

temperatura y densidad de electrones en la región HII compacta Sh 288*

Maximiliano Faúndez A. y Ana María Osorio A.**

RESUMEN: Se ha hecho observaciones de Sh 288, una región H II compacta, desde λ 3728 hasta λ 7326 Å .

Se ha determinado un valor de la constante C de enrojecimiento interestelar igual a 1.1 ± 0.1 .

Se calculó una temperatura de electrones de $T_e = 8990$ K, y una densidad de electrones $N_e = 322 \text{ cm}^{-3}$.

SUMMARY: Observations of Sh 288, an H II compact region, have been made from λ 3728 to λ 7326 Å .

The value of the interstellar reddening constant C has been determined to be 1.1 ± 0.1 .

An electron temperature of $T_e = 8990$ K, and an electron density of $N_e = 322 \text{ cm}^{-3}$ have been determined.

* Manuscrito revisado y aprobado en forma definitiva en Agosto de 1981.

** Departamento de Física, Facultad de Ciencia, Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile.

1. INTRODUCCION

La región HII designada como Sharpless 288 (Sh 288) del Catálogo de Regiones HII de Sharpless (1959), tiene coordenadas galácticas: $l = 186.4^\circ$, $b = + 3.2^\circ$, y coordenadas ecuatoriales (1900) $\alpha = 7$ hrs. 3.6 min, $\delta = - 4^\circ 9'$.

Según el catálogo de Sharpless, es una nebulosa brillante, de forma irregular, con una estructura comprendida entre amorfa y filamentaria.

No se sabe de la existencia de una estrella o estrellas asociadas a esta nebulosa (posiblemente estén ocultas por el gas); tiene un radio angular aparente estimado en $\phi = 30''$ (segundos de arco), lo que implica que es una nebulosa compacta.

No existe información espectro-fotométrica de Sh 288, en la literatura. En este trabajo se usaron las observaciones originales hechas en 1973 por I.J. Danziger. Se calculará la temperatura y la densidad de electrones con las razones de las líneas [OIII] y [OII] respectivamente, y se analizará brevemente la estimación de estos dos parámetros.

2. OBSERVACIONES

Las observaciones de Sh 288 fueron hechas por I.J. Danziger en la noche del 9/10 abril de 1973, en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, con un espectro-fotómetro de dos canales.

Todas las mediciones se hicieron sobre la parte central de este objeto, con un diafragma de entrada de $17'' \times 34''$ segundos de arco, sin incluir el objeto en su totalidad.

La observación del continuo del espectro se hizo en el rango de 3500 a 8100 Å , midiéndose 9 puntos del continuo con una rendija de 20 Å . El flujo de los puntos del continuo medido, corregidos por extinción atmosférica, están dados en la Tabla 2.1 y representados en la figura 2.1.

En dicha tabla, la primera columna representa el valor recíproco de la longitud de onda en μ^{-1} y la segunda columna, el logaritmo en base 10 del flujo del continuo F_c .

TABLA 2.1.

Continuo observado, corregido por extinción atmosférica

$1/\lambda (\mu^{-1})$	$\log F_c (\text{erg cm}^{-2} \text{seg}^{-1})$
1.235	-24.025
1.350	-24.045
1.440	-24.120
1.600	-24.185
1.860	-24.340
2.070	-24.400
2.370	-24.540
2.780	-24.601
2.820	-24.595

Cuando se mide el flujo de una línea de emisión, lo que se mide realmente es el flujo de la línea más el continuo, más la contribución de la estrella central; análogamente al medir el continuo, lo que se mide es el flujo del continuo más la contribución en la estrella central (o estrellas dado el caso).

