

ESPECTROFOTOMETRIA DE LAS ESTRELLAS SIMBIOTICAS  
He2-417, He2-467 y He2-468

S. Navarro, R. Costero, A. Serrano P.G. y  
L. Carrasco

Instituto de Astronomía  
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN. Se presentan los resultados obtenidos del estudio espectrofotométrico de los objetos He2-417, 467 y 468, cuyos espectros muestran, principalmente, líneas en emisión de H I, He I y He II, así como bandas en absorción correspondientes a estrellas tardías. Una característica común en el espectro de estos tres objetos es la ausencia de líneas prohibidas detectables. Se reportan los cocientes relativos a  $H\beta$  de las líneas observadas y se comparan con los publicados anteriormente por otros autores. Se encuentran variaciones en algunas intensidades relativas de líneas en He2-417 y He2-467, los dos objetos con observaciones previas.

ABSTRACT. A spectrophotometric study of He2-417, 467 and 468 is made. Their spectra show mainly emission lines of H I, He I and He II, as well as absorption bands characteristic of late-type stars. No forbidden lines were detected in the spectra of the objects. We report the line intensity ratios relative to  $H\beta$  and compare them with those previously reported in the literature. Some line ratios have varied in He2-417 and 467, the two objects with previous observations.

*Key words:* SPECTROPHOTOMETRY -- STARS-SYMBIOTIC

## I. INTRODUCCION

Un número considerable de objetos en emisión que fueron clasificados como nebulosas planetarias al ser descubiertos son, en realidad, estrellas simbióticas o de algún otro tipo. En el curso de un estudio espectrofotométrico de nebulosas planetarias hemos encontrado algunos de estos objetos, entre ellos se encuentran He2-417, He2-467 y He2-468, cuyos espectros muestran características de estrellas simbióticas.

El espectro en emisión de He2-417 fue registrado inicialmente por Merrill y Burwell (1950); posteriormente, Herbig (1969) publicó un espectro fotográfico de este objeto, en el que destacan por su intensidad las líneas  $H\alpha$  y  $\lambda 4686$ , así como la presencia de algunas otras líneas de la serie de Balmer, superpuestas a un espectro tipo M, razón por la cual Herbig clasificó a esta estrella como simbiótica. Tiempo después, Sanduleak y Stephenson (1973) obtienen otro espectro fotográfico, haciendo notar su parecido con el de Z Andromedae y reportan una intensidad de  $\lambda 4686$  "claramente mayor que la de  $H\beta$ ".

Los dos objetos restantes, He2-467 y He2-468, fueron descubiertos por Henize (1967) en una búsqueda de fuentes en  $H\alpha$ , y clasificados, junto con He2-417, como probables nebulosas planetarias, apareciendo en el catálogo de nebulosas planetarias galácticas de Perek y Kohoutek (1967).

Lutz et al. (1976) han estudiado ampliamente el espectro de He2-467, obteniendo las intensidades relativas a  $H\beta$  de las líneas que observan en él y con las cuales compararemos nuestros resultados. Posteriormente Lutz (1977) y Kaler y Lutz (1980) encuentran evidencias de variación en las intensidades de las líneas de H y He en este objeto.

## II. OBSERVACIONES

Las observaciones se realizaron durante los meses de junio y julio de 1982 en el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B.C., utilizando el telescopio de 2.12 m y un espectrógrafo Cassegrain f/15 de Boller & Chivens, acoplado a un sistema de detección multicanal consistente en un intensificador de imágenes WL 30677 y un SIT, descritos por Firmani y Ruiz (1982), Ruiz (1974) y Solar (1977). Los intervalos espectrales en que se observó cada objeto y las dispersiones correspondientes aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1. Intervalos espectrales en que se observó cada objeto.

Objeto	Intervalos espectrales observados (Å)	Dispersión (Å/mm)
He 2-417	4000 - 6200	75
	4000 - 7000	75
He 2-467 y 468	4050 - 4950	26.6
	6500 - 7100	26.6

