



Abundancias químicas de la compañera visible del agujero negro binario V4641 Sgr (XTE J1819-254)

V.A. Cúneo^{1,3}, E. Jofré^{1,3}, O. Pintado^{2,3} & M.N. Gómez^{1,3}

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

² Instituto Superior de Correlación Geológica (CONICET)

³ CONICET

Contacto/ VAC: virginia@mail.oac.uncor.edu

Resumen / En el presente trabajo se expone un análisis de las abundancias químicas de la compañera óptica del agujero negro confirmado en el sistema binario V4641 Sgr (XTE J1819-254), a partir de espectros GMOS obtenidos con el telescopio Gemini Norte. Este análisis permitió observar un enriquecimiento de N, O, Mg y Si, atribuido a la contaminación de elementos pesados generados durante la explosión de supernova que dio origen al agujero negro. Se observó, además, que el Cr y Fe resultaron subabundantes. Con este estudio se busca testear el escenario de formación de un sistema binario que contiene un agujero negro, remanente de la explosión de supernova de una estrella masiva, y proporcionar información para comprender mejor las etapas finales en la evolución de estrellas masivas y progenitores de agujeros negros.

Abstract / In this work we expose an analysis of the chemical abundances of the optical companion of the confirmed black hole binary V4641 Sgr (XTE J1819-254) from GMOS spectra obtained with the Gemini North telescope. This analysis allowed to observe an enhancement of N, O, Mg and Si, attributed to the contamination of heavy elements generated during the supernova explosion that gave birth to the black hole. It was also observed that Cr and Fe were subabundant. The aim of this study is to test the formation scenario of a binary system containing a black hole as remnant of the supernova explosion of a massive star, and to provide information to better understand the final stages in the evolution of massive stars and black hole progenitors.

Keywords / stars: black holes — stars: abundances

1. Introducción

Las estrellas de neutrones y los agujeros negros de masas estelares son consecuencia del colapso gravitacional de las estrellas masivas durante las etapas finales de su evolución. Cuando la masa y la temperatura del núcleo que se contrae, a medida que se van generando elementos químicos cada vez más pesados, son lo suficientemente grandes, el núcleo colapsa rápidamente hasta alcanzar una alta densidad específica. Luego, el material nuclear se vuelve repulsivo generando la expansión de las capas externas de la estrella, resultando en una explosión de supernova (ver, por ejemplo, Woosley et al., 2002). Parte del material eyectado durante la supernova podría ser capturado por la componente visible en el sistema binario, contaminando su atmósfera. Este escenario ha sido verificado observacionalmente por diversos autores en sistemas como, por ejemplo, GRO J1655–40 (Israeli et al., 1999), A0620–00 (González Hernández et al., 2004), Cen X–4 (González Hernández et al., 2005) y V404 Cygni (González Hernández et al., 2011). En todos los casos se encontraron abundancias químicas que difieren de las solares.

Con el objetivo de confrontar el escenario descrito más extensivamente con nuevos datos observacionales, se decidió estudiar espectroscópicamente los objetos del catálogo de agujeros negros de masas estelares en la

Galaxia de Cúneo & Gómez (2012)* con los telescopios Gemini, dado que esta clase de objetos son normalmente débiles ($V > 15$). En particular, en esta contribución se estudia el sistema binario con agujero negro confirmado V4641 Sgr, descubierto simultáneamente en rayos X por los telescopios *BeppoSAX* (in 't Zand et al., 1999) y *Rossi X-ray Timing Explorer* (Markwardt et al., 1999). La compañera óptica es una estrella B tardía que evolucionó fuera de la secuencia principal, con una masa aproximada entre 5.49 y 8.14 M_{\odot} (Orosz et al., 2001). Estos autores midieron, además, $T_{eff} = 10500 \pm 200 K$, $\log g = 3,5 \pm 0,1$ y $V_{rot} \sin i = 123 \pm 4 \text{ km s}^{-1}$, y estimaron que el objeto compacto en V4641 Sgr tiene una masa entre 8.73 y 11.7 M_{\odot} .

Esta fuente es interesante para su estudio debido a que es ópticamente brillante en inactividad ($V \sim 13,7$), es decir en los períodos en que el objeto compacto no se encuentra acreta material de su compañera, en comparación con las magnitudes normales en inactividad para esta clase de objetos ($V > 15$). Además, es la estrella más masiva y más caliente entre las compañeras de agujeros negros estelares confirmados.

