

Espectroscopía de la binaria simbiótica PU Vul

V. A. Cúneo^{1,2}, S. Kenyon³ & M. Gómez^{1,2}

(1) *Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina*

(2) *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina*

(3) *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, EE.UU.*

Resumen. En el presente trabajo se expone un análisis espectroscópico preliminar de la nova simbiótica PU Vul, con datos recopilados durante más de 20 años de observaciones. Con el objetivo de realizar un análisis global de la evolución del sistema desde su estallido en 1979, se determinan temperaturas y luminosidades de la nebulosa a lo largo de su evolución y se consideran diferentes escenarios para el sistema. Este análisis permitirá determinar la geometría de la binaria y ayudará a comprender los procesos que tienen lugar en este sistema en permanente cambio.

Abstract. We introduce a preliminary spectroscopical analysis of the symbiotic nova PU Vul, with data collected over 20 years. With the objective of analyzing the evolution of the system since its 1979 outburst, we calculated temperatures and luminosities of the nebula through its evolution and considered different scenarios for the system. This analysis will allow us to determine the geometry of the binary star and it will help to understand the processes that take place in this system in permanent change.

1. Introducción

PU Vul es una nova simbiótica descubierta en el estallido de 1979 (Kozai et al. 1979; Argyle et al. 1979). Durante el estallido ($V \sim 9$ mag), que duró aproximadamente 7 – 8 años, el sistema atravesó un profundo mínimo en 1980, donde el brillo decayó a $V \sim 5$ mag. Luego el sistema comenzó a disminuir lentamente su brillo, sufriendo un segundo mínimo en 1994 y un tercero en 2007, observado solo en la banda U (Shugarov et al. 2012).

Durante la primera fase del estallido, se observó un espectro óptico correspondiente a una supergigante tipo F (Yamashita et al. 1982). Más tarde, el espectro evolucionó al de una estrella tipo A, con las líneas de Balmer ocasionalmente en emisión, después al de una estrella tipo B y finalmente al de una estrella tipo Wolf Rayet (ver, por ejemplo, Kenyon 1986). Durante esta transformación, se observaron además bandas de emisión de TiO prominentes, características de estrellas gigantes tipo M. Estos datos demostraron que el sistema se compone de una gigante M6 pulsante y una enana blanca eruptiva (ver, por ejemplo, Kenyon 1986; Tatarnikova et al. 2011).

En esta contribución se reportan determinaciones de temperaturas y luminosidades de la nebulosa a lo largo de su evolución durante 20 años y se consideran diferentes escenarios para el sistema.

2. Datos espectroscópicos

Entre 1984 y 1992, Scott Kenyon obtuvo 21 espectros ópticos (3500 – 6200 Å y 5800 – 8400 Å) de PU Vul de baja resolución con el Intensified Reticon Scanner (IRS) y el CCD GoldCam montados en el espectrógrafo Blanco del telescopio de 0.9 mts de KPNO. Entre 1994 y 2014, P. Berlind y M. Calkins, entre otros, obtuvieron 432 espectros ópticos (3800 – 7500 Å) de baja resolución con el espectrógrafo FAST, montado en el telescopio Tillingast de 1.5 m del Observatorio Fred L. Whipple, Arizona, EEUU. Para reducir y calibrar en flujo los espectros, se utilizaron las tareas estándar del paquete de reducción IRAF.

La Figura 1 muestra 8 espectros de PU Vul tomados con el espectrógrafo FAST luego del segundo mínimo. Se observa que las características espectrales variaron considerablemente en este período. De septiembre de 1994 a junio del 2000, las líneas de H I (como H β y H δ) se intensificaron en relación a las líneas de [O III] vecinas. Entre septiembre de 1994 y junio de 1996, la línea de He II (4686 Å) también se volvió más intensa. Para junio del 2005 el espectro se enriqueció, presentando emisión intensa de [Fe VII] (6087 Å) y de la banda O VI de Raman en 6830 Å. Para septiembre del 2007, la línea de He II (4686 Å) resultó más fuerte que H β . Después de junio del 2009, líneas altamente ionizadas y las líneas de emisión nebulares decayeron considerablemente. Del 2005 al 2009, la intensidad de [O III] (5007 Å) se volvió comparable a H β . Sin embargo, el flujo de esta línea era menor al 30 % del de H β en mayo del 2011 y menor al 10 % en junio del 2014. A lo largo de este período, la intensidad de He II (4686 Å) relativa a H β cayó en un factor de 3 a 4.