En la Figura 1 se muestran los espectros ya reducidos de He 2-417 y en las Figuras 2 y 3 los de He 2-467 y He 2-468, respectivamente. Como se puede observar, en ellos no se distinguen líneas prohibidas, lo cual nos indica que la densidad electrónica es alta ( $N_e \geq 10^8 \text{ cm}^{-3}$ ). Debido a ello los efectos colisionales y de autoabsorción pueden ser importantes; para valorar hasta que punto lo son, Lutz et al. (1976) comparan los cocientes relativos a  $H\beta$  de  $H\alpha$ ,  $H\gamma$  y  $H\delta$ , con los calculados teóricamente por Cox y Mathews (1969), concluyendo que, aparentemente, la autoabsorción no es importante en He 2-467. Nosotros aplicamos este mismo procedimiento en He 2-417, pero comparando con los valores teóricos publicados por Netzer (1975), dado que las condiciones físicas existentes en las regiones emisoras son semejantes a las supuestas por este autor. Al hacerlo encontramos que en He 2-417 la autoabsorción sí es importante, mientras que con He 2-467 confirmamos la conclusión de Lutz et al. Debido a ello, los valores teóricos del decremento de Balmer que se utilizaron para estimar la extinción interestelar en He 2-417, fueron los siguientes:  $H\alpha = 490$ ,  $H\gamma = 29$  y  $H\delta = 14$  (para  $H\beta = 100$ ) que corresponden a  $N_e = 10^9 \text{ cm}^{-3}$  y a una profundidad óptica 251 en  $H\alpha$  y  $10^5$  en  $\text{Ly}\alpha$ .

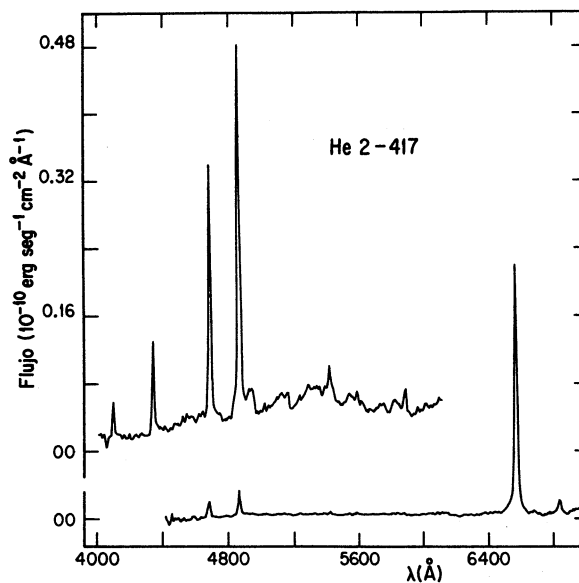


Fig. 1. Espectros reducidos de He 2-417. Se observan claramente las líneas de la serie de Balmer, así como  $\lambda 4686$  de He II y la banda, aún no identificada, en  $\lambda 6830$ .

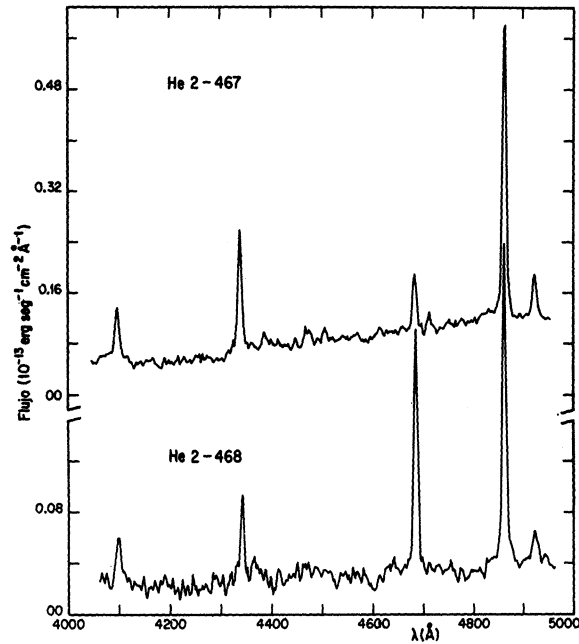


Fig. 2. Espectros reducidos de He2-467 y He2-468 en el azul.

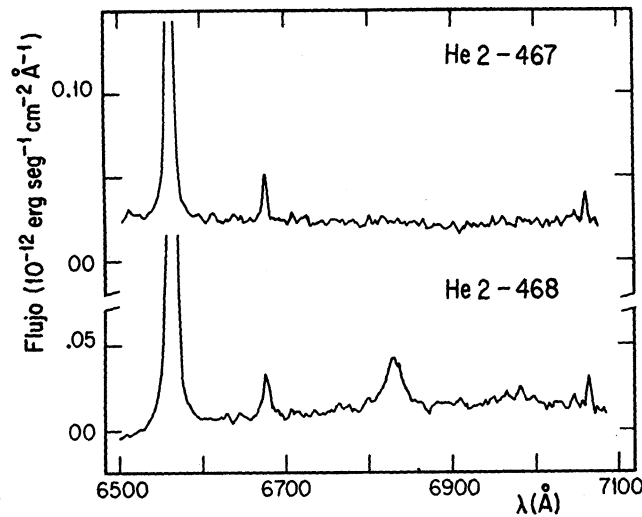


Fig. 3. Espectros reducidos de He2-467 y He2-468 en el rojo.

