

Dipartimento Interateneo di Fisica “Michelangelo Merlin”

Dottorato di Ricerca in Fisica XXX ciclo

Dottorando:

Viviana Mossa

Titolo programma di ricerca

Misura della sezione d'urto della reazione ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$ di interesse per la Big Bang Nucleosynthesis a LUNA

Proposta Tutore/i

Dott. Vincenzo Patricchio

Introduzione / Obiettivi del programma

Il mio lavoro di dottorato si inserisce nell'ambito dell'esperimento LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics), nato nel 1992, presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), con lo scopo di misurare le sezioni d'urto delle reazioni termonucleari di interesse astrofisico. Grazie allo schermo naturale di roccia dello spessore di 1500 m, a LUNA il fondo dovuto alla radiazione cosmica, di muoni, neutroni e raggi γ , è ridotto rispettivamente di un fattore 10^6 , 10^3 e 10 rispetto ai laboratori di superficie.

L'attività di ricerca del dottorato riguarderà la misura della sezione d'urto della reazione ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$, secondo anello del ciclo protone-protone, durante il quale 4 protoni si fondono per formare un nucleo di ${}^4\text{He}$, con un rilascio di energia di 26 MeV circa. Questa reazione gioca un ruolo importante sia nell'ambito della nucleosintesi primordiale sia in quello della nucleosintesi stellare. La differenza fra i due casi riguarda il range di energia dei partecipanti alla reazione.

La sezione d'urto di una reazione nucleare di interesse astrofisico è espressa dalla relazione

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} e^{-\sqrt{E_{BC}}/E},$$
 da cui è possibile osservare la dipendenza da 3 termini fondamentali:

1. il primo semiclassico inversamente proporzionale all'energia di collisione E,
2. il secondo legato alla probabilità di penetrazione della barriera colombiana,
3. il terzo, detto *fattore astrofisico* S(E), legato alla probabilità di interazione nucleare, una volta superata la barriera.

Risulta, quindi, evidente che $\sigma(E)$ presenta una forte dipendenza dall'energia e crolla drasticamente a valori di energia molto bassi, a differenza del fattore S(E) che, invece, presenta una debole dipendenza dall'energia a meno di effetti di risonanza.



La principale difficoltà degli studi di astrofisica nucleare deriva dal fatto che la regione energetica che contribuisce effettivamente al tasso di reazione nelle stelle, detta *picco di Gamow*, si trova, nella maggior parte dei casi, ad energie molto basse. Di conseguenza, la sezione d'urto, in corrispondenza di tali energie, risulta essere estremamente piccola, dell'ordine del pb o anche inferiore.

Nell'ambito dell'esperimento LUNA, la reazione in esame è stata studiata in passato ad energie di interesse per la nucleosintesi stellare, mediante l'utilizzo di una macchina acceleratrice di tensione massima pari a 50 kV. L'obiettivo delle nuove misure è raggiungere range energetici più alti (compresi fra le decine e le centinaia di KeV) al fine di studiare la sintesi del deuterio nelle prime fasi dell'Universo, durante la cosiddetta Big Bang Nucleosynthesis.

L'apparato sperimentale che verrà utilizzato per studiare tale reazione consta principalmente di:

- 1) Un acceleratore elettrostatico da 400 KV di terminale, in grado di accelerare fasci di protoni con energie comprese tra 50 e 400 KeV e corrente fino a 1 mA,
- 2) Un bersaglio gassoso di deuterio a pressione controllata dotato anche di un calorimetro per la misura, con sufficiente accuratezza, del numero di proiettili incidenti N_p ,
- 3) Un rivelatore a scintillazione inorganico BGO (Bismuth Germanate) per la rivelazione della radiazione gamma emessa in seguito alla reazione. Per il nostro apparato sperimentale, esso è modulato in una struttura cilindrica con cavità coassiale, in maniera tale che il bersaglio possa essere posizionato all'interno della cavità stessa, ottenendo così un angolo solido di rivelazione pari a circa 4π .

