

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 2005017251

Coordinatore Scientifico	Marco Maria MASSAI
Ateneo	Università degli Studi di PISA
Titolo della Ricerca	PolarX: sviluppo e costruzione di un polarimetro di grande sensibilità per lo studio di sorgenti X polarizzate galattiche e extragalattiche dell'ordine del mCrab.
Finanziamento assegnato	Euro 63.000
Durata	24 Mesi

Obiettivo della Ricerca

Si propone di studiare, simulare e costruire un rivelatore di radiazione X, in grado di misurare con alta efficienza ed alta risoluzione il grado di polarizzazione di sorgenti X sia galattiche che extra-galattiche.

Si vuole arrivare alla costruzione di un prototipo con le caratteristiche di volo, avendolo anche sottoposto ai test meccanici ed elettrici nei Laboratori appositamente attrezzati.

Il range di variazione della radiazione alla quale il rivelatore sarà sensibile e' compreso tra 1 e 40 KeV. A tal fine sono previste soluzioni differenziate sia per la finestra di ingresso, sia per il gas di riempimento, che rappresenta la parte attiva del rivelatore. Il principio sul quale si basa questo strumento e' la ricostruzione bidimensionale della microtraccia di ciascun fotoelettrone in gas, ottenuta con il campionamento della ionizzazione rilasciata dal fotoelettrone; tale direzione e' fortemente correlata alla direzione di polarizzazione del fotone X incidente, quindi della sorgente.

Alcuni prototipi di un tale rivelatore sono stati messi a punto negli ultimi anni, avendo nel frattempo anche sviluppato un chip VLSI in tecnologia C-MOS 0.35 micron, il cui strato metallico superiore esterno, finemente strutturato a pixel, rappresenta il piano anodico di raccolta della carica, e nel quale ogni pixel e' collegato ad una completa catena elettronica di processamento del segnale generato dal meccanismo di moltiplicazione in gas (GEM).

Il chip, cuore dell'intero rivelatore, permette la rivelazione di pochi elettroni primari, avendo ottenuto la massima riduzione del rumore in ingresso ad ogni singolo amplificatore. In tali condizioni, e' possibile campionare ogni singola traccia con molte decine di pixel, riuscendo ad individuare il picco di Bragg ed il punto di origine del fotoelettrone; di conseguenza, si può ricostruire la direzione del fotoelettrone, con elevata risoluzione, e quindi la direzione di polarizzazione del fotone incidente.

Rispetto ai prototipi precedenti, lo strumento proposto avrà le seguenti caratteristiche: chip di lettura VLSI con passo di 50 micron, fino a 100 kpixel, buona efficienza di rivelazione fino a 40 KeV, completa ingegnerizzazione finalizzata al volo orbitale e, conseguentemente, test completi sia meccanici che elettrici, di compatibilità al volo.

L'Unità di Ricerca I e' costituita dal Gruppo di Ricerca sulla Fisica dei Rivelatori, operante nel Dipartimento di Fisica 'E.Fermi' e nella sezione INFN di Pisa da oltre venti anni.

Esso si avvale da alcuni anni della collaborazione del Gruppo dell' INAF di Roma, con il quale ha dato un decisivo contributo, negli ultimi anni, allo sviluppo di rivelatori nel campo della Astrofisica.

L'Unità di Ricerca può essere così caratterizzata:

1) la componente del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa ha da anni lavorato sistematicamente allo studio, simulazione e progettazione di rivelatori innovativi per radiazione X;

2) la componente dell'INFN, sezione di Pisa, ha dimostrato una ventennale esperienza nella costruzione e gestione di sistemi di rivelazione integrati, anche molto complessi, prima nel campo delle Alte Energie (NA-12, CMS), e successivamente anche nel campo spaziale (GLAST).

3) la componente che fa capo all'INAF, ha dal canto suo, una lunga esperienza di studio, sia teorico che sperimentale, nel campo delle sorgenti X, sia galattiche, sia extra-galattiche.

Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

La misura della polarizzazione X, secondo una vasta letteratura, e secondo i risultati dello studio Tematiche e Modelli in Astrofisica delle Alte Energie, risolverà quesiti fondamentali per la comprensione dei meccanismi fisici operanti in molte classi di sorgenti di Alta Energia e per validare, costringendone i parametri, o rigettare molti dei modelli considerati dalla Comunità Scientifica. In passato la scarsa sensibilità e la forte dipendenza dagli effetti sistematici hanno scoraggiato l'impiego di polarimetri su missioni di Astronomia X dopo i risultati di alcuni razzi sonda e del polarimetro a bordo del satellite OSO-8, che hanno ottenuto la misura della polarizzazione della Crab Nebula (19.1%) e pochi limiti superiori di scarso significato.

