

José Joaquín Rodes Roca

Tesis leída en junio de 2007

TÍTULO:

ANÁLISIS ESPECTRAL EN RAYOS X DEL SISTEMA BINARIO DE ALTA MASA 4U 1538–52/QV Nor

Trabajo dirigido por:

José Miguel Torrejón Vázquez y Guillermo Bernabéu Pastor (Universidad de Alicante - Universitat d'Alacant)

RESUMEN/ABSTRACT:

Los sistemas binarios de rayos X, formados por una estrella de neutrones (objeto compacto) y una estrella masiva de tipo temprano (estrella óptica) (HMXBs), constituyen un conjunto que nos permite analizar el tipo de interacciones en unas condiciones físicas inabordables en un laboratorio terrestre. El análisis del espectro en el rango energético 3–100 keV permite estudiar la variabilidad de las líneas ciclotrón, de la línea fluorescente del hierro, del flujo y de la absorción fotoeléctrica. De esta forma, se puede efectuar un test entre lo que predicen los distintos modelos teóricos y lo obtenido a partir de las observaciones, tanto para la estrella óptica como para la estrella de neutrones.

El objetivo de esta tesis es el estudio de las características espectrales presentes en este sistema, su variación a lo largo de un período orbital y el análisis de las correlaciones entre los parámetros que definen las líneas espectrales y el continuo. Hemos utilizado todas las

observaciones públicas disponibles de este sistema de la base de datos del observatorio espacial Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE), un total de 45: dos campañas realizadas cubriendo un período orbital (1997 y 2001) y otra tomando una observación mensual entre noviembre de 1996 y diciembre de 1997. También hemos utilizado más de 400 ventanas científicas obtenidas con el satélite INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL) para conseguir un espectro con INTEGRAL Soft Gamma-Ray Imager (ISGRI) en el rango energías 17–100 keV.

La primera dificultad para poder estudiar las líneas espectrales en rayos X es describir correctamente el continuo de rayos X. Para ello se contrastaron diversos modelos y, en función de las implicaciones físicas sobre el sistema binario, se adoptó el modelo de mayor coherencia para el análisis del espectro energético.

Todos los espectros analizados del sistema 4U 1538–52 en esta tesis se han descrito bien con las siguientes componentes: 1) absorción fotoeléctrica a bajas energías (debida al medio interestelar y la atmósfera de la estrella primaria); 2) ley de potencias modificada por una exponencial; 3) la línea fluorescente del hierro (centrada a ~6.4 keV para este tipo de sistemas); y 4) la línea ciclotrón (centrada a ~20 keV, también conocidas como características ciclotrón por dispersión resonante).

El estudio de la variabilidad de la línea ciclotrón fundamental nos ha permitido establecer correlaciones entre la anchura relativa σ_c / E_c y la profundidad óptica de la línea ciclotrón τ_c (la Figura 1 muestra la gráfica de ésta) y entre la anchura de la línea ciclotrón σ

τ_c
y su energía E

τ_c
. Si la dispersión de los fotones por efecto Compton inverso se crea en todo el volumen de la columna de acreción, entonces las simulaciones de Monte Carlo realizadas indican que la profundidad óptica de la línea ciclotrón τ

τ_c
debe ser mayor cuando la línea de visión sea casi perpendicular a la dirección del campo magnético (Isenberg et al. 1988). Estos modelos predicen una anticorrelación entre τ