Para corregir por enrojecimiento a He2-467 se utilizaron las intensidades teóricas de las líneas de Balmer para el caso degenerado, dadas por Clarke (1965), siguiendo el mismo procedimiento empleado por Lutz et al., y así poder comparar con sus observaciones.

Para He2-468 no se cuenta con el cociente  $H\alpha/H\beta$ , por lo que no es posible evaluar el efecto de la autoabsorción en él. Debido a ello se tomaron los mismos cocientes teóricos que para He2-467.

### III. DISCUSION

Las líneas identificadas en el espectro de cada objeto, con sus respectivas intensi-

dades relativas a  $H\beta$ , aparecen en la Tabla 2, en donde  $f(\lambda) = 100[F(\lambda)/F(H\beta)]$ , es la intensidad observada, relativa a  $H\beta$  e  $i(\lambda)$  es la intensidad ya corregida por extinción interestelar, también referida a  $H\beta$ . Se estima que el error en las líneas más intensas es menor que 10% y en las débiles mayor que 20%.

TABLA 2. Intensidades relativas a  $H\beta$  de las líneas observadas en cada objeto.

$\lambda(\text{\AA})$	Identificación	He2-417		He2-467		He2-468	
		$f(\lambda)$	$i(\lambda)$ ( $c=0.95$ )	$f(\lambda)$	$i(\lambda)$ ( $c=0.77$ )	$f(\lambda)$	$i(\lambda)$ ( $c=0.87$ )
4101	H $\delta$	8.3	13.4	21.0	31.0	19.9	30.9
4340	H $\gamma$	21.4	29.7	38.6	50.4	29.8	40.2
4387	He I	--	--	3.8	4.8	--	--
4471	He I	--	--	6.2	7.5	<6.0	<7.5
4508	Fe II (?)	--	--	3.9	4.7	--	--
4686	He II	65.0	72.2	21.3	23.2	77.3	85.1
4713	He I	--	--	4.5	4.8	--	--
4861	H $\beta$	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4921	He I	14.2	13.7	19.6	19.0	16.0	15.4
5412	He II	16.4	10.0	--	--	--	--
4875	He I	7.0	5.3	--	--	--	--
6563	H $\alpha$	1026.4	477.3	435.3*	239.0	532.5*	264.1
6678	He I	--	--	36.2*	18.9	46.3*	22.2
6830	banda(?)	59.3	25.3	--	--	99.0*	45.4
7065	He I	--	--	21.9*	10.4	23.4*	10.1

\*En estos casos, las intensidades originales estaban referidas a  $H\alpha$ , para estimar los cocientes relativos  $H\beta$  se utilizó, en el caso de He2-467, el cociente reportado por Lutz et al. (1976) ( $H\alpha/H\beta$ ) = 4.35 y para He2-468 el cociente teórico  $H\alpha/H\beta$  = 2.64.

#### He2-417

Utilizando el decremento de Balmer teórico ya mencionado y adoptando la curva de enrojecimiento de Whitford (1958) se obtuvieron valores para  $c$  de 0.92, 0.88 y 1.03 a partir de  $H\alpha/H\beta$ ,  $H\gamma/H\beta$  y  $H\delta/H\beta$ , respectivamente. Dándoles pesos de 3:1:2 se obtiene como promedio  $c=0.95$ . Los cocientes ya corregidos, usando este valor de  $c$ , aparecen también en la Tabla 2. Es importante hacer notar que la intensidad de la línea  $\lambda 4686$  de He II, es menor que la de  $H\beta$ , contrariamente a lo reportado por Sanduleak y Stephenson (1973); así mismo, en el espectro de He2-417 = AS 316, obtenido en abril de 1977 y publicado en el catálogo de estrellas simbióticas de Allen (1984), las intensidades de estas líneas son muy similares. También queremos destacar la presencia de la banda en  $\lambda 6830$ , cuya identificación no ha sido lograda (Allen, 1980) y que es característica de las estrellas simbióticas.

Utilizando las expresiones calculadas por Miller (1974), obtenemos que las abundancias de  $He^+$  y  $He^{++}$ , a partir de las líneas  $\lambda 5876$  de He I y  $\lambda 4686$  de He II son, respectivamente,  $N(He^+)/N(H^+) = 0.04$  y  $N(He^{++})/N(H^+) = 0.06$ . De este resultado, es posible que la estimación de la abundancia de  $He^+$  esté afectada por la opacidad en la línea o por redistribución colisional.

#### He2-467

Utilizando, como ya se dijo, las intensidades teóricas de Clarke, se obtiene  $c = 0.77$ , a partir del cociente  $H\delta/H\beta$ , que es el más confiable, y  $c = 0.83$  a partir de  $H\gamma/H\beta$ .

