

## GRADIENTES DE ABUNDANCIAS EN LA NEBULOSA PLANETARIA A78

A. Manchado , A. Mampaso

Instituto de Astrofísica de Canarias, Spain

S.R. Pottasch

Kaypteyn Lab. University of Groningen, The Netherlands

SUMARIO. Nuevas observaciones espectroscópicas bidimensionales de A78 han permitido estudiar las abundancias de He, O, Ne y N y su variación a lo largo de la nebulosa. Encontramos una clara sobreabundancia de estos elementos en la parte central lo que sugiere distintas eyecciones nebulares con material procesado en el interior estelar y dragado posteriormente a la envoltura.

ABSTRACT. New bidimensional spectroscopic observations of A78 allow us to determine the He, O, Ne and N abundances and their variations along the nebula. A clear overabundance of these elements is found in the central region of the nebula, suggesting different nebular ejections of material processed in the stellar interior and dredged-up subsequently to the envelope.

*Key words:* ABUNDANCES - NEBULAE-H II REGIONS - SPECTROPHOTOMETRY

## 1) INTRODUCCION

Jacoby (1979) notó que la nebulosa planetaria A78 presentaba grandes disparidades morfológicas entre sus imágenes en [O III] (5007 Å) y H $\alpha$  (6563 Å), lo que fue explicado más tarde (Jacoby y Ford 1983, referido en adelante como JF) como un déficit extremo de hidrógeno en el centro de la nebulosa.

El propósito del presente trabajo es determinar los gradientes de abundancias de los distintos elementos a lo largo de esta nebulosa, para estudiar la pérdida de masa de la estrella central y su evolución con el tiempo.

Con este fin hemos realizado observaciones espectroscópicas bidimensionales, que describimos en la sección 2. En 3 discutimos las abundancias deducidas de estas observaciones y su posible implicación en la historia de la nebulosa.

## 2) OBSERVACIONES

Se observó A78 en Agosto de 1985 en el telescopio de 2.5 m. INT (operado en la isla de La Palma por el R.G.O. en el Observatorio español del Roque de los Muchachos del Instituto de Astrofísica de Canarias) usando el espectrógrafo de resolución media (IDS) con el detector IPCS (Boksenberg 1972). La rendija usada fue de 3" (largo) por 1" (ancho), orientada en la posición mostrada en la Figura 1, obteniéndose 120 espectros, separados entre sí 1.5", de A78 y el fondo circundante. Se usó una red con resolución efectiva de 7.5 Å cubriendo el rango espectral entre 3400 y 7500 Å aproximadamente. El "seeing" fue inferior a 1 arcsec durante la observación.

Los espectros fueron reducidos en la forma usual, utilizando los paquetes de programas estándar en "starlink". G158-100 (Filippenko et al. 1984) se usó como estrella de calibración.

Tras una inspección visual de los 53 espectros correspondientes a la nebulosa, pudi-

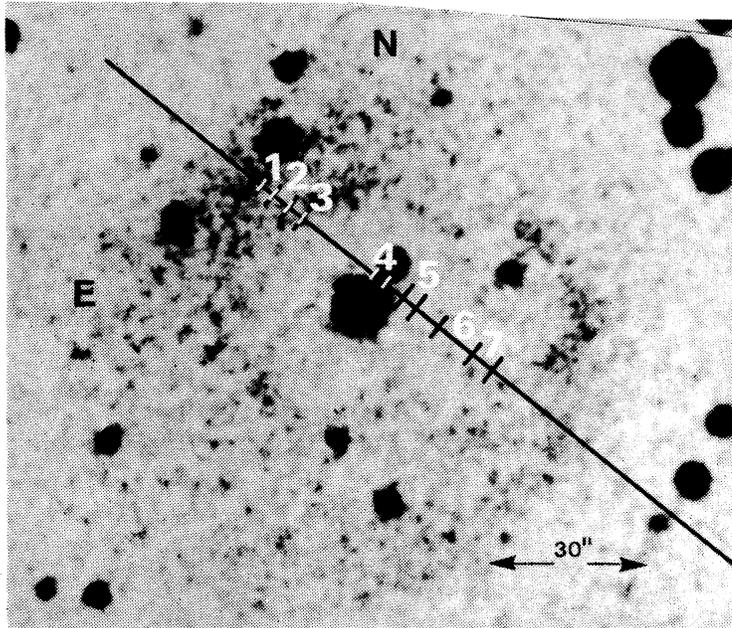


Fig. 1. Ampliación de la carta roja del P.O.S.S. mostrando A78 y la posición de la rendija en las observaciones espectroscópicas. Marcadas de 1 a 7 están las diferentes regiones discutidas en el texto.

