

Análisis temporal y espectral en rayos X de la fuente IGR J16320–4751

F. Fogantini^{1,2}, F. García^{1,2,3}, J. Combi^{1,2}, S. Chaty³

¹ Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET–CICPBA, Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

³ Service d'astrophysique, Commissariat à l'énergie atomique-Centre national de la recherche scientifique-Université Paris Diderot, Francia

Contacto / fafogantini@iar.unlp.edu.ar

Resumen / Este trabajo comprende un estudio detallado de la evolución temporal y espectral de la fuente IGR J16320–4751, un sistema binario de rayos X de gran masa compuesto por una estrella de neutrones que acreta materia proveniente del viento de su compañera supergigante. Basados en un total de nueve observaciones en la banda de rayos X obtenidas con el satélite *XMM–Newton*, analizamos la evolución temporal de los parámetros físicos asociados a los procesos de emisión y absorción de este sistema. Discutimos los resultados obtenidos en el contexto de un modelo astrofísico que intenta dar cuenta de la interacción entre el viento de la estrella supergigante y la radiación de rayos X del material acretado.

Abstract / We present the results obtained from an in depth timing and spectral analysis of IGR J16320–4751, a High Mass X–ray binary system comprised of a neutron star orbiting and accreting matter from the stellar wind of its supergiant companion. From a total of nine *XMM–Newton* observations, we computed and analyzed the time evolution of physical parameters linked to emission and absorption processes within the source. Later on, we discuss the results of this analysis in the context of an astrophysical scenario which takes into account the interaction between the stellar wind and X–rays produced by the accreted material.

Keywords / stars: neutron — pulsars: general — stars: individual: IGR J16320–4751 — X-rays: binaries

1. Introducción

La fuente de rayos X duros transitoria IGR J16320–4751 fue descubierta el 1 de febrero de 2003 con el observatorio *INTEGRAL* mientras éste realizaba observaciones de 4U 1630–47 (Tomsick et al., 2003). En esa oportunidad, la fuente demostró poseer una variabilidad significativa a altas energías en una escala temporal de varios minutos hasta horas (Tomsick et al., 2003; Foschini et al., 2004). Su posición resultó coincidente con la fuente AX J1631.9–4752 reportada por Sugizaki et al. (2001), mediante observaciones previas del satélite de rayos X *ASCA*. Observaciones posteriores de IGR J16320–4751 con *XMM–Newton* del 4 de marzo de 2003, confirmaron un comportamiento complejo de la fuente con fulguraciones en la curva de luz con duraciones de ~ 1000 s sin variaciones significativas en su dureza (Rodríguez et al., 2003).

En un trabajo posterior, a partir de un nuevo análisis de estas observaciones, Lutovinov et al. (2005) determinaron un período de pulsación de aproximadamente 1300 segundos en la fuente confirmando que IGR J16320–4751 es una HMXB con una estrella de neutrones como objeto compacto. Más adelante, a partir del monitoreo continuo realizado con el instrumento BAT a bordo del satélite *Swift* se constató una modulación en el flujo de rayos X con un período de 8.96 d, la cual es interpretada como el período orbital del sistema binario P_{orb} . Estos parámetros son perfectamente

compatibles con los de otros sistemas binarios formados por una estrella temprana supergigante y una estrella de neutrones (Corbet et al., 2005).

Las observaciones utilizadas en este trabajo fueron tomadas entre agosto y septiembre de 2008 (PI: J.A. Zurita Heras). Se trata de una serie de nueve exposiciones realizadas con *XMM–Newton* a lo largo de la órbita de la estrella de neutrones, realizadas con el objeto de estudiar la evolución espectral del sistema. En particular, se busca analizar la absorción intrínseca del sistema, a partir de la variación densidad de columna de hidrógeno, lo que permite derivar propiedades del viento de la estrella supergigante del sistema binario.

2. Observaciones y reducción de los datos

Redujimos los archivos de datos (Observational Data Files, ODF) con el Sistema de Análisis Científico (*Science Analysis System*, SAS) v16.0.0. Extrajimos listas de eventos solamente para la cámara PN luego de procesar los ODF mediante EPPROC. Filtramos, además, los datos por períodos de mayor actividad del fondo y por píxeles malos. Por último, dado que la fuente es puntual y muy brillante, realizamos un tratamiento de las listas de eventos para mitigar los efectos del *pile-up* siguiendo las recomendaciones del manual de SAS*.