Las líneas de emisión se midieron con rendijas de 20 y 40 Å , dependiendo de la línea observada, con excepción de $H \alpha$, que es muy ancha y para la cual se usó una rendija de 80

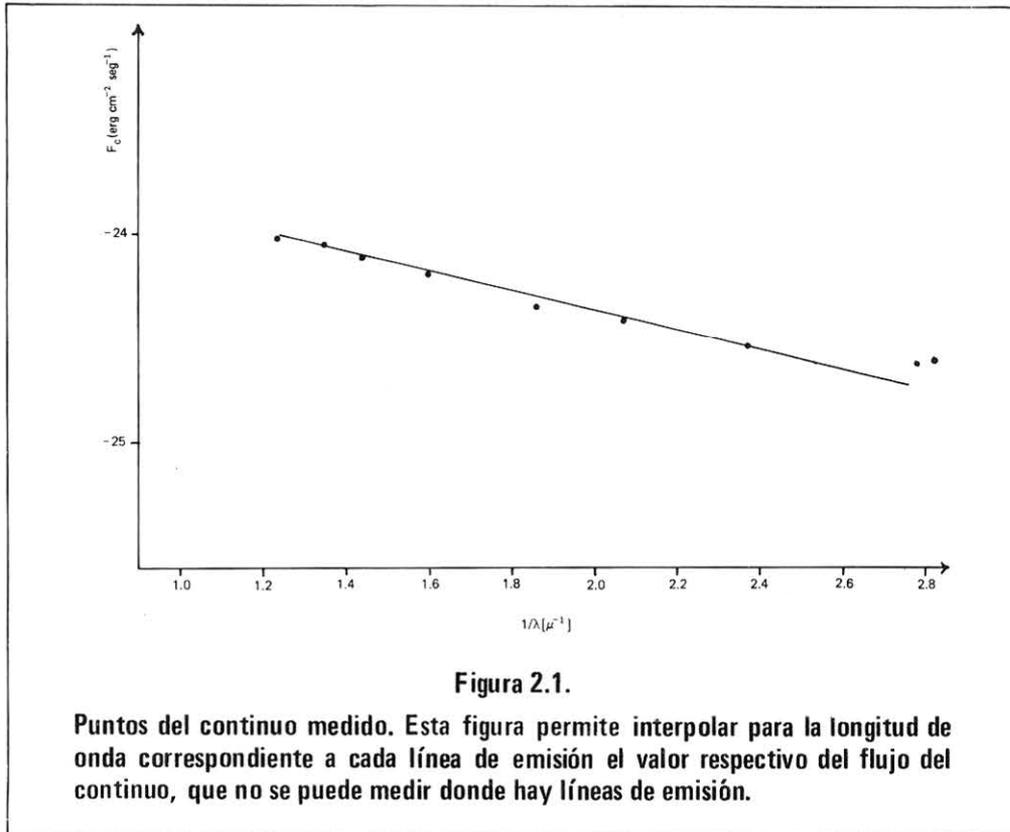


TABLA 2.2.

Elemento	λ	$\log F_{\ell+c}$	corrección	$\log F_c$	$\log F_{\ell}$
[O II]	3728	-23.876	12.635	-24.670	-11.317
He I	3889	-24.459	12.595	-24.620	-12.373
H σ	4101	-24.441	12.553	-24.560	-12.508
H γ	4340	-24.194	12.503	-24.490	-11.997
[O III]	4363	-24.484	12.499	-24.490	-13.848
He I	4471	-24.453	12.478	-24.700	-13.391
He II	4686	-24.403	12.438	-24.430	-13.185
H β	4861	-23.799	12.405	-24.400	-11.519
[O III]	5007	-23.635	12.379	-24.380	-11.342
[O I]	5577	-24.175	12.286	-24.280	-12.557
He I	5876	-24.085	12.250	-24.230	-12.382
[O I]	6364	-24.138	12.472	-24.170	-12.815
H α	6562	-23.229	12.737	-24.140	-10.549
He I	6678	-24.088	12.430	-24.140	-12.606
[S II]	6724	-23.878	12.424	-24.130	-11.810
He I	7065	-24.029	12.382	-24.090	-12.530
[O II]	7326	-23.906	12.350	-24.070	-12.058

