

The variable background of XMM - Newton

15/03/2023 - Broletto - Prof. A. Tiengo



IUSS

I

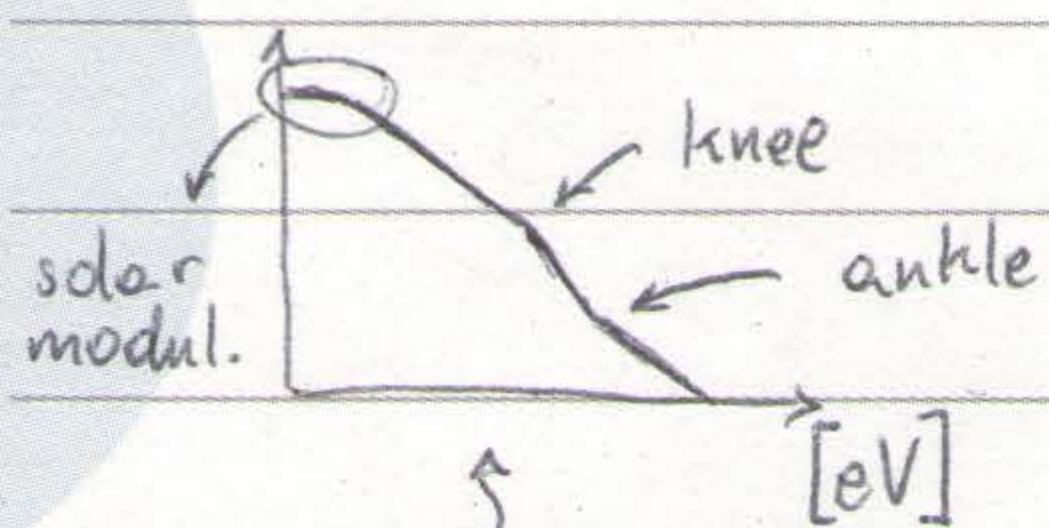
Scuola Universitaria Superiore Pavia

{ A inizio lezione, generalità sui raggi cosmici } ~ Il 90% sono p^+ .

Lo spettro (su scale logaritmica) dei raggi cosmici locali ha un ginocchio e una caviglia \Rightarrow Sorgenti e processi diversi (energie $\uparrow \Rightarrow$ distanza \uparrow)

$[m^2 sr s GeV]^{-1}$

Raggio di curvatura (classico) $\Rightarrow R = mv_{\perp} / qB$



Il Sole modifica il campo magnetico interplanetario

\Rightarrow Forza di Lorentz devia i raggi cosmici

Al massimo del ciclo solare si hanno campi magnetici interplanetari che sono congelati al plasma

$\Rightarrow \vec{B} \uparrow \Rightarrow R \downarrow \Rightarrow$ Raggi cosmici schermati \Rightarrow Numero di macchie solari

{ Cenni su SAA e campo geomagnetico - sensibilità degli strumenti } \propto (intensità

Orbita di XMM = HEO (High Earth Orbit) \subseteq Fasce di V.H. cosmic rays)

Lockman Hole \Rightarrow Zone di cielo con minore densità di

(grafico slides) mezzo interstellare, utile per osservare l'esterno della Galassia

Curve di luce = N^2 di conteggi al secondo nel campo di vista.

Nel grafico tratto da XMM del L.H. si vedono degli spot; sono buchi neri in accrescimento, e quello che vediamo è l'emissione X dei loro dischi di accrescimento al centro delle galassie più lontane.

Fino a $3.5 \cdot 10^4$ s \rightarrow cts/s pressoché costante \Rightarrow Livello di fondo basso, sorgenti distinte

Oltre $3.5 \cdot 10^4$ s \rightarrow cts/s con picchi altissimi \Rightarrow A parità di esposizione, fondo molto più intenso

{ Fig. 11, DOI: 10.1051/0004-6361:20000087, ESO 2001 @ }

\Rightarrow Perdo le sorgenti più deboli, poiché nascoste dal fondo di particelle,

che entrano anche nel telescopio e, quindi, nel MOS/PN di XMM

Cio' è causato da particelle che XMM incontra nella sua orbita, che non permette di vedere nel 40% del tempo dell'orbita gli oggetti più deboli

