

Raios Gama de Baixa Energia Emitidos por Sco X-1

A. BUI-VAN e I. M. MARTIN

Instituto de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), São José dos Campos SP

Recebido em 5 de Agosto de 1976

Sco X-1 was observed on a balloon flight launched from São José dos Campos, S.P., Brazil, on December 20, 1974. A 3 sigma excess of the raw count rate, covering the energy range 0.2 to 5.0 MeV, was found during the transit of the source. A power-law spectrum provided an adequate fit to the data. Although it was difficult to separate the contribution of the universal diffuse component, the existence of hard-component in the spectrum of Sco X-1 could indicate the presence of matter hotter than previously deduced from soft X-ray observations.

A fonte Sco X-1 foi observada durante um vôo de balão estratosférico, efetuado em 20 de dezembro de 1974, em São José dos Campos, S.P., Brasil. Um excesso de 3 sigma na taxa de contagem dos ftons, no intervalo de energia de 0,2 a 5,0 MeV, foi verificado durante a passagem da fonte no zenite, em relação à taxa de contagem normal. O espectro em energia da fonte é melhor representado por uma lei de potência. Embora seja difícil separar a componente da radiação universal difusa, a existência da componente espectral de alta energia da fonte Sco X-1 pode indicar a presença de matéria mais quente que a inferida previamente por observações de raios-X.

1. INTRODUÇÃO

Um dos resultados importantes na Astronomia de raios-X é a observação em alta energia do fluxo emitido por Sco X-1.

Através de várias medidas obtidas por grupos diferentes (Giacconi et al.¹,

Hayakawa *et al.*², Fisher *et al.*³, Griffiths e Cooke⁴, Lewin *et al.*⁵, Oda e Matsuoka⁶), dentro de intervalos de energias inferiores a 20 keV, observa-se uma variação do fluxo, consistente com a emissão *bremstrahlung* de um plasma opticamente fino'. A evidência experimental mostra a existência de uma segunda componente de alta energia, compatível com uma lei de potência (Haymes *et al.*⁷).

2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DE OBSERVAÇÃO

Os dados aqui descritos foram obtidos através de um vôo de balão, lançado em São José dos Campos, S. P., Brasil, em 20 de dezembro de 1974. O telescópio é constituído de um cristal de NaI(Tl), com 10 cm de espessura, possuindo uma área efetiva de 60 cm², abertura angular de 40° (FWHM) e montado no eixo de uma plataforma fixa na horizontal. Para uma maior descrição do detetor, consulte-se Bui-Van *et al.*⁸. A plataforma de vôo alcançou teto correspondente a 4 g/cm², durante o qual o ruído de fundo foi observado em quatro períodos de uma hora cada. O tempo de passagem da fonte no zenite ocorreu às 10h25min, tempo local (a deriva da longitude não foi levada em conta). Sco X-1 foi observada num período de uma hora em torno dessa passagem.

A contagem de fons e parâmetros físicos, condicionados pela experiência, foram transmitidos para terra através de um sistema de telemetria do tipo FM/FM, e gravados numa fita magnética para análises posteriores.

3. RESULTADOS

A variação da contagem de fons, analisados em 128 canais, cobriu a faixa de energia de 0,2 a 5,0 MeV e foi observada como função do tempo, como mostra a Figura 1. A média ponderada de contagem em 4 períodos mostra que os resultados são consistentes com a contagem do ruído de fundo constante.