τ_c
y σ

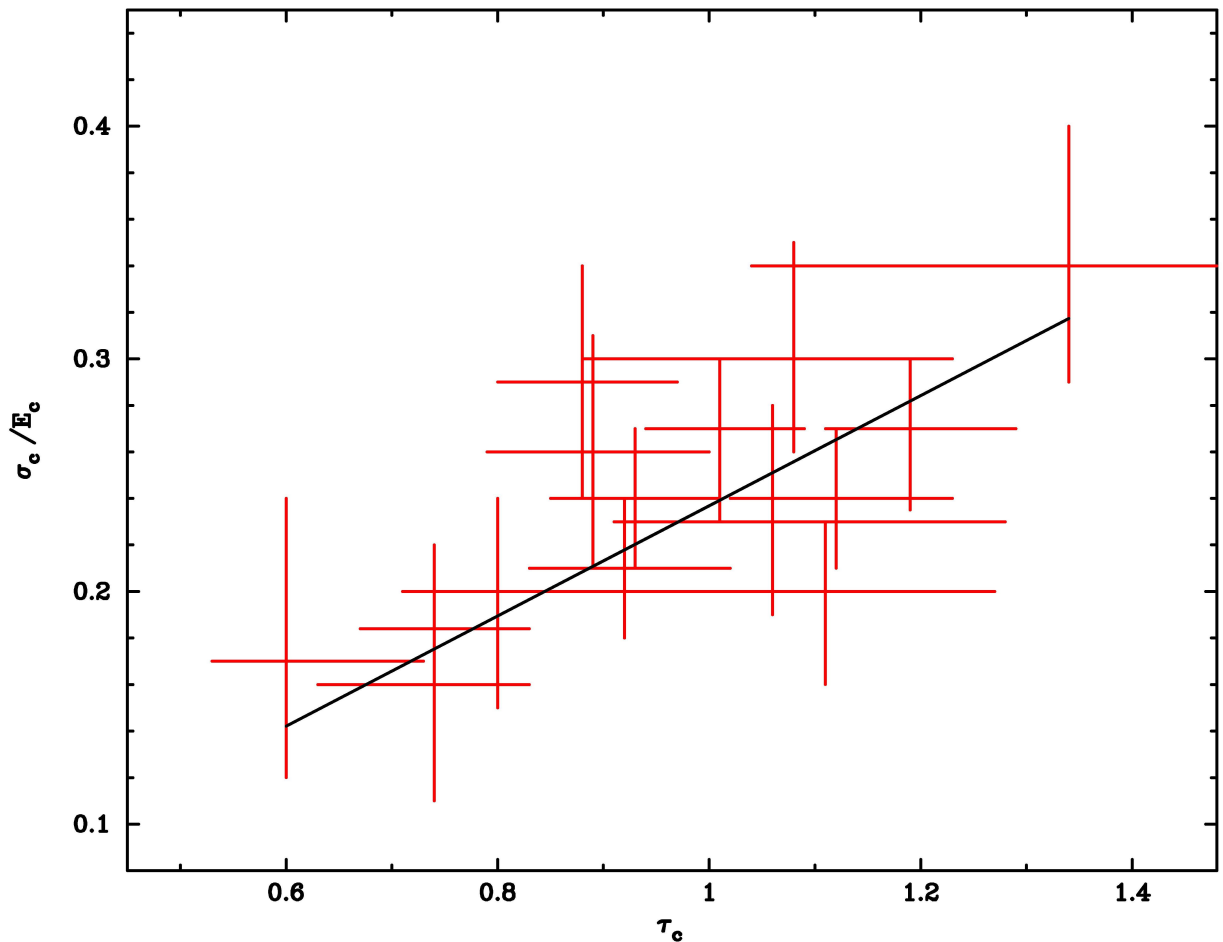
τ_c
/ E

τ_c

en contradicción con los resultados observacionales obtenidos. Dado que se observa una combinación de las regiones polares de la estrella de neutrones, esto podría influir en la correlación observada. En 4U 1538–52, la variación de E

fold
 podría explicar las diferencias en la emisión producida en las regiones polares de la estrella de neutrones. Sin embargo, esta razón no puede ser la única que justifique la correlación anterior ya que en GX 301–2, por ejemplo, apenas hay variación de E

fold
 (Kreykenbohm 2004). Los modelos teóricos deben tener en cuenta este hecho para poder reproducir la correlación observada.