En la sección 2. se resumen las observaciones y se analizan las abundancias químicas, relativas a las solares, de la componente visible del sistema, estudiando dos

* <http://www2.famaf.unc.edu.ar/institucional/biblioteca/trabajos/611/16354>

regiones del espectro observado. Los resultados obtenidos se comparan con los presentados por Orosz et al. (2001) en un estudio similar, realizado a partir de datos espectroscópicos obtenidos con diversos telescopios, y con los de Sadakane et al. (2006) donde se utilizan datos del telescopio Subaru. En la sección 3. se presenta la conclusión del trabajo.

2. Observación y análisis

La observación consistió en 4 espectros (de 300 s cada uno) de ranura larga y resolución intermedia $R \sim 3700$, centrados en 5400 y 6800 Å, obtenidos con el instrumento GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) del telescopio Gemini Norte para la compañera óptica en el sistema binario V4641 Sgr, en el mes de agosto del año 2013. En la Figura 1 se muestra el espectro completo que abarca el rango de longitudes de onda entre 4700 y 7500 Å. En este análisis no se consideró la región comprendida entre 6850 y 7500 Å debido a la presencia de líneas de origen telúrico. En la reducción de los espectros se usó el paquete GMOS de Gemini para el software de reducción IRAF.

Con el fin de determinar posibles diferencias en las abundancias de la estrella observada con respecto a las solares, se trabajó con la técnica de síntesis espectral. Para calcular los espectros sintéticos se utilizaron los códigos SYNTHÉ y ATLAS9. Se buscó un modelo de atmósfera estelar de Kurucz (2005) con una temperatura efectiva, gravedad superficial y velocidad de rotación iguales a las de la estrella observada. Los parámetros usados en estos cálculos fueron los obtenidos por Orosz et al. (2001). Se utilizaron las tablas de líneas de Moore (Moore 1945)** para identificar las líneas del espectro. Finalmente, se utilizó el modelo de Kurucz como entrada para el código SYNTHÉ, asumiendo velocidad de microturbulencia nula y abundancias solares, que luego se fueron modificando hasta lograr ajustar las líneas espectrales observadas.

La Figura 2 muestra las regiones espectrales de 5160 a 5300 Å (arriba) y de 6340 a 6500 Å (abajo) del espectro observado; en azul se muestra el espectro observado, en rojo el espectro sintético y en verde el espectro sintético de una estrella con la misma temperatura efectiva, gravedad superficial y velocidad de rotación que la estrella observada, pero con abundancia solar. Se han señalado en los espectros algunas de las líneas ajustadas en ambas regiones, correspondientes al N, O, Mg, Si y Cr. Las líneas que no fueron señaladas en el espectro superior de la figura corresponden a Fe I y Fe II.

En la Tabla 1 se muestran las abundancias relativas al Sol del espectro ajustado en comparación con las encontradas por Orosz et al. (2001) y Sadakane et al. (2006), quienes realizaron análisis del espectro de la compañera visible en V4641 Sgr similares al desarrollado en este trabajo. Tanto en la Figura 2 como en la Tabla 1, se observa que el N, O, Mg y Si son sobreabundantes en el espectro obtenido para este trabajo, mientras que el Cr y el Fe resultaron subabundantes.

** <http://www.nist.gov/data/nsrds/NSRDS-NBS-40.pdf>

Orosz et al. (2001), además de reportar sobreabundancias de N, O y Mg y abundancia solar para el Si (ver Tabla 1), analizaron la abundancia del Ti, encontrándolo también sobreabundante (1.0 dex). Por otro lado, Sadakane et al. (2006) encontraron sobreabundancia de Na (0.8 dex) y abundancias solares de C, Al y Ti, además de sobreabundancia de N y abundancias solares de O, Mg, Si, Cr y Fe (ver Tabla 1). Las diferencias observadas se deben, probablemente, a la variabilidad que caracteriza a estas estrellas. Durante los últimos ~ 50 años se han reportado variaciones repetitivas, de ~ 1 mag, con intervalos de unos pocos años, como así también, cambios repentinos de varias magnitudes correspondientes a erupciones (Barsukova et al., 2014). Tanto las observaciones de Orosz et al., en 1999, como las de Sadakane et al., en el año 2005, fueron realizadas en épocas cercanas a una erupción, mientras que las presentes observaciones, realizadas en el año 2013, corresponden a un período de relativa baja actividad. Por otro lado, estos trabajos emplean espectrógrafos de distinta resolución: $R \sim 1200 - 7700$, Orosz et al. (2001); $R \sim 40000$, Sadakane et al. (2006); $R \sim 3700$, este trabajo. Este factor podría contribuir, parcialmente, a las diferencias encontradas. A pesar de esto, es claro que V4641 Sgr presenta abundancias que difieren de las solares, lo cual favorecería el escenario de contaminación producida durante la explosión de supernova de la estrella masiva que originó el objeto compacto.