TABLA 1. Intensidades de líneas relativas a  $F(\lambda 5007) = 100$ . Los números de cada región corresponden a las zonas señaladas en la Figura 1.

REGION	1	2	3	4	5	6	7
[NeV] 3426	----	----	----	32.7	58.9	----	----
[OIII]3727	<4.2	9.8	7.5	2.8	8.8	2.2	<1.9
[NeIII]3868	<5.6	13.5	16.5	10.2	14.1	14.3	13.8
HeI 3888	----	4.2	----	1.7	1.7	1.0	----
NeIII 3968 + H <sub>c</sub> 3970	----	6.7	5.9	2.9	2.3	5.0	5.1
H $\delta$ 4101	----	----	4.6	1.0	----	----	2.78
H $\gamma$ 4340	29.8	11.0	2.3	----	<5.8	2.7	4.35
[OIII]4363	17.7	3.6	3.2	2.7	7.5	3.3	2.9
HeII 4686	93.6	32.5	5.9	9.4	22.4	7.14	11.2
[NeIV](4714+25)	<3.7	<2.5	2.6	13.7	<14.2	4.1	<3.5
[ArIV]4740	----	----	0.9	----	----	0.8	----
H $\beta$ 4862	69.6	25.3	4.5	----	11.4	6.1	8.30
[OIII]4959	37.5	31.7	32.7	30.3	35.1	32.9	34.6
HeI 5876	<13.4	<1.4	<0.3	4.0	<4.7	<1.4	<1.3
H $\alpha$ 6563	250.0	75.5	13.1	4.6	26.7	24.5	39.7
[NII]6584	<2.8	4.5	2.8	3.4	<1.7	<2	<2.2
$F(5007) \times 10^{-15}$ (ergs cm <sup>-2</sup> sec <sup>-1</sup> A <sup>-1</sup> )	14.1	54.7	219.7	67.7	16.9	124.9	99.2