*<https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/sas-threads>

Tabla 1: Observaciones de XMM–Newton utilizadas.

Obs. ID	Fecha de inicio	Duración s
0556140101	2008-08-14 22:18:21	10915
0556150201	2008-08-16 17:15:46	9915
0556140301	2008-08-18 13:10:48	8921
0556140401	2008-08-20 07:10:57	13118
0556140501	2008-08-21 05:56:10	6697
0556140601	2008-08-22 02:24:37	18263
0556140701	2008-08-24 18:05:21	10918
0556140801	2008-08-26 13:10:06	11515
0556141001	2008-09-17 01:02:36	9414

Extrajimos curvas de luz y espectros de la fuente utilizando círculos de 20 arcsec de radio. Para la región del fondo, en cada observación utilizamos también un círculo de 20 arcsec de radio en un sector libre de emisión, dentro del mismo chip que contiene a la fuente. En la Tabla 1 listamos las observaciones utilizadas en este trabajo y sus tiempos de exposición correspondientes.

3. Resultados

3.1. Análisis temporal

Produjimos curvas de luz con un binnedo temporal de 50 s y generamos curvas de color o dureza con el fin de comparar el comportamiento temporal de la fuente entre 2–6 y 6–10 keV, eligiendo un corte próximo a la línea de emisión $K\alpha$ (~ 6.4 keV) del Fe. Para ello utilizamos la tarea LCURVE perteneciente al paquete de tareas de HEASOFT. En todas los casos ignoramos los fotones con energías menores a 2 keV, dado que este intervalo se encuentra fuertemente afectado por la absorción local del sistema y por tanto con muy pocas cuentas.

Ajustamos a cada curva de color una recta de dureza constante. Calculamos el color promedio de las nueve observaciones (1.4 ± 0.15) e identificamos aquellas observaciones cuyo color constante fuera estadísticamente diferente de la media. Notamos que las observaciones 101 (1.57) y 701 (2.4) muestran un período de menor intensidad en la banda 2–6 keV respecto de la banda 6–10 keV, ambas aproximadamente en los últimos 1000 segundos de cada observación. Luego de constatar que no se trata de un efecto artificial introducido por el fondo, decidimos separar estos intervalos para generar espectros, nombrándolos 101B y 701B, respectivamente. La Fig. 1 muestra las curvas de luz y de color de la observación 101 e identificamos en ella los intervalos de color promedio y de cambio en la dureza con las letras A y B.

3.2. Análisis espectral

Extrajimos espectros de todas las observaciones separando aquellos períodos de crecimiento en la dureza identificados anteriormente, considerando únicamente fotones en el rango de 2 a 12 keV, que modelamos utilizando paquete de tareas XSPEC v12.9.1 (Arnaud, 1996).

Con el fin de analizar la densidad del viento estelar a lo largo de la órbita de la estrella de neutrones, propusimos y ajustamos un modelo simple fe-

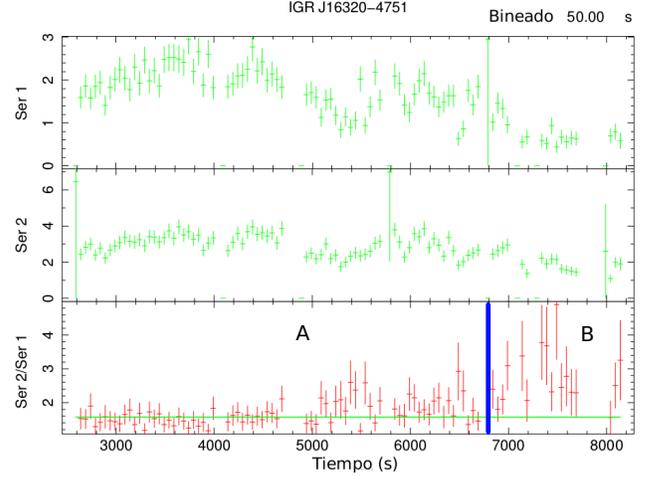


Figura 1: Curvas de luz (Ser1: 2–6 keV; Ser2: 6–10 keV) y de color (Ser2/Ser1) de la observación 101. La observación posee un color constante de 1.57. Identificamos en la curva de color un período de crecimiento en la dureza, nombrado 101B.