Tabla 1: Abundancias químicas ($[X/H]$) de la compañera óptica en el sistema binario V4641 Sgr relativas al Sol

Elem.(X)	Orosz et al.	Sadakane et al.	Este trabajo
N	1,00	0,80	1,29
O	0,48	0,00	0,61
Mg	0,85	0,00	0,46
Si	0,00	0,00	0,69
Cr	-	0,00	-0,63
Fe	-	0,00	-0,43

3. Conclusión

Las regiones estudiadas en este trabajo muestran que algunos elementos de la compañera óptica, como el N, el O, el Mg y el Si, son más abundantes en comparación con las abundancias solares. Orosz et al. (2001) y Sadakane et al. (2006) también reportan sobreabundancias con relación a las solares. Estos resultados dan apoyo al escenario de contaminación generada durante la explosión de supernova.

Se realizarán análisis similares para las compañeras ópticas de los sistemas binarios SS433 y RX J1826.2-1450, para los cuales se dispone de datos de similares características. Se espera de esta manera realizar un estudio más amplio del efecto de contaminación de las atmósferas de las compañeras visibles de objetos compactos, tras la explosión de supernova.

Agradecimientos: Al Dr. R. Kurucz y a la Dra. F. Castelli por cedernos los programas ATLAS y SYNTHÉ.

V4641 Sgr

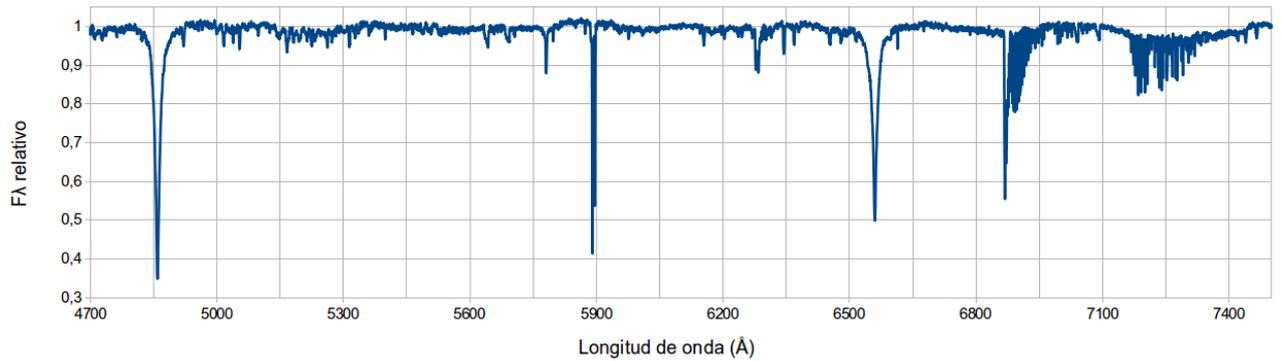


Fig. 1: Rango espectral observado completo de la compañera óptica en el sistema binario V4641 Sgr. La región comprendida entre 6850 y 7500 Å no se consideró en el análisis debido a la presencia de líneas de origen telúrico.