Anteriormente Lutz et al. (1976) y Lutz (1977) estudiaron también este objeto, encontrando las intensidades relativas a  $H\beta$  listadas en la Tabla 3. Como se puede apreciar, la intensidad de  $\lambda 4686$  de He II disminuyó, por debajo del valor reportado por Lutz et al., después del gran incremento sufrido entre julio de 1974 y julio de 1975, mientras que las líneas de He I se han incrementado, al grado de que  $\lambda 4471$  sí se observa en nuestros espectros y no en los de Lutz et al.

Las abundancias de Helio estimadas son de 0.15 para  $\text{He}^+$  y de 0.02 para  $\text{He}^{++}$ , utilizando la línea  $\lambda 4471$  de He I y  $\lambda 4686$  de He II, y las expresiones respectivas dadas por Miller (1974).

TABLA 3. Comparación de las intensidades relativas a  $\text{H}\beta$  de He2-467.

$\lambda$ (Å)	Identificación	f( $\lambda$ )		
		nuestra	Lutz et al.	Lutz, 1977
4101	H $\delta$	21.0	21.7	--
4340	H $\gamma$	38.6	43.8	46
4387	He I	3.8	2.8	--
4471	He I	6.2	----	--
4508	Fe II (?)	3.9	----	--
4686	He II	21.3	32.2	95
4713	He I	4.5	----	--
4861	H $\beta$	100.0	100.0	100
6563	H $\alpha$	435.3	435.3	--
6678	He I	36.2	40.2	--
7065	He I	21.9	----	--

#### He2-468

Este objeto fue reportado como estrella simbiótica por Carrasco, Costero y Serrano (1983). Para estimar la extinción interestelar usamos el cociente  $\text{H}\delta/\text{H}\beta$ , por considerarlo el más confiable, encontrándose así  $c=0.87$ . Con las intensidades ya corregidas por enrojecimiento, nos fue posible estimar la abundancia de  $\text{He}^{++}$  a partir de  $\lambda 4686$ , obteniendo con ello un valor de 0.07. Dado que  $\lambda 4471$  aparece muy débil en el espectro de este objeto, se estimó  $f(4471) < 6$ , con lo que se obtiene:  $N(\text{He}^+)/N(\text{H}^+) 0.15$ .

En el espectro de este objeto, al igual que en el de He2-417, es prominente la banda en  $\lambda 6830$ , lo cual da apoyo a su clasificación como estrella simbiótica.

#### REFERENCIAS

- Allen, D. A. 1980, *M.N.R.A.S.*, 190, 75.  
 Allen, D. A. 1984, *Proc. A.S.A.*, 5, 369.  
 Carrasco, L., Costero, R. y Serrano P. G., A. 1983 en *IAU Symposium No. 103, Planetary Nebulae*, ed. D. R. Flower, p. 548.  
 Clarke, W. H. 1965, *tesis*, Universidad de California en Los Angeles  
 Cox, D. P. y Mathews, W. G. 1969, *Ap. J.*, 155, 859.  
 Firmani, C. y Ruiz, E. 1982 en *Avances Recientes de la Astronomía. Instrumentación y Resultados*, eds. Johnson, H. L. y Allen, C.  
 Henize, K. G. 1967, *Ap. J. Suppl.*, 14, 125.  
 Herbig, G. H. 1969, *Proc. N.A.S.*, 63, 1045.  
 Kaler, J. B. y Lutz, J. H. 1980, *Publ. A.S.P.*, 92, 81.  
 Lutz, J. H., Lutz, T. E., Kaler, J. B., Osterbrock, D. E. y Gregory, S. A. 1976, *Ap. J.*, 203, -481.  
 Merrill, P. W. y Burwell, C. G. 1950, *Ap. J.*, 112, 72.  
 Miller, J. G. 1974, *Ann. Rev. Astr. and Ap.*, 12, 331.  
 Netzer, H. 1975, *M.N.R.A.S.*, 171, 395.  
 Perek, L. y Kohoutek, L. 1967, "*Catalogue of Galactic Planetary Nebulae*".  
 Ruiz, E. 1974, *tesis profesional*, Universidad Nacional Autónoma de México.  
 Solar, A. 1977, *tesis profesional*, Universidad Nacional Autónoma de México.  
 Sanduleak, N. y Stephenson, C. B. 1973, *Ap. J.*, 185, 899.  
 Whitford, A. E. 1958, *Ap. J.*, 63, 201.

Luis Carrasco, Rafael Costero, Silvana Navarro y Alfonso Serrano: Instituto de Astronomía, -- UNAM, Apartado Postal 70-264, 04510 México, D. F., México.