H α está contaminada por el doblete del [N II]

Å. Las unidades de los flujos del continuo y de las líneas de emisión son $\text{erg cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$

La Tabla 2.2., da los valores obtenidos de las líneas de emisión, corregidas por extinción atmosférica. En esta tabla, la primera columna representa la identificación del elemento

químico que produce la línea; la segunda, la longitud de onda de la línea en Å, la tercera columna $F_{\lambda+c}$, la cuarta el logaritmo de la reducción al sistema absoluto, la quinta y sexta columna F_c y el logaritmo del flujo de la línea de emisión, después de eliminar el efecto del continuo y de reducir al sistema absoluto, respectivamente; donde se ha llamado $F_{\lambda+c}$, al flujo de la línea de emisión más el continuo, más la contribución de la estrella central, y F_c el flujo del continuo más la contribución de la estrella central.

3. CORRECCION POR EXTINCION INTERESTELAR

La extinción interestelar es la pérdida de intensidad, acompañada por un enrojecimiento de la luz emitida por un cuerpo al pasar a través de la materia interestelar que existe entre el cuerpo y un observador.

Para corregir las líneas de emisión de Sh 288, por los efectos del enrojecimiento, se usará la ley de extinción de Whitford (1948), ecuación (3.1).

$$\text{Log } F_{co}(\lambda) = \text{log } F_{ob}(\lambda) + c [1 + f(\lambda)] \quad (3.1.)$$

donde F_{co} es el flujo corregido por extinción interestelar, F_{ob} es el flujo observado y c es una constante que depende de la cantidad de materia interestelar existente entre nosotros y el objeto que se estudia.

Los valores de $f(\lambda)$, Burgers (1958), usados en la ecuación (3.1.), son los tabulados por Osterbrock (1974) o Kaler (1976).

Antes de hacer la corrección de las líneas de emisión con la ecuación (3.1.) es necesario determinar la constante c de extinción.

Para determinar c , se usa el decremento de Balmer: la razón entre las intensidades de dos líneas de la serie de Balmer del hidrógeno, ecuación (3.2.). Las razones que usaremos en este trabajo estarán todas referidas a la línea $H\beta$.

$$\frac{I_{\lambda}}{I_{H\beta}} = \frac{I_{\lambda_{ob}}}{I_{H\beta_{ob}}} \cdot 10^{-c[f(\lambda) - f(H\beta)]} \quad (3.2.)$$

En la ecuación (3.2.), I_{λ} representa la intensidad teórica de la línea que se usará, y $I_{H\beta}$ es también la intensidad teórica de la línea $H\beta$ (Brocklehurst, 1971). $I_{\lambda_{ob}}$ y $I_{H\beta_{ob}}$ representan respectivamente la intensidad de las líneas y la intensidad de la línea $H\beta$ observadas.

Los decrementos que se calcularon son: $H\alpha/H\beta$, $H\gamma/H\beta$, $H\delta/H\beta$. Para la intensidad teórica de éstos, se supuso una temperatura de electrones de $T_e = 10^4$ K y una densidad de electrones de $N_e = 10^4 \text{ cm}^{-3}$ (ver capítulo V), Brocklehurst (1971).

En la determinación de c sólo se usó el decremento $H\gamma/H\beta$, ya que la línea $H\alpha$ está contaminada por la línea de emisión [N II] de $\lambda 6561 \text{ \AA}$, y el flujo $H\delta$ está contaminado por la presencia de la línea [N II] en los 4097 \AA .

Es interesante aclarar que esta contaminación del nitrógeno, no es muy fuerte para este objeto.

Con el decremento $H\gamma/H\beta$ se determinó para la constante de enrojecimiento interestelar un valor de $c = 1.1 \pm 0.1$.

Con este valor de c , y la ecuación (3.1) se corrigen todas las líneas de emisión por los efectos de enrojecimiento. En la Tabla 3.1, la tercera columna contiene los valores del flujo de la línea de emisión corregidos por extinción interestelar, F_{λ}^* .

