare le singole transizioni gamma.

Il piano di lavoro individuale per il presente programma di ricerca prevede, dopo un primo approfondimento degli strumenti teorici e delle tecniche sperimentali tipiche dell'esperimento LUNA, la caratterizzazione dei rivelatori BGO e HpGe con misure di calibrazione, con simulazioni Monte Carlo; successivamente verrà curata la messa a punto dell'apparato sperimentale (meccanica, elettronica e il sistema di acquisizione dati (DAQ)). Durante i turni di misura presso i LNGS-INFN avverrà la fase di presa dati.



Infine verrà eseguita l'analisi dei dati sperimentali, l'estrazione delle grandezze fisiche di rilievo ed il confronto con le previsioni teoriche.

#### Bibliografia

- ✓ C. Iliadis, *Nuclear Physics of Stars*, (Wiley, Weinheim, 2007).
- ✓ H Costantini at al., *LUNA: a laboratory for underground nuclear astrophysics*, Rep. Prog. Phys. 72 (2009) 086301 (25pp).
- ✓ Alinka Lèpine-Szily and Pierre Descouvemont, *Nuclear astrophysics: nucleosynthesis in the Universe*, International Journal of Astrobiology, 2012.
- ✓ Formicola at al., *The LUNA II 400 kV accelerator*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 507 (2003) 609-616.
- ✓ C. Brogini, P. Corvisiero, *LUNA: un laboratorio sotterraneo per lo studio del sole*, VOL25/NO5-6/ANNO2009.
- ✓ Alessandra Guglielmetti for the LUNA Collaboration, *The LUNA experiment at Gran Sasso Laboratory*, EPJ Web of Conferences 78, 07001 (2014).
- ✓ M. Q. Bucker at al, *Thermonuclear reaction rate of  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$* , Physical Review C86, 065804 (2012)
- ✓ H. T. Fortune, *Resonance-strenght parameter for  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$  at  $E_p=90$  keV*, Physical review C 88, 015801 (2013)

#### Attività I anno

Unitamente alla frequenza dei corsi predisposti per il dottorato di ricerca, ci sarà:

- Approfondimento degli strumenti teorici e delle tecniche sperimentali per le misure tipiche dell'esperimento LUNA riguardanti la reazione  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$ ;
- Attività sperimentale:
  - ✓ Caratterizzazione dei sistemi di rivelazione  $\gamma$  (HpGe-BGO) con misure di calibrazione e simulazioni Monte Carlo
  - ✓ messa a punto dell'apparato di misura (meccanica, elettronica, DAQ, tuning del fascio di protoni)
  - ✓ Inizio presa dati presso i LNGS-INFN (pianificata 2015-2016)

#### Attività di ricerca II e III anno

Gli obiettivi previsti per il II e III anno sono:

- Completamento della presa dati presso LNGS-INFN
- Analisi dei dati
- Interpretazione dei risultati sperimentali e confronto con le previsioni teoriche
- Finalizzazione della Tesi