

Il monitor di fascio e i rivelatori di raggi X dell'esperimento FAMU per la misura del raggio di Zemach del protone tramite spettroscopia dell'idrogeno muonico

venerdì 11 aprile 2025 14:20 (4 minuti)

L'esperimento FAMU ha l'obiettivo di misurare la separazione iperfina dello stato fondamentale dell'atomo di idrogeno muonico al fine di stimare il raggio di Zemach del protone con una precisione mai raggiunta, migliore dell'1%.

L'esperimento si svolge presso la sorgente ISIS al Rutherford Appleton Laboratory (Regno Unito), presso la linea di fascio RIKEN Port1. Qui un fascio di pioni, originati dalla collisione su grafite di protoni da 800 MeV, viene fatto decadere in volo in modo da ottenere un fascio di muoni di momento selezionabile. Possono essere prodotti fasci di muoni positivi e negativi, nell'intervallo di momento 17-90 MeV/c, con flusso variabile in funzione della polarità e del momento dei muoni stessi.

L'esperimento è basato sull'eccitazione della separazione iperfina da parte di un sistema laser, e sulla conseguente ricerca di un aumento nel numero di raggi X caratteristici dell'ossigeno muonico (nell'intervallo 100-200 keV) dovuti all'aumento di probabilità di cessione del muone ad un atomo di ossigeno conseguente al rinculo di diseccitazione dell'atomo di idrogeno muonico. Per questo motivo, il sistema di rivelatori dell'esperimento si compone di due elementi base: un monitor di fascio ed una serie di 35 rivelatori di diverse tipologie per la misura di raggi X nell'intervallo 60-600 keV, studiati in modo da ottimizzare la copertura e le informazioni raccolte.

Il monitor di fascio è composto da due piani adiacenti, ciascuno composto da 32 fibre scintillanti a base quadrata, che permettono la ricostruzione della posizione e delle dimensioni del fascio. Un lavoro di caratterizzazione della risposta del rivelatore a muoni singoli, svolto tramite abbassamento controllato del numero di muoni trasportati, permette inoltre di utilizzare il rivelatore per misurare il flusso istantaneo di muoni con una risoluzione dell'ordine dell'1%. Questa informazione svolge un ruolo fondamentale sia nell'identificazione e correzione di problematiche riguardanti la linea di fascio, come avvenuto varie volte durante la presa dati, sia di normalizzare i dati raccolti sulla base delle oscillazioni di flusso misurate.

Il sistema di rivelazione dei raggi X ha il compito di identificare un aumento nel numero di raggi X caratteristici dell'ossigeno muonico (i principali a 133, 158, 167 keV) in seguito all'iniezione del laser all'interno del bersaglio. Per questo motivo, per una misura accurata è necessario dotarsi di un apparato di rivelazione che coniughi buone performance temporali e risoluzione energetica. Il sistema è composto da 34 cristalli di bromuro di lantanio arricchito in cesio, 6 dei quali letti da tubo fotomoltiplicatore (PMT) ed i restanti 28 da fotomoltiplicatori al silicio (SiPM). I primi raggiungono performance temporali migliori, mentre i secondi hanno una migliore risoluzione energetica. Il lavoro di ottimizzazione svolto nell'esperimento su questi rivelatori ha permesso di ottenere rendimenti confrontabili tra le due categorie di rivelatori: tempi di salita dei segnali dell'ordine di 10 ns, tempi di discesa dell'ordine di 100 ns, ed una risoluzione energetica a 150 keV attorno al 10%. Vi è poi un rivelatore al germanio ad alta purezza (HPGe) con funzioni di intercalibrazione e di controllo delle impurità eventualmente presenti nel bersaglio, grazie alla sua ottima risoluzione energetica, attorno all'1% a 150 keV. Tuttavia, questo rivelatore non permette la discriminazione temporale dei segnali in quanto i tempi di salita e di discesa sono un ordine di grandezza maggiore rispetto agli scintillatori sopra citati.

Il sistema qui descritto ha permesso lo svolgimento di 4 periodi di presa dati a partire dalla seconda metà del 2023, e si prevedono ulteriori periodi di misura nel 2025. La qualità e la robustezza del sistema di rivelatori dell'esperimento FAMU sono stati confermati dal loro prolungato e continuo utilizzo sperimentale e, pur con ulteriori spazi per l'ottimizzazione, verranno impiegati anche nelle prossime prese dati con il fine di stimare il raggio di Zemach del protone con la massima accuratezza e precisione possibili.

Autore principale: ROSSINI, Riccardo (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

Relatore: ROSSINI, Riccardo (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

Classifica Sessioni: Nuove Tecnologie

Classificazione della track: Nuove Tecnologie