Nota il numero di eventi rivelati N_γ , ottenuto dall'analisi dello spettro generato dal BGO, è possibile risalire alla sezione d'urto totale della reazione, espressa mediante la relazione

$$\sigma_{tot} = \frac{N_\gamma}{N_p \frac{M}{kT} \int_0^L p(z)\eta(z)dz}$$

dove M è il numero di atomi per molecola di D_2 , T e p rispettivamente temperatura e pressione del gas e η l'efficienza di rivelazione.

Al fine di ottenere una misura accurata della sezione d'urto di reazione è fondamentale determinare l'efficienza dell'apparato in funzione dell'energia dei raggi gamma. A tal fine, nell'ambito del lavoro di dottorato, saranno svolte dettagliate simulazioni Monte Carlo dell'apparato sperimentale. Una parte importante di tale lavoro consisterà nella determinazione e sottrazione delle varie componenti del fondo e nella stima dell'incertezza sulla sezione d'urto misurata. L'ultima parte del lavoro riguarderà il confronto dei risultati sperimentali ottenuti a LUNA con quelli attualmente disponibili, nonché con le previsioni di modelli teorici. Saranno infine analizzate le implicazioni astrofisiche dei risultati ottenuti in questa misura a LUNA.

Nel dettaglio, l'attività di ricerca si articolerà nei tre anni del dottorato secondo lo schema riportato in basso.



Bibliografia

- [1] A. Guglielmetti, EPJ Web of conference **78**, 07001 (2014);
- [2] A. Formicola et al., Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. A **507**, 609-616 (2003);
- [3] C. Casella et al., Nuclear Physics A **706**, 203-216 (2002);
- [4] D. Bemmerer et al., Eur. Phys. J. A **24**, 313-319 (2005);
- [5] H. Costantini et al., Rep.Prog. Phys. **72**, 086301 (2009);
- [6] C. Iliadis, *Nuclear physics of stars* (Wiley, Weinheim, 2007).

Attività I anno

Il primo anno sarà impiegato per l'approfondimento della tematica scientifica frequentando i corsi predisposti, lavorando attivamente all'interno dell'esperimento, partecipando alla presa dati opportunamente programmata per realizzare una precisa conoscenza dell'apparato sperimentale e raggiungere completa autonomia nel suo utilizzo. In particolare si procederà a:

- caratterizzare il rivelatore gamma,
- preparare il set up sperimentale (elettronica, sistemi di controlli lenti, DAQ),
- avviare la presa dati su fascio per lo studio della reazione ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$.

Attività di ricerca II e III anno

L'obiettivo di secondo e terzo anno sarà il proseguimento della misura della sezione d'urto della reazione in esame, attraverso:

- completamento della presa dati (entro II anno),
- sviluppo e utilizzo di tecniche Monte Carlo necessarie per la stima dell'efficienza e della risoluzione energetica dell'apparato sperimentale (fascio, bersaglio gassoso, BGO),
- determinazione e sottrazione delle varie componenti del background,
- analisi dei dati raccolti, interpretazione degli stessi, confronto con modelli teorici.

Titolo Tesi di Laurea Quadriennale/Specialistica/Magistrale

Caratterizzazione di una camera a ionizzazione per misure di radon ambientale e confronto con tecniche convenzionali.



Elenco Esami Sostenuti

Nome esame	Data	Voto	CFU (ove previsto)
Dispositivi a semiconduttore	16/02/2012	30 e lode	5
Fisica del segnale	27/05/2010	30 e lode	10
Fisica sanitaria	28/06/2011	30	5
Fisica teorica dello stato condensato	17/10/2012	30	12
Laboratorio di elettronica	09/02/2010	30	4
Meccanica statistica	16/10/2013	29	5
Metodi matematici della fisica	15/02/2013	30	5
Metodi probabilistici della fisica	25/11/2011	30	6
Microonde	01/10/2010	30 e lode	5
Struttura della materia	05/02/2014	29	5
Informatica per il trattamento digitale del segnale	10/01/2011	30	6
Rivelatori della fisica nucleare e subnucleare	22/05/2013	30	5
Tecniche di acquisizione dati	01/04/2011	30	9

Bari, 12/12/2014
Mossa

Firma Viviana