nomenológico que en lenguaje de XSPEC, se escribe $\text{PHABS} \times \text{VPHABS} \times (\text{POWERLAW} + \text{GAUSS})$. PHABS es un modelo de absorción fotoeléctrica que depende del parámetro de densidad de columna de hidrógeno n_H . Basándonos en las coordenadas de la fuente, fijamos este parámetro al valor de $2.1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ (Dickey & Lockman, 1990) para modelar la absorción interestelar. VPHABS es un modelo de absorción fotoeléctrica, donde se pueden variar las abundancias de elementos más pesados que el H. En este caso, lo utilizamos para obtener la densidad columnar de H, n_H , y la abundancia relativa de Fe, Z_{Fe} , del viento de la estrella supergigante. POWERLAW describe los procesos de emisión no térmica en la fuente, caracterizados por un índice espectral Γ y su normalización, o flujo, mientras que GAUSS es una distribución gaussiana que utilizamos para representar la línea de emisión $K\alpha$ del Fe a 6.4 keV, presente en todos los espectros de la fuente. Luego de ajustar el modelo a cada uno de los espectros, realizamos gráficos evolutivos y de correlación entre los parámetros n_H , Z_{Fe} , Γ y el flujo intrínseco de la fuente a altas energías, $F_{7-12\text{keV}}$.

La Fig. 2 muestra la evolución de n_H en función de la fase orbital. Los valores altos obtenidos para todas las observaciones evidencian el fuerte oscurecimiento de la fuente. Más aún, las observaciones 101 y 701, presentan una absorción aún mayor, superando significativamente la media obtenida por Rodríguez et al. (2003, líneas negras en la Fig. 2). Notar que ambas observaciones son adyacentes en fase y son aquellas en las que la fuente presenta además un cambio en la dureza como en la Fig. 1. Este incremento abrupto en la columna de absorción evidencia la presencia de un fuerte gradiente en la densidad de material entorno a la estrella supergigante.

La evolución de otros parámetros espectrales como Γ , Z_{Fe} o $F_{7-12\text{keV}}$ presentan un comportamiento más bien estocástico respecto a la fase orbital. Este resultado se corresponde con que los parámetros nombrados representan propiedades del mecanismo de emisión de la

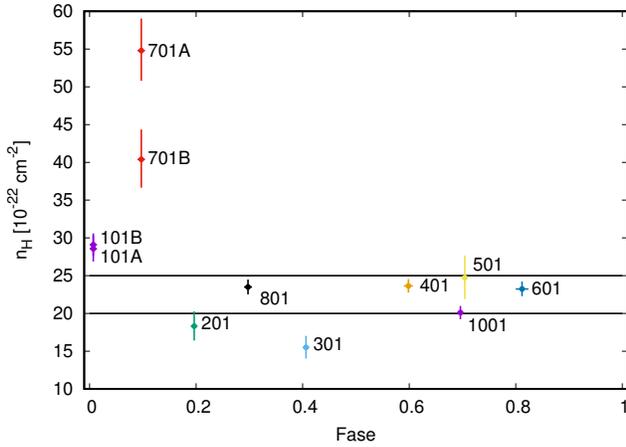


Figura 2: Evolución de la columna de absorción intrínseca, n_H , a lo largo de la órbita de la estrella de neutrones. Los valores altos por sobre la media (líneas negras; Rodríguez et al., 2003) obtenidos para las observaciones 101 y 701, contiguas en fase, denotan un proceso de ocultación de la estrella de neutrones por una región de mayor densidad del viento de la estrella supergigante. La barra de error en la fase se corresponde a la duración de cada observación.

radiación o de la densidad local del viento estelar y por lo tanto no dependen de manera directa de la fase orbital, que involucra la posición del observador. Además, estos parámetros no presentan ninguna correlación concreta con la columna de absorción n_H .

En cambio, analizando el comportamiento de estos parámetros entre sí, encontramos que Γ y Z_{Fe} se encuentran correlacionados linealmente (ver Fig. 3). Esto puede entenderse a partir del hecho de que cuando la fuente se encuentra en un estado de emisión más duro ($\Gamma < 0.5$), emite una proporción mayor de fotones energéticos ($E > 7$ keV), independientemente del flujo intrínseco, que pueden ser absorbidos por los átomos de Fe de manera más eficiente, lo cual se traduce en un aumento de Z_{Fe} , dominado por el corte o *edge* a 7 keV.