3. Análisis

Para analizar la variabilidad de algunas líneas de interés como H β (4861 Å), He I (4471 Å) y He II (4686 Å), se midieron anchos equivalentes y se determinaron flujos. No se observó ninguna variación periódica de los anchos debidos al movimiento orbital, o un aumento o disminución secular con el tiempo. Este resultado era esperado, ya que los anchos equivalentes también están afectados por la pulsación de la gigante. Tampoco se observó una variación periódica de los flujos o señal de los eclipses.

Se emplearon dos métodos diferentes para estimar temperaturas a partir de los flujos en las líneas de He I (4471 Å), He II (4686 Å) y H β . El primero fue desarrollado por Iijima (1981) y da la temperatura directamente a partir de una expresión que involucra los flujos mencionados. El segundo método, fue desarrollado por Kenyon (1986), y utiliza el número de fotones ionizantes de H y He II, cuyo cociente se relaciona con el cociente de los flujos en H β y He II (4686 Å), como indicador de temperatura. Estas temperaturas se utilizaron para determinar las luminosidades en las líneas He II (4686 Å) y H β . En la Figura 2 se observan las luminosidades calculadas utilizando los dos conjuntos de temperaturas descriptos arriba (rojo para el método de Iijima y verde para el método de Kenyon), en comparación con las luminosidades de Kato et al. (2012), para el He II (4686 Å, a la izquierda) y para H β (a la derecha), para

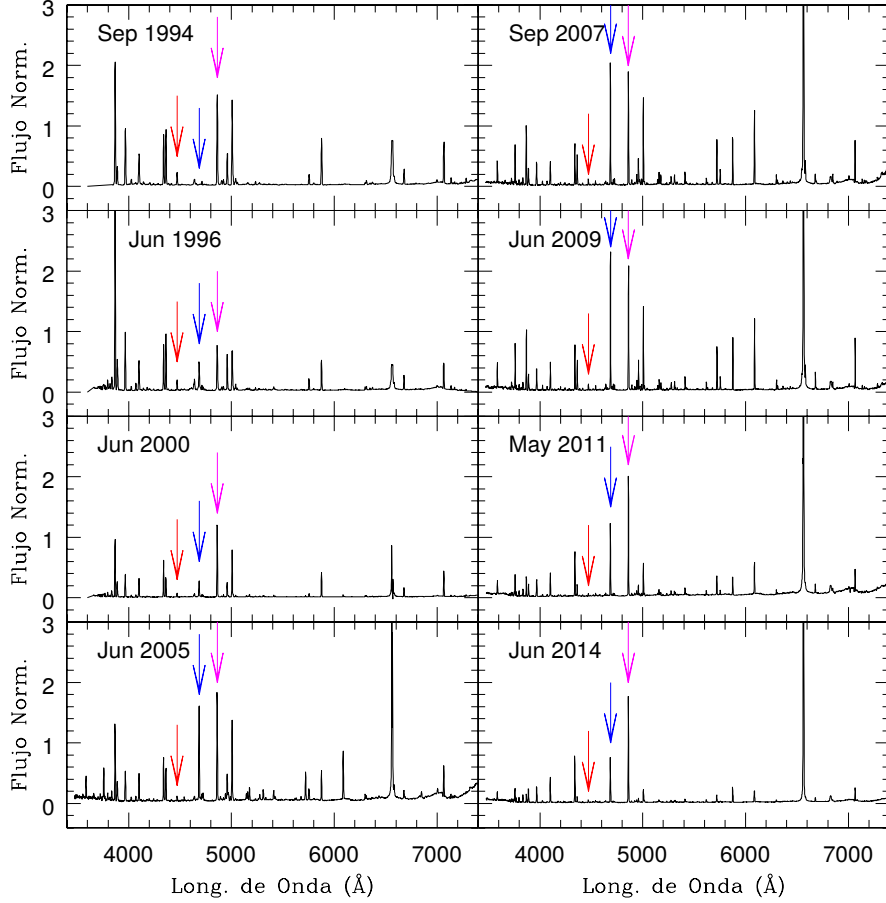


Figura 1. Espectros de PU Vul obtenidos entre 1994 y 2014. Los flujos, relativos a $H\beta$, fueron normalizados a un valor de 2. Las flechas indican las líneas de interés: He I($\lambda 4471$) en rojo, He II($\lambda 4686$) en azul y $H\beta$ en magenta.

una distancia de 4.7 Kpc (Kato et al. 2012). Se observa que las luminosidades estimadas son sistemáticamente menores que las de Kato et al.