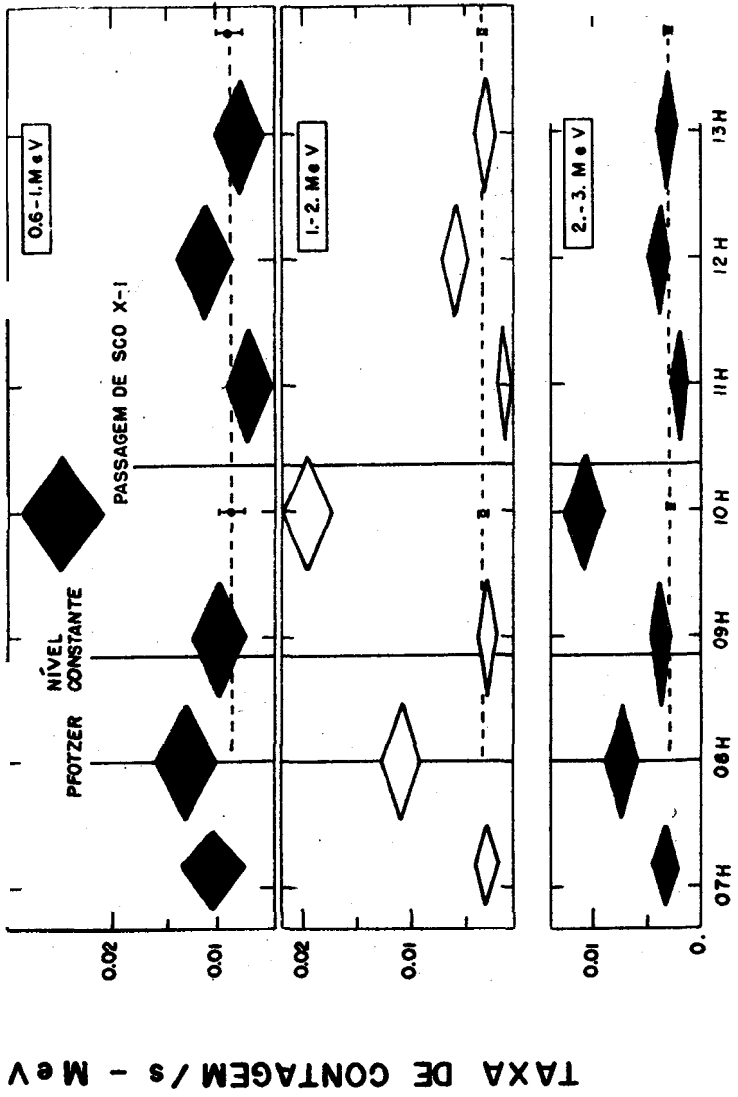


Fig. 1 - Variação da contagem de fons detetados em função do tempo para três intervalos de energia.

TEMPO LOCAL

No tempo de trânsito da Sco X-1, a contagem aumentou em mais de 3 sigma, a qual foi medida nos três intervalos de energia:

$$(0,6-1,0 \text{ MeV}); (1,0-2,0 \text{ MeV}); (2,0-3,0 \text{ MeV}).$$

Para determinar o espectro da fonte é necessária uma análise da forma do espectro do ruído de fundo. A Figura 2 mostra o espectro em energia do ruído de fundo nesse vôo, que corresponde aos períodos, anterior e posterior, à passagem da fonte.

A diferença entre os dois espectros nos dá o fluxo detectado de Sco X-1 em função da energia, Figura 3. Esse fluxo é corrigido devido ao efeito da absorção dos ftons por uma camada da atmosfera equivalente a 4 g/cm², mas não é corrigida pela eficiência do detetor, por ser muito difícil determiná-la por simples cálculo. Portanto, essa correção poderá ser aproximada pelo método de Monte Carlo. Nessa mesma Figura, são mostrados os resultados das observações de Haynes (Haynes *et al.*⁷), que determinou o espectro de Sco X-1 (40 a 930 keV), dado pela lei:

$$F(E) = 0,4 \times E^{-(1,8 \pm 1,3)} \text{ fotons-cm}^2\text{-s}^{-1}\text{-keV}^{-1},$$

ou

$$F(E) = 0,02 \times E^{-1} \times \exp(-E/190) \text{ fotons-cm}^2\text{-s}^{-1}\text{-keV}^{-1}$$

onde E representa a energia do fton expresso em keV.

Os resultados das nossas observações estão de acordo com a extrapolação dessas leis para altas energias.

4. DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra os mesmos dados de Sco X-1 em comparação com os resultados observados pela Apollo 15, para a componente difusa. Dentro do intervalo de energia analisado, o fluxo detectado está uma ordem de gran-

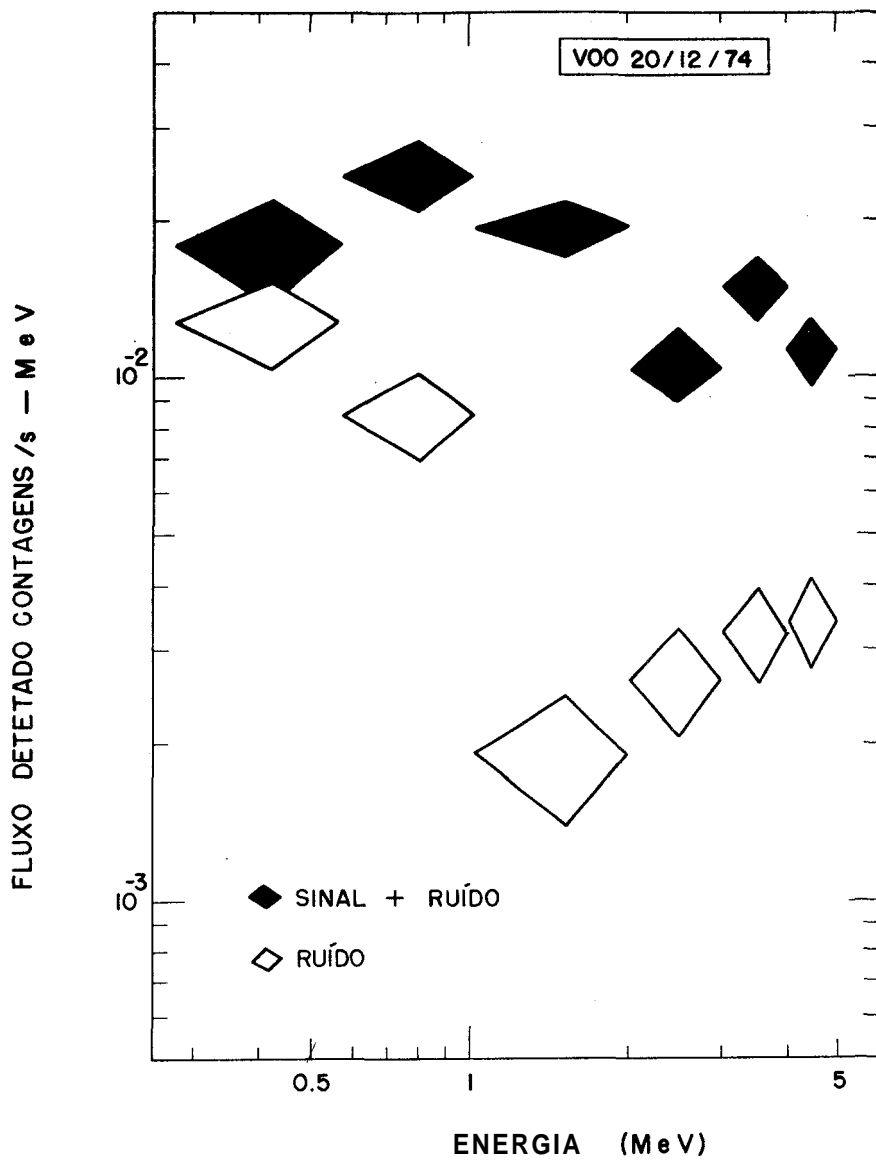


Fig.2 - Espectro em energia observado durante o período de passagem da fonte, e períodos anterior e posterior à passagem da fonte.