TABLA 3.1.

Elemento	γ	$\log F_{\lambda}$	$\log F_{\lambda}^*$
[O II]	3728	-11.317	- 9.880
He I	3889	-12.373	-10.983
H δ	4101	-12.508	-11.184
H γ	4340	-11.997	-10.747
[O III]	4363	-13.848	-12.605
He I	4471	-13.391	-12.177
He II	4686	-13.185	-12.036
H β	4681	-11.519	-10.419
[O III]	5007	-11.342	-10.281
[O I]	5577	-12.557	-11.639
He I	5876	-12.382	-11.530
[O I]	6364	-12.815	-12.066
H $_{\alpha}$	6562	-10.549	- 9.836
He I	6678	-12.606	-11.915
[S II]	6724	-11.810	-11.126
He I	7065	-12.530	-11.903
[O II]	7326	-12.058	-11.471

F_{λ}^* , flujo corregido por extinción interestelar

4. CALCULO DE LA TEMPERATURA Y DENSIDAD DE ELECTRONES

Con las líneas de emisión corregidas, por los efectos de la extinción interestelar, tabla 3.1, se calcula la temperatura de electrones T_e , y la densidad de electrones N_e , usando las razones de las líneas de emisión $\lambda(5007)/\lambda(4363)$ del [O III], sensitiva principalmente a la temperatura de electrones, ecuación 4.1 y $\lambda(3727 + 3729) / \lambda(7319 + 7324)$ del [O II], que es sensitiva a la temperatura y densidad de electrones, ecuación 4.2.

$$\frac{I(\lambda 5007)}{I(\lambda 4363)} = \frac{7.2 e^{32970/T_e}}{(1 + 0.063x)} \quad (4.1.)$$

con $x = 10^{-2} N_e/T_e^{1/2}$

$$\frac{I(\lambda 3727) + (\lambda 3729)}{I(\lambda 7319) + (\lambda 7324)} = \frac{5.5 [1 + 0.36\epsilon + 5.3x (1 + 0.82\epsilon)]}{\epsilon [1 + 13.8x (1 + 0.38\epsilon) + 38.4x^2(1 + 0.78\epsilon)]} \quad (4.2.)$$

con $\epsilon = e^{-19600/T_e}$ y $x = 10^{-2} N_e/T_e^{1/2}$

estas ecuaciones fueron deducidas por Seaton (1974) y Aller y Czyzak (1968), respectivamente.

El criterio de cálculo de estos parámetros es el siguiente: en la ecuación 4.1. se asume una densidad de electrones de $N_e = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, resolviendo entonces esta ecuación, para la incógnita T_e (esto es debido a que la ecuación 4.1 es poco sensible a N_e). Con el valor de T_e obtenido por la ec. 4.1, se calcula la densidad de electrones, usando la ecuación 4.2.

Con este valor de N_e deducido de 4.2 se vuelve a calcular T_e con la ecuación 4.1. Todo este proceso continúa en forma sucesiva (modo iterativo) hasta que los valores de T_e y N_e no sufran ninguna variación. (Para resolver estas ecuaciones, se usó el computador IBM 370 de la Universidad de Santiago de Chile).

Los resultados obtenidos con la aplicación de este criterio son:

$$\begin{aligned} \text{Te} &= 8990 \pm 100\text{k} \\ \text{Ne} &= 322 \pm 20 \text{ cm}^{-3} \end{aligned}$$

5. DISCUSION

Antes de obtener los resultados de Te y Ne, dados en el capítulo IV, se hizo una primera estimación de estos parámetros, para lo cual se consideró en el cálculo del decremento de Balmer, una densidad de electrones de 10^4 cm^{-3} y una temperatura de electrones de $2 \times 10^4 \text{ K}$. Con la suposición anterior, se determinó una constante de extinción estelar $c = 1.32$.