Gli ottimi risultati sperimentali recentemente raggiunti col polarimetro X fotoelettrico consentono oggi di pensare in termini concreti a esperimenti spaziali.

La polarimetria in Astrofisica delle Alte Energie.

Significativi gradi di polarizzazione lineare sono attesi laddove il campo magnetico rivesta un ruolo nella emissione X e g (sincrotrone e ciclotrone), e laddove processi di diffusione avvengano in geometrie a simmetria non sferica (dischi di accrescimento, jet, etc.). Tra le classi di oggetti astrofisici per le quali una misura polarimetrica può rappresentare un breakthrough abbiamo

Pulsatori X.

La variazione del piano di polarizzazione con la fase permette di mappare il campo magnetico e la inclinazione rispetto all'asse di rotazione [Meszaros et al., ApJ, 324 (1988) 1056].

Binarie con Buco Nero Sunyaev e Titarchuk [A&A, 86 (1980) 121; e A&A, 143 (1985) 374] hanno calcolato la polarizzazione per scattering sul disco di accrescimento per temperature elettroniche elevate quando la diffusione domina sul fotoelettrico. Per profondità ottiche molto piccole ($t \ll 1$) Haardt & Matt [MNRAS, 261 (1993) 346] hanno dimostrato che la polarizzazione della radiazione emergente, che varia fortemente con l'energia, può superare largamente il limite di Chandrasekhar (11.7%). Includendo effetti di Relatività Generale il piano di polarizzazione ruota con continuità con l'energia [Connors et al., ApJ, 235 (1980) 224; Matt, Fabian & Ross, MNRAS, 264 (1993) 839] indicando la presenza di un intenso campo gravitazionale e di un buco nero.

Binarie di Piccola Massa.

Nel caso delle LMXRB la polarizzazione permette di separare la emissione diretta dalla NS da quella diffusa dalla materia accrescente [Sazunov 2000].

Stelle di neutroni isolate. La radiazione termica emessa alla superficie di stelle di neutroni dovrebbe essere polarizzata per birifrangenza nell'attraversare gli intensi campi magnetici (Radiopulsar, Soft Gamma Repeaters).

Resti di Supernova La Crab Nebula e l'unica sorgente di cui è misurata la polarizzazione X e' [P=19.1%; Weisskopf et al., ApJ, 220 (1978) L117], analoga con quella ottica, e prova di emissione da sincrotrone.

Nuclei Galattici Attivi.

Lo spettro multi-banda dei BL-Lac è interpretato come emissione di Sincrotrone o Compton Inverso. Nell'emissione X/g si studia la transizione tra i due processi. La polarizzazione dovrebbe cambiare drasticamente tra le due regioni spettrali, evidenziando le caratteristiche fisiche del jet.

L'emissione X delle Seyfert di tipo 1 e dei Quasar Radio-Deboli presenta forti analogie con quella dei Candidati Buchi Neri galattici per cui valgono le considerazioni fatte per questi ultimi.

Gamma-Ray Bursts (GRBs). La polarizzazione, già misurata in ottico [Covino et al. A&A 348 (1999) L1], è lo strumento più diretto per una misura del grado di collimazione dell'emissione [Sari, ApJ, 524 (1999) L43; Lazzati et al. 1999, Proc. 5th Huntsville Symp. on GRBs], sia nel caso del GRB stesso o nel caso dell'Afterglow. Una misura di polarizzazione del GRB021206 con il satellite RHESSI è attualmente in discussione [Coburn & Boggs 2002, Wigger & al.2004].

Criteri di verificabilità

Il lavoro proposto si basa sull'esperienza acquisita negli ultimi anni dall'Unità di Ricerca nel campo della progettazione, costruzione e test di apparati di rivelazione di particelle cariche e neutre, sia nel campo della Fisica delle Alte Energie, sia nel campo dell'Astrofisica osservativa con satelliti artificiali (ad esempio, il tracciatore calorimetrico che equipaggerà il LAT di GLAST e' stato recentemente consegnato alla NASA, completo e testato, per essere sottoposto all'integrazione sul satellite).