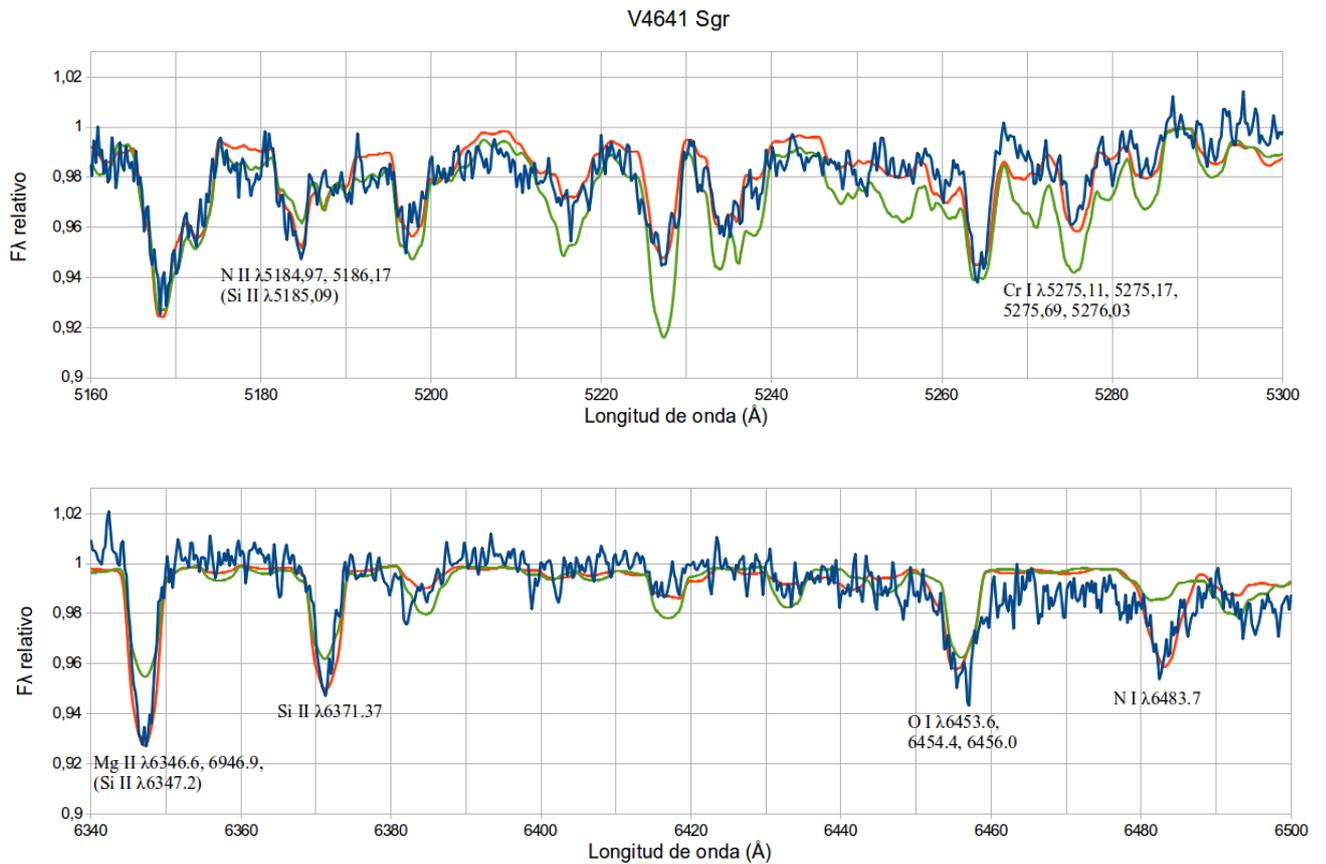


Fig. 2: Fragmentos del espectro de la compañera óptica en el sistema binario V4641 Sgr; en azul se muestra el espectro observado, en rojo el espectro sintético y en verde el espectro sintético de una estrella del mismo tipo espectral pero con abundancia solar. Las líneas que no fueron señaladas en el espectro superior corresponden a Fe I y Fe II.

Referencias

- Barsukova E. A., Goranskij V. P., Kroll P., 2014, ArXiv e-prints
 González Hernández J. I., et al., 2011, ApJ, 738, 95
 González Hernández J. I., et al., 2005, ApJ, 630, 495
 González Hernández J. I., et al., 2004, ApJ, 609, 988
 in 't Zand J., et al., 1999, IAU Circ., 7119, 1
 Israelian G., et al., 1999, Nature, 401, 142

- Kurucz R. L., 2005, Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi, 8, 14
 Markwardt C. B., Swank J. H., Marshall F. E., 1999, IAU Circ., 7120, 1
 Orosz J. A., et al., 2001, ApJ, 555, 489
 Sadakane K., et al., 2006, PASJ, 58, 595
 Woosley S. E., Heger A., Weaver T. A., 2002, Reviews of Modern Physics, 74, 1015