4. Discusión

En este trabajo presentamos resultados obtenidos a partir del análisis temporal y espectral en rayos X del sistema binario IGR J16320–4751 de un total de nueve observaciones en rayos X obtenidas con el satélite *XMM-Newton* entre agosto y septiembre de 2008, a lo largo de la órbita del sistema.

Los valores altos obtenidos para la columna de absorción en la mayor parte de las observaciones, así como sus pequeñas fluctuaciones, son esperables en el contexto de un sistema binario compuesto por una estrella de neutrones que orbita cerca de una estrella supergigante que posee un viento denso con inhomogeneidades locales o grumos. Sin embargo, el crecimiento abrupto de n_H detectado en dos de las observaciones, próximas en la fase orbital, evidencia la presencia de un fuerte gradiente en la densidad del viento en el entorno más próximo a la estrella compañera. El crecimiento en n_H se debe a que la radiación emitida desde el objeto compacto debe

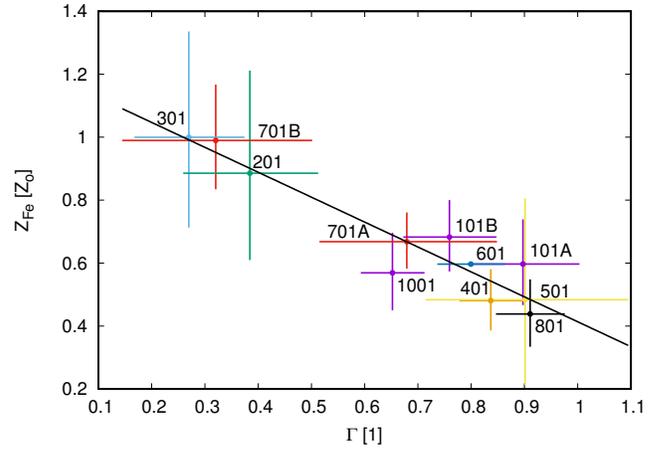


Figura 3: Abundancia de Fe, Z_{Fe} , e índice espectral, Γ , para cada espectro. Cuando la emisión es dura ($\Gamma < 0.5$) hay una mayor fracción de fotones energéticos ($E > 7$ keV) que pueden ser absorbidos por el Fe, lo que se traduce en un mayor Z_{Fe} , independientemente del flujo, y viceversa. La recta representa el ajuste lineal de los datos dado por una pendiente -0.79 ± 0.09 y una ordenada al origen 1.21 ± 0.06 .

atravesar una mayor columna de material en la dirección del observador.

Independientemente de este efecto geométrico, encontramos además una correlación entre el índice espectral de la radiación no térmica, Γ , emitida en el entorno de la estrella de neutrones, con la abundancia de Fe, Z_{Fe} , dominada por la profundidad del *edge* de Fe a 7 keV, y que resulta independiente del flujo intrínseco, $F_{7-12\text{keV}}$ y de n_H .

Un estudio detallado de la curva evolutiva de la columna de absorción nos permitirá estimar características físicas y geométricas del sistema tales como la inclinación, la excentricidad y el perfil de densidad del viento de la estrella supergigante.

Referencias

- Arnaud K. A., 1996, in Jacoby G. H., Barnes J., eds., *Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 101, Astronomical Data Analysis Software and Systems V*. p. 17
- Corbet R., et al., 2005, *The Astronomer's Telegram*, 649
- Dickey J. M., Lockman F. J., 1990, *ARA&A*, 28, 215
- Foschini L., et al., 2004, in Schoenfelder V., Lichti G., Winkler C., eds., *ESA Special Publication Vol. 552, 5th INTEGRAL Workshop on the INTEGRAL Universe*. pp 247–252
- Lutovinov A., et al., 2005, *A&A*, 444, 821
- Rodríguez J., et al., 2003, *A&A*, 407, L41
- Sugizaki M., et al., 2001, *ApJS*, 134, 77
- Tomsick J. A., et al., 2003, *IAUCs*, 8076