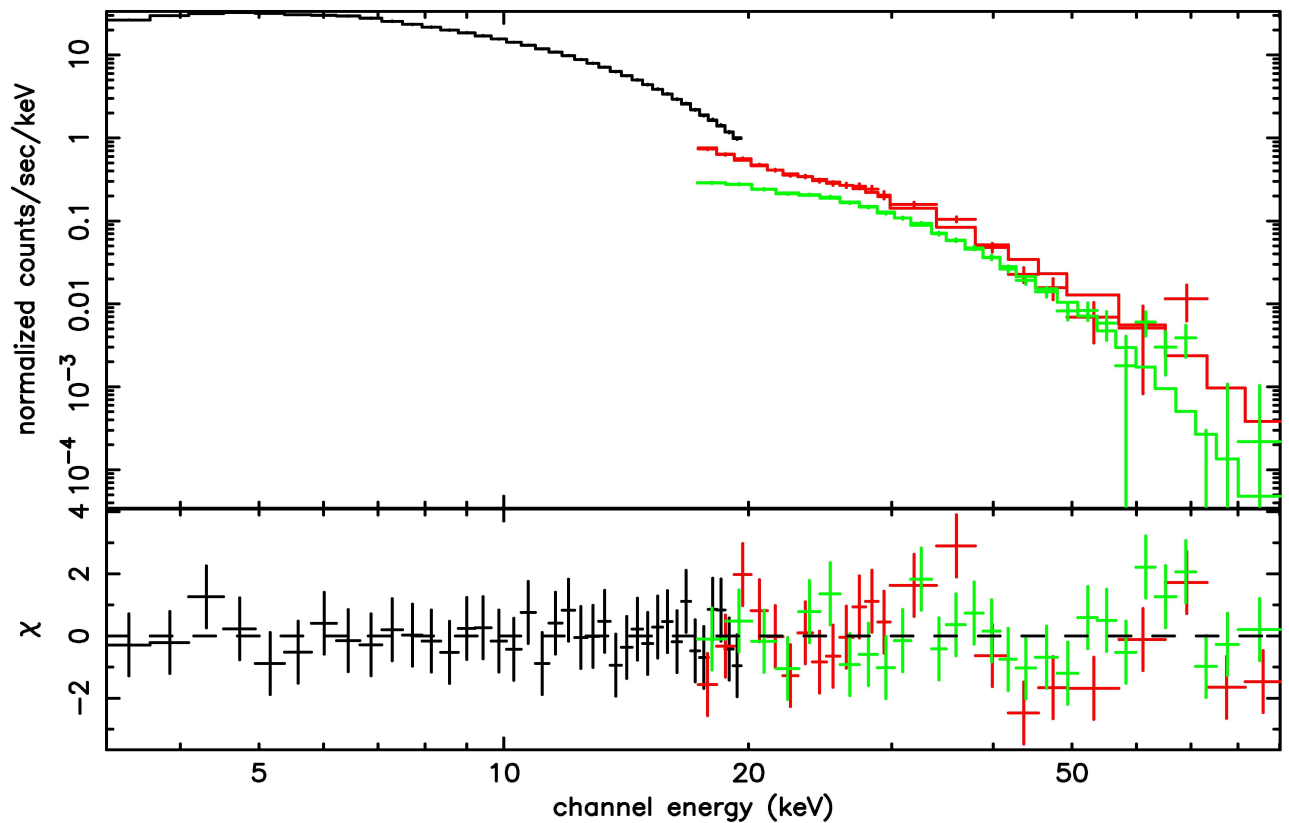
En términos de una teoría de ensanchamiento de la línea ciclotrón sencilla (Mészáros & Nagel 1985), expresada por la ecuación $\sigma_c \propto E_c (k Te)^{1/2} |\cos \theta|$, la segunda correlación no es esperable excepto si $\cos \theta$ no cambia apreciablemente. Esto implica que la temperatura electrónica es constante y que el ángulo que

forma la línea de visión y el campo magnético

θ

en la columna de acreción debe ser pequeño aunque variable ya que el pulso de la radiación X es observable.

También presentamos evidencias de la presencia del segundo armónico (Figura 2), basado en espectros de la fuente obtenidos con RXTE e INTEGRAL (esta tesis) y BeppoSAX (Robba et al., 2001). En todos los espectros con suficiente número de cuentas hemos obtenido una mejora de los ajustes estadísticamente significativa con la inclusión de la segunda línea ciclotrón centrada en ~50 keV.



El análisis de la línea de emisión fluorescente del hierro a 6.4 keV es una herramienta útil para estudiar la distribución del material circunestelar en los sistemas binarios de rayos X. La

correlación entre la anchura equivalente de la línea del hierro y la columna de hidrógeno se corresponde con la emisión proveniente de un gas neutro absorbente, con abundancias cósmicas, que se distribuye esféricamente alrededor de la fuente de rayos X. También se ha obtenido que una relación inversamente proporcional entre la anchura equivalente de la línea del hierro y el flujo en rayos X de este sistema. En los púlsares de rayos X con acrecimiento de materia, la anchura equivalente de la línea del hierro puede ser mucho mayor si el objeto compacto está ocultado de la observación directa y sólo son visibles los rayos X dispersados hacia la línea de visión debido a un disco de acreción o al viento. Este hecho puede explicar el alto valor de la anchura equivalente a bajas luminosidades de 4U 1538–52 y es consistente con la producción de los rayos X en un plasma que circunda la estrella de neutrones más que por un disco de acreción.

Finalmente, la variación de la columna de hidrógeno a lo largo de la órbita es debida al movimiento del objeto compacto sobre el viento estelar de la estrella supergigante. Hemos adoptado un modelo sencillo de viento estelar y asumido una órbita circular para el sistema binario. Esta aproximación nos ha permitido describir razonablemente los datos experimentales ajustando una función de tipo sinusoidal, y estimar la pérdida de masa de la estrella supergigante en el rango $(1.3 - 2.5) \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{año}$. Este resultado es consistente con el obtenido a partir de observaciones de Ginga (Clark et al., 1994).

[ENLACE A TESIS COMPLETA ONLINE/LINK TO THE THESIS](#)

CONTACTO: jjrodes 'at' ua.es