\Rightarrow Qualità di dati così bassa da non essere utilizzabile

Sappiamo, però, che queste particelle sono cariche

The variable background of XMM-Newton

15/03/2023 - Broletto - Prof. A. Tiengo



IUSS



Scuola Universitaria Superiore Pavia

Chandra ha un'orbita simile a quella di XMM-Newton \Rightarrow CCD danneggiati da fasci energetici localizzati

EXOSAT = Predecessore di XMM-Newton, in HEO

"Serendipitous EXOSAT sources in the region of the Coma cluster: AGNs with steep X-ray spectra"

\Rightarrow Nel 1985 si era già scoperto il b.g. osservato da XMM

Era già noto che le particelle danneggiano gli strumenti solo se focalizzate, ma questo punto non era stato messo in conto

\Leftarrow

Quali particelle provocano i flares? Sicuramente non i p con EE [8, 40] MeV \Rightarrow MOS1 segnala le particelle, ma il Radiation Monitor no.

Ruote porta filtri di MOS = I CCD sono sensibili al singolo raggio X \Rightarrow Utile per ridurre i γ ottici, ma anche particelle più o meno veloci ma anche a un raggio ottico sufficientemente intenso (1000γ da 1 eV \approx 1 raggio X)

Stelle brillanti \Rightarrow Filtro sottile sottrae luce zodiacale, che è diffusa

Stelle più brillanti bloccate dai filtri più "pesanti" (vedi diagrammi di MOS).

MOS1 (= MOS2) + Filtri diversi \Rightarrow Spettri ottenuti completamente diversi a causa di Bethe-Bloch $\left[\frac{dE}{pdx} \right]$, avendo particelle cariche.

Minimum Ionizing Particle

\uparrow

MIP = Particelle di alta energia (ne sono poche)

Sapendo la composizione dei filtri, interpolando le stopping power in 2 filtri diversi trovo il tipo di particelle che presentano le perdite di energia \Rightarrow dimostro che sono p^+ (per le maggiori)

The variable background of XMM-Newton
15/03/2023 - Broletto - Prof. A. Tiengo



IUSS



Scuola Universitaria Superiore Pavia

Minore fattore di guadagno in MOS \Rightarrow Maggiore sensibilità per γ e p^+ di EIT
Regioni vuote nelle curve di luce \Rightarrow Periodi di alto flusso non gestibili dall'elettronica
 \Rightarrow Filtro sottile vede molto di più

Sottraendo il fondo della prima parte dell'osservazione (con flusso IT), e tenendo la seconda come fondo strumentale, ottengo 4 spettri (2 con filtro spesso, 2 con filtro sottile).

Fase bright $\parallel \Rightarrow$ Entrambi hanno picco per MIP (che perdono sempre la
Fase faint \parallel stesse energie, caduta al Si del CCD, che li rivela)
 $\downarrow \Rightarrow$ La (teorica) riga sottile dei MIP è ampliata
Abbiamo anche per via della geometria non perfetta