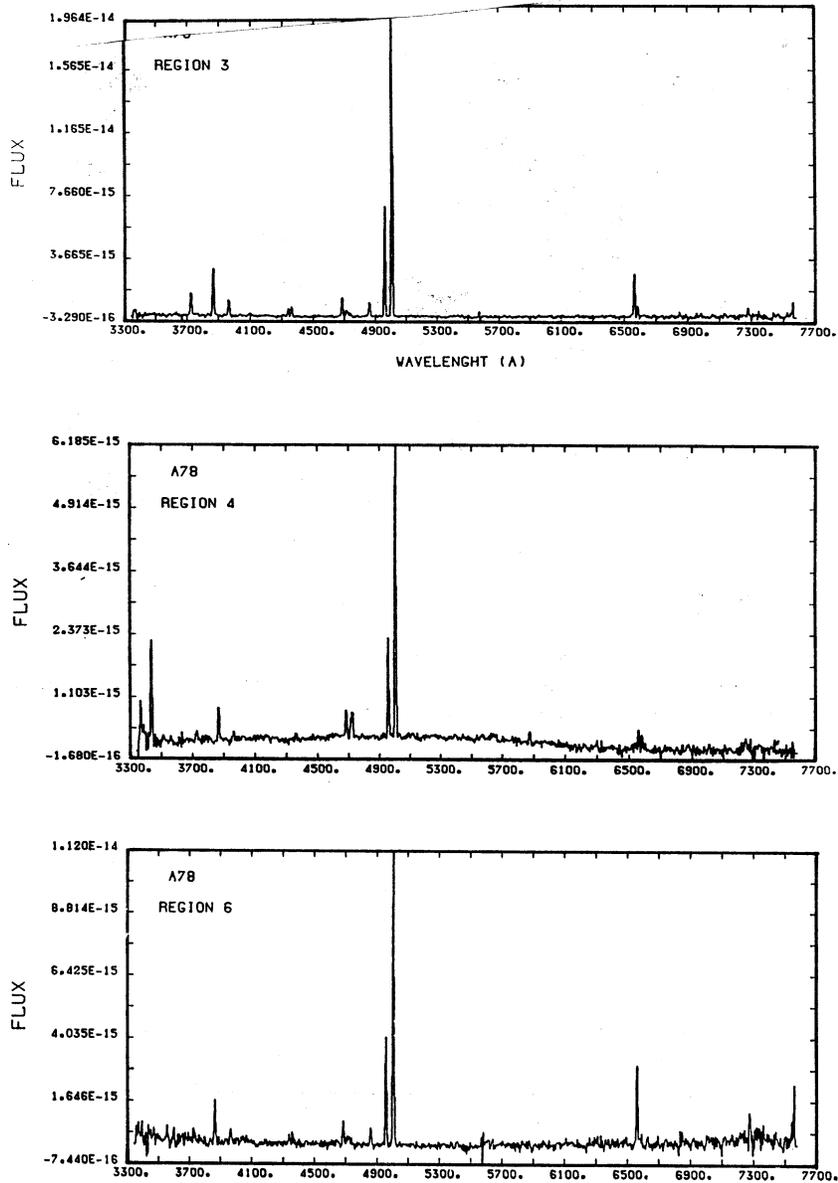


Fig. 2. Espectros representativos de las regiones 3 (NE), 4 (central) y 6 (SO) de A78. El flujo está en unidades de  $\text{ergs cm}^{-2} \text{A}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

mos definir 7 regiones distintas y en cada una de estas regiones, 1 a 7, se promediaron 4,5,4,2, 4,11 y 6 espectros respectivamente, con el fin de aumentar la relación señal-ruido de los espectros representativos.

En la Figura 2 mostramos los espectros obtenidos para tres regiones significativas (región 3, 4 y 6, ver también Figura 1) y en la Tabla 1 listamos las intensidades (relativas a [O III] 5007 Å) de las principales líneas encontradas en las diferentes regiones. Los errores estimados son menores que el 10% para líneas más intensas (en unidades de  $10^{-15} \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Å}^{-1}$ ) que 7, entre 10 y 30% para líneas entre 4 y 7, y mayores que 30% para líneas más débiles que 4.

## 3) ANALISIS DE LOS ESPECTROS. ABUNDANCIAS EN A78

Del decremento de Balmer deducimos un exceso  $E_{B-V} = 0.15$  aproximadamente constante para todas las regiones, valor no muy lejano al medido por Kaler (1984),  $E_{B-V} = 0.11 \pm 0.03$ , para la estrella central. Por tanto, hemos desenrojécido por aquella cantidad los flujos listados en la Tabla 1, aunque notamos que el pequeño efecto de estas correcciones de desenrojecimiento no afectan apreciablemente nuestras conclusiones subsiguientes.

A partir de las líneas de [O III] hemos determinado la temperatura electrónica en las diferentes regiones, supuesta una densidad de  $100 \text{ cm}^{-3}$  (JF), obteniendo  $T \sim 18 \text{ 000 K}$ , aproximadamente constante a lo largo de la nebulosa. Este valor es substancialmente diferente al determinado por JF de  $13 \text{ 000 K}$ .

Las abundancias iónicas fueron posteriormente determinadas en la forma usual y las abundancias totales fueron estimadas (Torres-Peimbert y Peimbert 1977) a partir de aquellas y están listadas en la Tabla 2. En esta misma tabla hemos incluido, como comparación, los valores usualmente admitidos (Pottasch 1984) de las abundancias solares y los determinados por JF para A78, midiendo, en su caso, un solo punto cerca de nuestra región 4, a mitad de camino entre la estrella central y la débil estrella situada  $10 \text{ arcsec}$  al noroeste de ella.

Hemos de notar que las abundancias de Ne están relativamente bien determinadas (ya que observamos los estados de alta ionización) en comparación con las de O, calculadas con la relación

$$\frac{N(O)}{N(H)} = \frac{N(Ne)}{N(Ne^{++})} \times \frac{N(O^{++})}{N(H)}$$

y con las de N que a veces son límites superiores por la extrema debilidad de las líneas de [N II].

Como muestra la Tabla 2, hay un fuerte gradiente de abundancias a lo largo de A78, tanto con respecto al H como con respecto al He. Asimismo es notable la extraordinaria superabundancia de elementos metálicos en el centro de la nebulosa (región 4).

TABLA 2. Abundancias de elementos en A78 relativas al hidrógeno y al helio. JF indica las abundancias medidas por Jacoby y Ford (1983) en la parte central de A78. También se muestran los valores estándar de las abundancias solares.

REGION	3	4	6	JF	SOLAR
$\frac{N(O)}{N(H)} \times 10^4$	47.9	1237.6	65.5	78	6
$\frac{N(Ne)}{N(H)} \times 10^4$	15.8	257.3	18.8	33	0.8
$\frac{N(He)}{N(H)}$	0.1	2.7	0.1	6	0.08
$\frac{N(N)}{N(H)} \times 10^4$	1.7	1234.1	< 1.3	15	0.9
...	...	...	...	...	...
$\frac{N(O)}{N(He)} \times 10^2$	4.8	4.6	6.5	0.13	0.75
$\frac{N(Ne)}{N(He)} \times 10^3$	15.8	9.5	18.8	0.55	1.0
$\frac{N(N)}{N(He)} \times 10^4$	17.0	457.1	<13.0	2.58	11.2

No obstante, dado que el hidrógeno ha sido procesado a helio a lo largo de la evolución de la estrella central, es más conveniente referir las abundancias de elementos a algún parámetro que se mantenga constante con la evolución de la estrella.