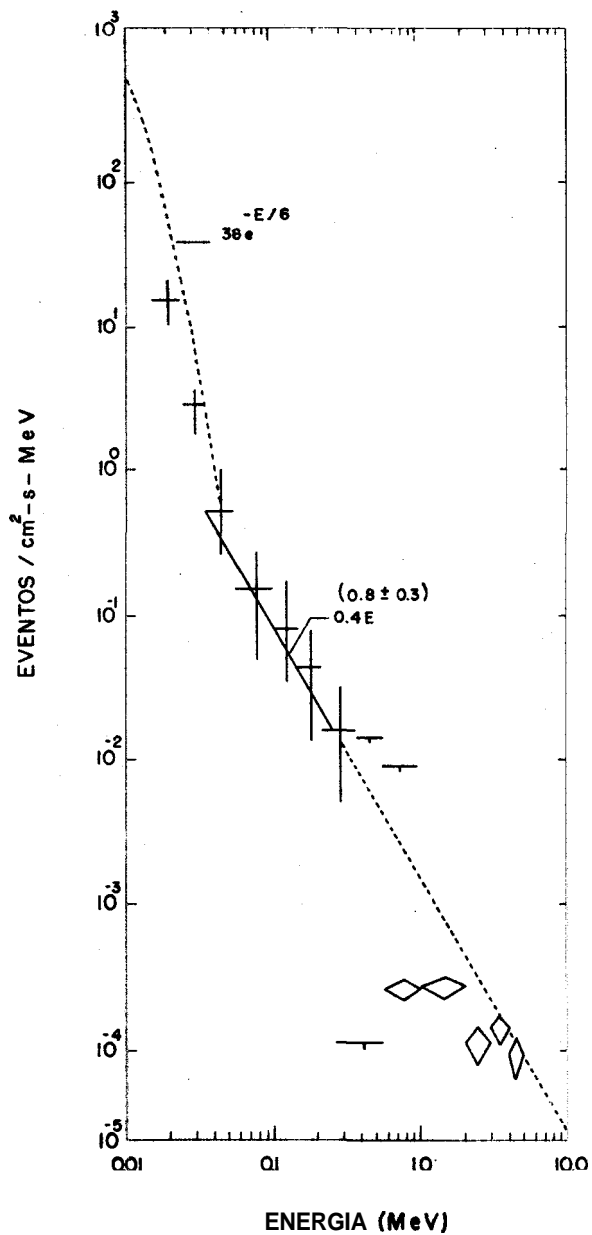


Fig.3 - Espectro da fonte Sco X-1 observado dentro do intervalo de energia 0,01 a 10.0 MeV: 0.04 a 0,93 MeV por Haymes (Haymes *et al.*⁷) e 0,2 a 5,0 MeV durante esse vôo.

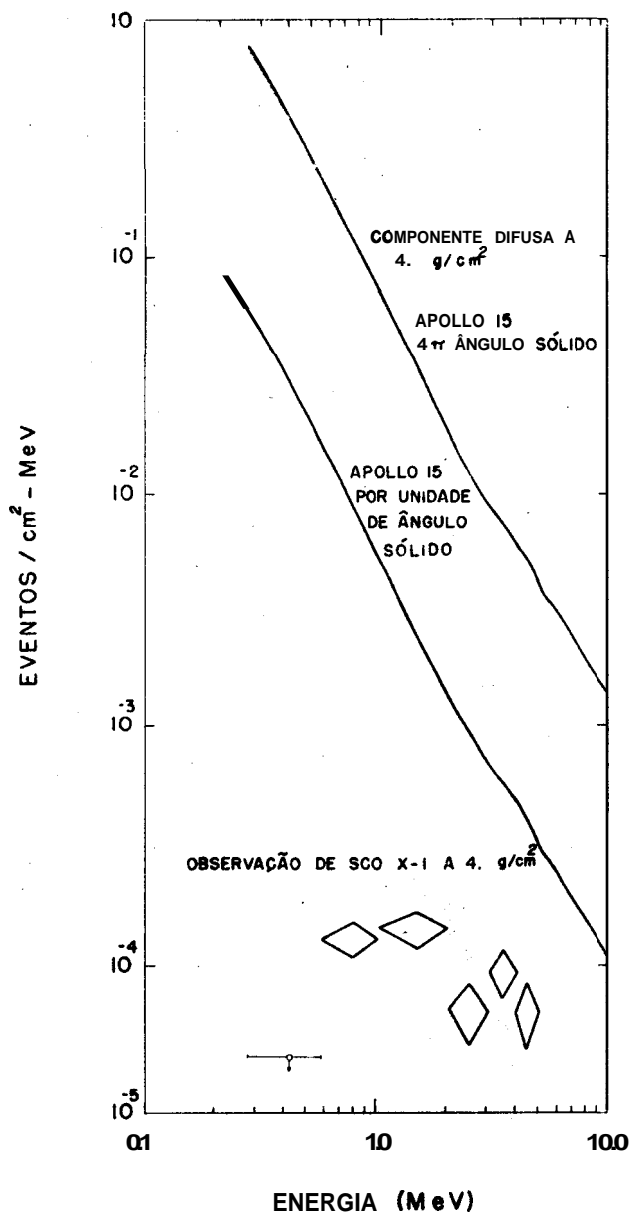


Fig.4 - Comparação a 4 g/cm² do fluxo observado durante o vôo com o fluxo medido pelo Apollo 15.

deza abaixo do fluxo dessa componente. Isso significa que sua contribuição é desprezível.