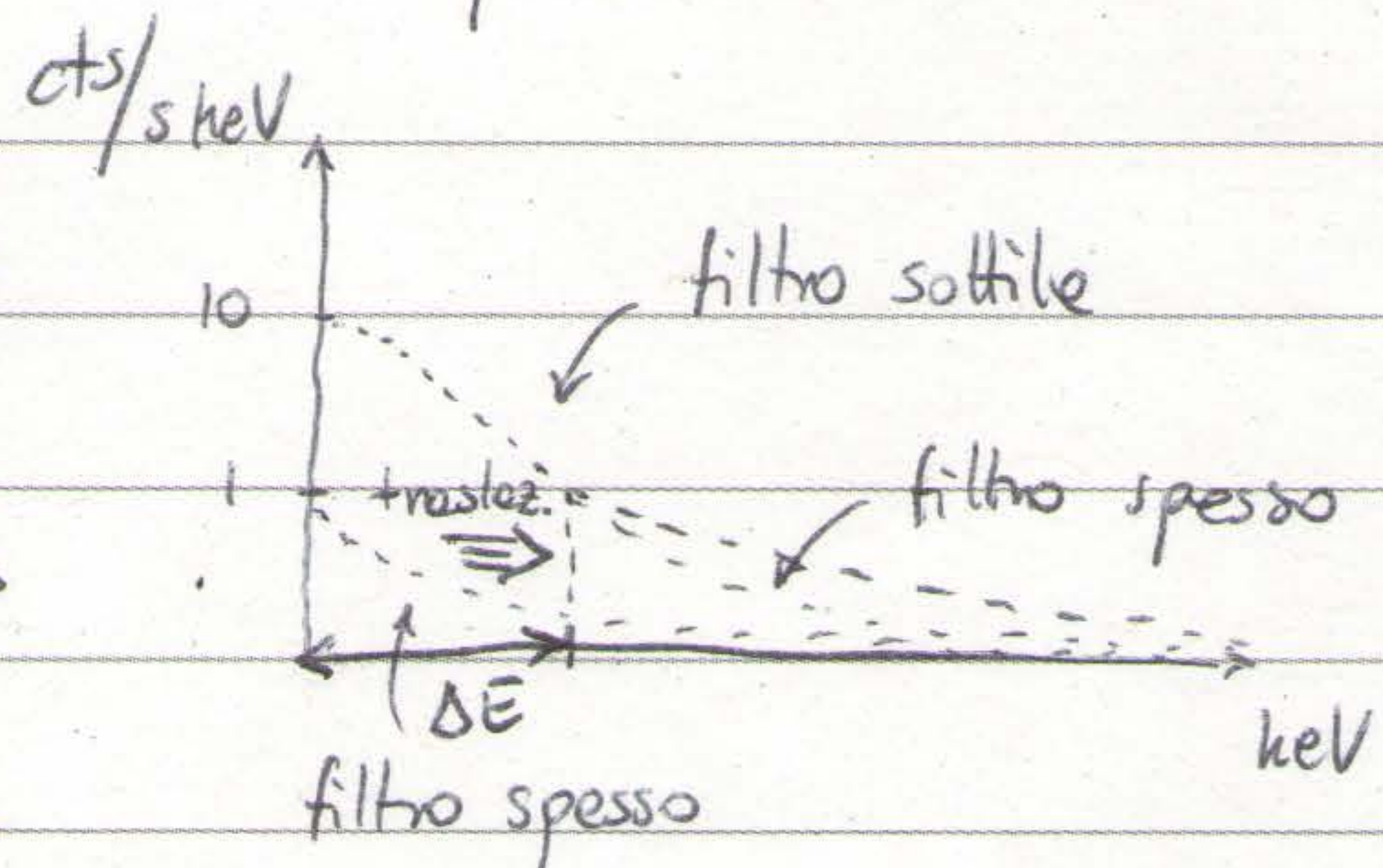
la fluorescenza
dell'Alluminio

$\Delta E \approx 40$ keV

Sovrapposizione: pratica con
traslazione lungo asse x

\Leftarrow

Dalla sottrazione otteniamo un diagramma \rightsquigarrow



$\rightarrow \Delta E \approx 40$ keV per $E \geq 20$ keV tra conteggi
a filtro spesso e filtro sottile \rightsquigarrow

Approx. $\Delta E \neq \Delta E(E)$ è falso,
in generale

\Rightarrow Vado ad alte energie (~ 150 keV)

\Rightarrow Le perdite dipendono da E

per osservare la sovrapposizione, poiché prima di 20 keV non vale.

$\Delta E = \Delta E(E) \Rightarrow$ Calcolo ΔE con stopping number da NIST Database
 p^+ di sbieco hanno $\Delta E \uparrow \Rightarrow$ Correzioni necessarie

Modellizzazione della perdita fittata con $dE(E) = \Delta E + cE \exp(-E/E_F)$

\Rightarrow Stopping power per ogni filtro \Rightarrow Dalle tracce dei fotoni ipotizzo
 $dE/pdx = \text{cost.}$ tra stato iniziale e stato finale \Rightarrow Integro per perdite totale

The variable background of XMM - Newton
20/03/2023 - Broletto - Prof. A. Tiengo



IUSS



Scuola Universitaria Superiore Pavia

Nella prima parte dell'osservazione c'è più background \Rightarrow A questa togliamo la seconda parte, puramente
Ottengo un segnale privo di effetti sistematici \Leftarrow strumentale