4. La nebulosa ionizada: Progreso en su caracterización

Taylor & Seaquist (1984) propusieron diferentes escenarios para una nebulosa ionizada donde la estrella fría produce una pérdida de masa uniforme y esféricamente simétrica y la estrella caliente está embebida en el viento. El método utilizado para calcular las luminosidades asume que la nebulosa absorbe todos los fotones de la componente caliente. Ésta es la situación usual en binarias simbióticas y corresponde al primer escenario propuesto por estos autores. Sin embargo, las luminosidades aquí determinadas son menores que las estimadas

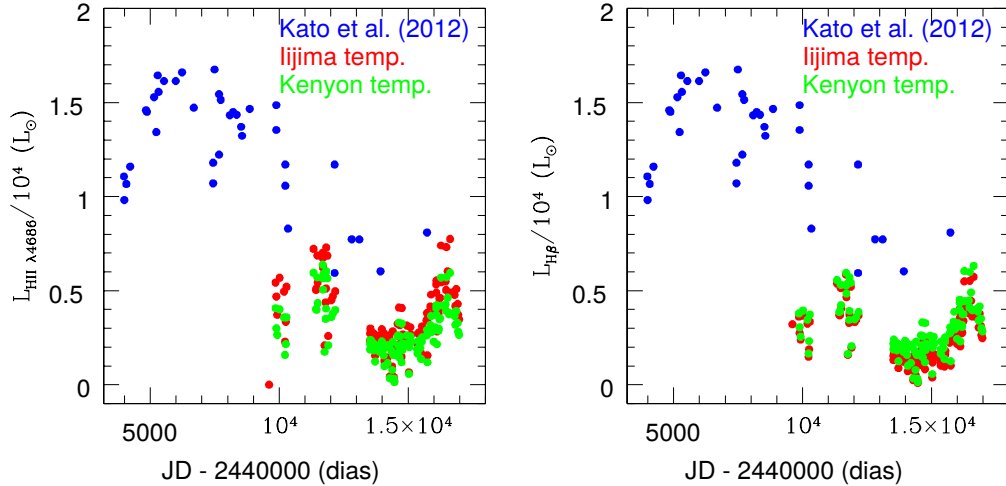


Figura 2. Luminosidades calculadas a partir de los flujos en las líneas de He II (4686 Å, izquierda) y H β (derecha) en función del tiempo para los diferentes métodos utilizados, en comparación con las estimadas por Kato et al. (2012).

por Kato et al. (2012) en un factor de ~ 2.5 . Esto sugiere que la nebulosa podría no ser lo suficientemente masiva como para absorber todos los fotones emitidos por la componente caliente, por lo que muchos podrían escapar sin ionizar. Esta nueva situación se encuentra entre los casos 2 y 3 de Taylor & Seaquist (1984).

Para analizar este nuevo escenario, se estudiará la medida de la emisión ($n_e n_p V$) con el objetivo de encontrar una combinación de parámetros que reproduzca los flujos medidos, a partir de modelos que consideran diferentes densidades. En particular se planea utilizar el código Cloudy (Ferland et al. 2013). Además, se estudiará la evolución temporal de la masa total de la nebulosa y la tasa de pérdida de masa como función de la densidad del viento, con el objetivo de comprender la geometría y el proceso de evolución de la misma.

Referencias

- Argyle, R.W., Liller, W., Schwartz, G., et al., 1979, IAU Circ, 3348
 Ferland, G.J., Porter, R.L., van Hoof, P.A.M., et al., 2013, RMxAA, 49, 137
 Iijima, T., 1981, Photometric and Spectroscopic Binary Systems, ed. E.B. Carling & Z. Kopal. Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 517
 Kato, M., Mikolajewska, J., & Hachisu, I., 2012, ApJ, 750, 5
 Kenyon, S.J., 1986, AJ, 91, 563
 Kozai, Y., Kuwano, Y., Mattei, J., et al., 1979, IAU Circ, 3344
 Shugarov, S., Chochol, D., & Kolotilov, E., 2012, BaltA, 21, 150
 Tatarnikova, A.A., Tatarnikov, A.M., Esipov, V.F., et al., 2011, Astron. Rep., 55, 896
 Taylor, A.R., & Seaquist, E.R., 1984, ApJ, 286, 263
 Yamashita, Y., Maehara, H., & Norimoto, Y., 1982, PASJ, 34, 269