Per indicare i criteri di valutazione del raggiungimento degli obiettivi del progetto, riportiamo la schedula temporale che ci siamo dati:

Descrizione dell'evoluzione temporale del programma di ricerca,

primo anno:

a) realizzazione di un prototipo di rivelatore che abbia tutti gli elementi costruttivi di un rivelatore da volo ma che non sia ancora sottoposto a test di qualifica (soprattutto meccanici). Questo include:

1) componenti meccaniche del rivelatore (distanziali, connettori, tubi di flussaggio del gas, GEM) compatibili con una configurazione di volo e non outgassing;

2) finestra di ingresso della radiazione X (alternativa tra, per esempio, 50 micron di Be e 1 mm di polyimide).

b) messa a punto dei codici di simulazione con un migliore controllo di effetti per ora trattati in modo semplificato quali la modulazione dei fotoelettroni di tipo p e d in funzione dell'energia.

c) Realizzazione di tools per produrre radiazione polarizzata a energie inferiori a 6 keV.

d) Valutazione dei requisiti di alimentazione e potenza e valutazione di massima dei pesi ed ingombri di una configurazione realistica

secondo anno:

1) Studio di miscele di riempimento diverse ed a diverse pressioni con lo scopo di identificare una o più miscele che ottimali nella banda a bassa energia (1-8 keV) ed in quella a più alta energia (8-40 keV).

2) Studio degli effetti sistematici e confronto con i limiti di sensibilità statistica del sistema.

3) Misura del fattore di modulazione a passo fine presso una facility di LDS

4) Realizzazione di un prototipo più evoluto e test di qualifica

5) Affinamento degli algoritmi e stima aggiornata dei requisiti di onboard computing.

Criteri di verificabilità

Quindi, riteniamo che l'obiettivo proposto possa considerarsi parzialmente raggiunto se riusciremo a completare i seguenti punti:

primo anno: a), b), c), d) con riferimento al rivelatore per gli X di bassa energia.

secondo anno: 1) nell'intervallo 1-8 KeV, 2), 3) 4) limitatamente alla versione a bassa energia.

In conclusione, considereremo sufficiente per la riuscita del Progetto la realizzazione completa del nuovo rivelatore limitatamente al suo utilizzo per la rivelazione dei fotoni di bassa energia 1-8 KeV, la realizzazione di tutti i test, in condizioni terrestri, la determinazione delle performance di un polarimetro costruito con questa tecnica, l'inizio di una seconda fase di test dedicati alla

qualificazione spaziale.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Università degli Studi di PISA
Responsabile Scientifico	Marco Maria MASSAI
Finanziamento assegnato	Euro 63.000

Compito dell'Unità

Il Programma di Ricerca prevede l'attivazione di una sola Unità di Ricerca.

Programma di Ricerca

Il progetto proposto riguarda la realizzazione di un strumento per Polarimetria X nell'intervallo di energie di interesse astronomico (1-40 keV), basato sull'effetto fotoelettrico. Esso consiste, sostanzialmente, in un elettrodo che permette l'amplificazione della carica rilasciata nel gas (GEM), accoppiato ad un elettrodo di lettura strutturato a pixel.

Questo strumento permette di ricostruire con grande accuratezza la direzione di emissione del fotoelettrone che è strettamente collegata alla direzione di polarizzazione del fotone incidente.

Descrizione del rivelatore

Nei rivelatori a microelettrodi, quando le dimensioni dei pixel sono inferiori a 100 micron ed il numero dei pixel è superiore a 1000, diventa impossibile utilizzare le normali tecniche di read-out (PCB). Per questo motivo, abbiamo scelto di utilizzare un chip in tecnologia CMOS, costituito da una matrice di 2016 pixel attivi di 80 micron, direttamente usati come raccoglitori della carica rilasciata dalla particella ionizzante e amplificata nella GEM.

Ogni piazzola di raccolta a forma di esagono, è stata realizzata utilizzando lo strato superiore metallico di una struttura VLSI. Questa piazzola è elettricamente connessa con la sottostante catena elettronica di lettura del segnale (pre-amplificatore, shaper amplifier, sample-hold, multiplexer), che viene realizzata direttamente al di sotto, utilizzando i restanti cinque strati attivi. Essendo la GEM, con la zona di conversione, montata direttamente sul chip, esso appare come un multianodo del rivelatore stesso. Con questa soluzione, per la prima volta un rivelatore a gas raggiunge il livello di compattezza di un rivelatore al silicio.