Modalità low gain \Rightarrow Spettri tra 20 e 120 keV (molto emp.)
 $dE/pdx \propto$ tipo di particella (debolmente) \Rightarrow Possiamo dE/pdx non dipendente da E
 \Rightarrow Funzione di fit:

Valida fino a ~ 50 keV per
filtro sottile; non ci sono problemi
con filtro spesso, alle alte energie

$$F(E) = k (E + \Delta E)^{-\alpha} \quad [\text{cts/skeV}]$$

Distribuzione energia delle particelle finale al rivelatore
perdita di energia all'interno del filtro

\Rightarrow Ottengo tutti i parametri dal segnale dei due filtri già lavorato

MA

Tra 1 e 20 keV la $F(E)$ è una
forte sottostima per il filtro sottile
(stesse cose tra 1 e 10 per quello spesso)

\Rightarrow Definisco stopping power differenziale
analogo al precedente, e poi integro
tutte le perdite infinitesime

\Rightarrow Ipotesi di $\Delta E \neq \Delta E(E)$ da rivedere sotto i 20 keV



Densità di energie $dE(E_{\text{initial}})$ integrata
restituisce funzione di ripartizione che
trovo $E_{\text{initial}} = E_{\text{final}}(E_{\text{final}})$
effettivamente misurate



{ Slide "Proton energy loss in filters" }

$$dE(E_{\text{initial}}) = \Delta E_i + c_i E_{\text{initial}} e^{-\frac{E_{\text{initial}}}{E_{f,i}}}$$

$$\Rightarrow E_{\text{initial}} = E_{\text{final}} + \Delta E_f + c_f E_{\text{final}} e^{-\frac{E_{\text{final}}}{E_{f,f}}}$$

In questo modo ho $F(E) = k (E + \Delta E + cE \exp(-E/E_f))^{-\alpha}$ [indipendente dal filtro]

\Rightarrow Fit perfetto tra 2 e 120 keV, con dati ottenuti da altre osservazioni

{ Empirical model of energy loss \Rightarrow Grafici e dati }

L'incertezza dei dati per il fit di $F(E)$ in orbita è minore di quella dei tabulati a Terra.

Le curve di perdite nei filtri tabulate sono compatibili con $F(E)$ precedente.



The variable background of XMM - Newton

20/03/2023 - Broletto - Prof. A. Tiengo



IUSS



Scuola Universitaria Superiore Pavia

Il ragionamento precedente è valso nell'ipotesi di particelle = protoni, ma posso ripetere lo stesso procedimento con le particelle α al posto dei protoni.

\Rightarrow Ottengo incompatibilità tra dati orbitali e dati tabulati, soprattutto dati tabulati

\Rightarrow A parità di energie ho carica doppia \Rightarrow Maggiore ionizzazione (usando $\text{He}^{2+} = \alpha$)

\Rightarrow Maggiore perdita nel filtro spesso (che non viene registrata dal modello empirico dei p^+).

Background flares in XMM due to soft p^+ (< 100 keV) focused by the X-ray mirrors.



Allora una parte delle particelle che impatta è costituita da α , ma è prevalente la componente dei protoni.

Effetto evitabile con $\begin{cases} \text{Orbite diverse (LEO, L2)} \\ \text{Magnetic divertors (immediatamente dopo gli specchi / sopra i detector)} \end{cases}$
 \hookrightarrow Svantaggio: B11 per avere un effetto consistente sui protoni

Perché conoscere il problema del background? Applicazione della tecnica su *The Astrophysical Journal*, 898:37 (8pp), 20 luglio 2020

Data Analysis - 27/03/2023 - A. Tiengo

Gamma Ray Burst = lampo gamma \rightarrow Breve e casuale, ^{anche} fuori dalla Via Lattea

Durano da pochissimi secondi e (rari) ore \rightarrow 1967 scoperta 1973 pub.

Satelliti Vela - Controllo ^{esatto} direzione consente di individuare la direzione dell'emissione γ .

Problemi dei GRB - Sono uniformemente distribuiti nello spazio (diversamente dalle stelle della nostra galassia)

\Rightarrow Non sappiamo con certezza a caso sono dovuti né la loro luminosità intrinseca, fino al 1997.

1994 - Beppo SAX - Dotato di una camera ~ 10 arcmin (a grandangolo) e una più piccola da ~ 1 arcmin.