Con este fin, hemos calculado las abundancias de los distintos elementos referidos al parámetro  $4N(\text{He}) + N(\text{H})$ . Por tanto

$$N'(x) \equiv \frac{N(x)}{4N(\text{He}) + N(\text{H})}$$

expresa el número de átomos de un elemento con respecto a la "masa total" (si despreciamos la masa de los otros metales distintos al helio) contenida en un volumen dado. Las abundancias así referidas (Tabla 3) nos permiten ahora comparar los resultados obtenidos para nebulosas planetarias en distintas etapas evolucionarias.

TABLA 3. Abundancias de elementos en A78 referidas a la masa total de cada región (ver texto).

REGION	3	4	6	JF	SOLAR
$N'(\text{O}) \times 10^2$	0.34	1.05	0.47	0.03	0.04
$N'(\text{Ne}) \times 10^3$	1.13	2.18	1.34	0.13	0.06
$N'(\text{N}) \times 10^4$	1.21	104.57	<0.93	0.60	0.68
$N'(\text{He})$	0.07	0.23	0.07	0.24	0.06

Así, es notable la sobreabundancia de He en la parte central (región No. 4), hecho ya señalado anteriormente por JF. En las partes más externas, dicha abundancia toma el valor estándar, cercano al solar, indicando que el material existente allí procede de una anterior eyección nebulosa de material rico en hidrógeno.

Las abundancias de O, Ne y N son, sin embargo, superiores a los valores normales en nebulosas planetarias, alcanzando valores extremadamente altos en la zona central. Asimismo, el cociente  $N(\text{N})/N(\text{O})$  es cercano a 1 en la región central, casi un orden de magnitud superior al valor estándar de Orión.

Todo esto parece indicar que ha habido, efectivamente, un dragado de esos elementos desde la parte central a la envoltura de la estrella central y una posterior eyección de este material procesado, en forma de gas rico en metales y muy sobreabundante en nitrógeno.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a E. Pérez y J.M. Vilchez su ayuda en la reducción de datos. A A. Preite-Martinez el uso de su programa de cálculo de abundancias y a A. Riera su ayuda en los cálculos.

Asimismo agradecen el excelente soporte de la plantilla del Observatorio del Roque de los Muchachos durante las observaciones. Finalmente damos las gracias a C. Chavarría y M. Peimbert por sus útiles comentarios al manuscrito.

#### REFERENCIAS

- Boksenberg, A. 1972, *Proceedings of the ESO/CERN Conference on Auxiliary Instrumentation for Large Telescopes*. Geneva May 2-5, p. 295.  
 Filippenko, A.V., Greenstein, J.L. 1984, *P.A.S.P.*, 96, 530.

- Jacoby, G.H. 1979, *P.A.S.P.*, 91, 754.  
Jacoby, G.H., Ford, H.C. 1983, *The Astrophys. J.*, 266, 298.  
Kaler, J.B., Walter, A.F. 1984, *The Astrophys. J.*, 282, 719.  
Pottasch, S.R. 1980, *Astron. Astrophys.*, 89, 336-341.  
Pottasch, S.R. 1984, "*Planetary Nebulae*", Ed. D. Reidel Pub. Co. Holland.  
Torres-Peimbert, S., Peimbert, M. 1977, *Rev. Mex. Astr. Astrof.*, 2, 181.

## DISCUSSION

COSTERO: ¿Han medido gradientes de densidad y de temperatura? ¿Hay algunos otros objetos en los que el gradiente de abundancias sea similar?

MAMPASO: La temperatura no parece separarse dentro de  $\pm 1000$  K del valor descrito en el texto. La densidad es bastante uniforme excepto en la región central donde es superior a  $10^3$   $\text{cm}^{-3}$ . Con respecto a la segunda pregunta, el caso más parecido es A30 (ver Jacoby y Ford 1983). Nuestro grupo está precisamente estudiando en la actualidad los gradientes de abundancias en éstas y otras nebulosas de gran tamaño para extender el trabajo aquí presentado.

A. Manchado y A. Mampaso: Instituto de Astrofísica de Canarias, 38071 La Laguna Tenerife, España.  
S.R. Pottasch: Kapteyn Laboratorium. Postbus 9700 AV Groningen, The Netherlands.