O espectro observado da Sco X-1, na faixa de energia abaixo de 20 keV, pode ser produzido por um efeito *bremstrahlung* isotérmico de um plasma opticamente fino. O mesmo efeito pode explicar uma lei de potência, como a que por nós foi obtida, na qual a temperatura necessária do plasma é de $T_0 \approx 10^9 \text{ }^\circ\text{K}$.

Para atingir tal temperatura, é necessário que uma parte da energia gravitacional liberada, quando a matéria é acrescida na superfície da fonte, seja transformada em energia térmica.

Tal processo pode ocorrer quando uma anã branca é acrescida de matéria (por exemplo de sua companheira binária, Pacheco⁹) e sua massa excede o limite de Chandrasekhar, produzindo-se então o colapso. Esse colapso libera cerca de 10^{53} ergs de energia gravitacional, da qual a maior parte é levada pelos neutrinos. Uma fração da luminosidade em neutrinos é, portanto, depositada na estrela de neutrons. Isso pode aquecer a crosta a ponto de levá-la à temperatura $T_0 \approx 10^9 \text{ }^\circ\text{K}$ (Ramaty e Cohen¹⁰). No caso em que a energia gravitacional (10^{53} ergs) é totalmente transformada em energia térmica, o número total de partículas que participaram da emissão de raios-gama de baixa energia é $N \approx 10^{60}$, pois $kT_0 \approx 10^{-7}$ erg. Se assumirmos que a eficiência de produção desses fotons gama é da ordem de 10^{-8} a 10^{-3} (Ramaty e Cohen¹⁰), isso significa que $N \approx 10^{52} - 10^{57}$ partículas.

Concluindo, a existência da componente de alta energia da Sco X-1 poderá nos dar a evidência de um processo isotérmico de um plasma superaquecido. Tal temperatura somente poderá ser observada em um sistema em colapso, como por exemplo o modelo sugerido por Ramaty e Cohen¹⁰ para explicar a emissão do "gamma-burst".

A confirmação de nossa observação é de grande importância no estudo desse fenômeno.

Agradecemos ao Dr. F. de Mendonça, Diretor do I.N.P.E., por nos ter apoiado nesse tipo de pesquisa, e à equipe do projeto Tela que partici-

pou na realização da experiência. Este trabalho foi possível graças à colaboração da Secretaria de Cooperação Técnica Internacional SUBIN-Convênio A-1975-1976.

REFERÊNCIAS

1. R.Giacconi, H.Gursky e J.R.Waters, *Nature*, 207, 572 (1965).
2. S.Hayakawa, M.Matsuoka, K.Yamashita e R. Iono, *Sp.Res.Japan*, 20, 480 (1966).
3. P.C.Fisher, W.C.Jordan, A.J.Meyerott, L.W.Acton e D.T.Roething, *Ap. J.*, 143, 203 (1966).
4. R.E.Griffiths e B.A.Cooke, *Nature* 236, 104 (1972).
5. W.H.G.Lewin, G.W.Clark e W.B.Smith, *Ap. J.*, 152, L55 (1968).
6. M.Oda e M.Matsuoka, in *Progress in Elementary Particles and Cosmic Ray Physics*, 10, 305 (1971).
7. R.C.Haymes, F.R.Hardner, W.N.Johnson e H.M.Prichard, *Ap.J.*, 172, L47 (1972).
8. A.Bui Van, I.M.Martin, K.R.Rao e F.G.Bianco, *Rev.Brasil.Fis.*, (a ser publicado).
9. J.A.F.Pacheco, comunicação particular (1974).
10. R.Ramaty e J.M.Cohen, *Los Alamos Conference on Transient Cosmic Gamma and X-Ray Sources* (1973)