Afterglow - Sorgente molto più debole (raggi X) in corrispondenza di un GRB breve, che va spegnendosi nel tempo.

\Rightarrow Esistono anche nell'ottico

\Rightarrow Vedi slides.

\Rightarrow Redshift permette di risolvere altre proprietà, come l'energia emessa se fosse una sorgente isotropa

1 supernova al secondo vs 1 GRB al giorno (fun fact) \leftarrow

$\Rightarrow \sim 1000$ supernove?

Problema di fisica fondamentale connesso ai GRB - Una variabilità di $\frac{1}{10}$ s corrisponde a una variabilità di $\frac{1}{10}$ secondi luce.

Non dovremmo vedere raggi γ e più di 1 MeV, dato che in $e^- + e^+ \rightarrow \gamma \rightarrow e^+ + e^-$ la produzione di (e^+, e^-) dopo il γ dell'annichilimento è troppo lenta.

\Rightarrow Non dovremmo vedere qualcosa di così energetico e così lontano, non con oggetti molto compatti (e i GRB sembrano essere molto compatti).

\Rightarrow Problema risolto ponendo un moto relativistico proprio nella mia direzione

Dopo il primo afterglow si è trovato il GRB più vicino di sempre, poco distante da una supernova particolarmente brillante, con ripe di emissione molto larghe, dovute a moto relativistico (allungamento delle distanze, in allontanamento).

GRB 030329 - Osservabile per diversi mesi.

Dopo afterglow è emersa la supernova

\Rightarrow Alcuni GRB sono legate alle SN

\Rightarrow Modello collassar - Una stella massiccia ha un nucleo che collassa formando un buco nero.

In alternativa, una magnetar

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Se un buco nero si forma improvvisamente, si forma un disco di accrescimento e quindi un jet ad angolo ristretto lungo l'asse di emissione ($e^- + e^+$, essenzialmente)}$

Avviene solo per stelle i cui strati più esterni sono stati persi.

\Leftarrow Questo jet è un GRB. \rightarrow Osserva slide.

Il modello è generalmente accettato per quelli lunghi.

2 tipi di GRB - Durata diverse e presenza di picchi multipli nel tempo

GRB corti prodotti da fusione di stelle di neutroni - Osservato, ma non è detto che sia una regola generale

Swift come successore di Beppo SAX - Campo di vista = $1/4$ dell'intero cielo. Più veloce che puntare e più preciso.

GRB 031203 - Con XMM-Newton osserviamo un afterglow con emissione diffusa di stirbante poiché afterglow X line empyre diffusa di ~ 2 arcmin.

E' uno dei più vicini ($\sim 1.3 \cdot 10^9$ ly). Allora:

[Possibile risoluzione del background?]

raggio della nuvola di diffusione ~ 750.000 ly

\Rightarrow Alone dovuto alla ~~diffusione~~ ^{diffusione} dei raggi X sulle polveri galattiche

I γ denati arrivano più tardi al telescopio.

La polvere _{interstellare} scattera di più il blu. \Rightarrow stesso motivo per cui il cielo è blu

N_H - Quantità di freni e dipendenza lineare data da $(F_X(E) \cdot N_H)$
 a = dimensione caratteristica dei freni.

Intensità delle sorgenti iniziali I_0
 \rightarrow o meglio, distribuzione ^{spettro} dell'energia

Troviamo la legge oraria dell'espansione da tutto questo. \Rightarrow Vedi slides.

\Rightarrow L'anello si espande, non rimane fisso; neppure nell'esempio di GRB 031203

\Rightarrow Vedi articolo di Tienpo e and Merglietti.

\Rightarrow Ho due anelli, ognuno con la sua legge oraria, che sono in espansione.

Per studiarli meglio, posso strutturare $D_i = D_i(t_i, \Theta_i)$ per ~~ricostruire~~ ricostruire la struttura spaziale della nube.

\Rightarrow Trovo due picchi per gli anelli da cerco

GRB 221009A - E' avvenuto a 5° di latitudine (dietro la Via Lattea).

Brightest of All Time (della storia umana)

Si è visto per più di 12 giorni.

Almeno negli ultimi 10.000 anni

Articolo di Tienpo.