Usando el mismo criterio de cálculo del capítulo IV, los valores que se obtienen de Te y Ne fueron $\text{Te} = 9200\text{k}$ y $\text{Ne} = 679\text{cm}^{-3}$. Debido a que el modelo teórico usado en este caso supone un $\text{Te} = 2 \times 10^4\text{k}$, y el resultado obtenido de Te es aproximadamente 10.000 k menor que el supuesto, variamos el modelo, y se calculó el decremento usando para las intensidades teóricas del Hidrógeno una temperatura de 10^4k . El resultado de esto está dado en los capítulos III y IV.

En principio Sh288 se podría clasificar, según el criterio de Monnet (1971), como una región HII de clase I: región HII, pequeña, condensada, ionizada por un campo de radiación de estrellas calientes. Formaría parte de los objetos de pequeñas dimensiones ($10'' - 30''$) que tienen densidad de electrones $\text{Ne} \geq 3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$. Pero la baja densidad de electrones determinada en Sh 288 dificulta esta clasificación.

La Tabla 5.1. compara la temperatura y la densidad de electrones de Sh 288, con otras regiones HII.

TABLA 5.1.

Nebulosa	Te (k) O III	Ne (cm^{-3}) O II	Ref.
IC 434	<3500		2
NGC 7000	~8000		2
NGC 1976 (ORION)	8600	100-3162	1
M20 (TRIFID)	---	100- 200	1
M8 (LAGOON)	8300	100-1000	1
Sh 288	8990	322	3
M17 (OMEGA)	9000		1
W49	~10000	430	2
ORION A	~10000	2500	2

REFERENCIAS

1. Awatt (1976)
2. Churchwell (1974)
3. en este trabajo

De esta tabla se puede apreciar que la temperatura y densidad de electrones están dentro de los rangos estimados para una región HII.

Debido a las características de Sh288, como una región HII compacta, y de baja densidad de electrones, analizamos el comportamiento de los parámetros Te, Ne, en función del logaritmo de la razón de [OIII] y logaritmo de Te, respectivamente, figuras 5.1 y 5.2.

De la figura 5.1. se puede apreciar que se hizo una buena determinación de Te y Ne, ya que la posición de Sh288 está muy cerca de la línea teórica que ocupan las regiones HII de baja densidad.

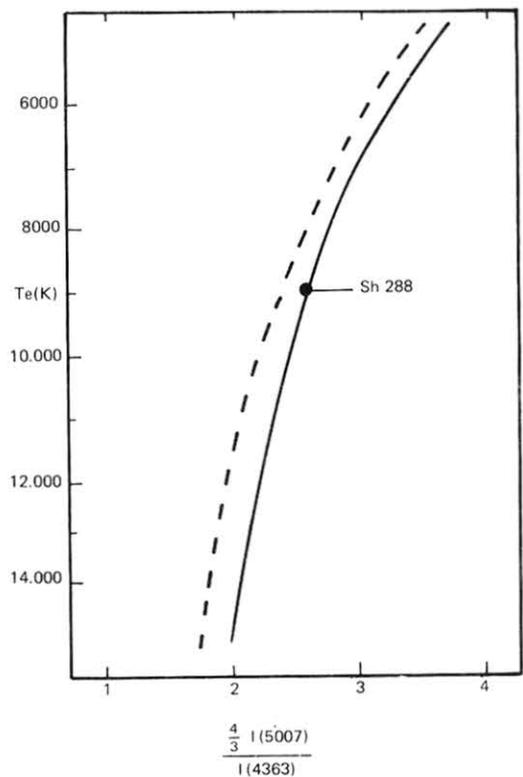


Figura 5.1. T_e en función de la razón de [O III]. La línea continua se refiere al límite de baja densidad, $N_e \leq 10^4 \text{ cm}^{-3}$. La línea punteada representa a una densidad de $N_e \approx 10^5 \text{ cm}^{-3}$.

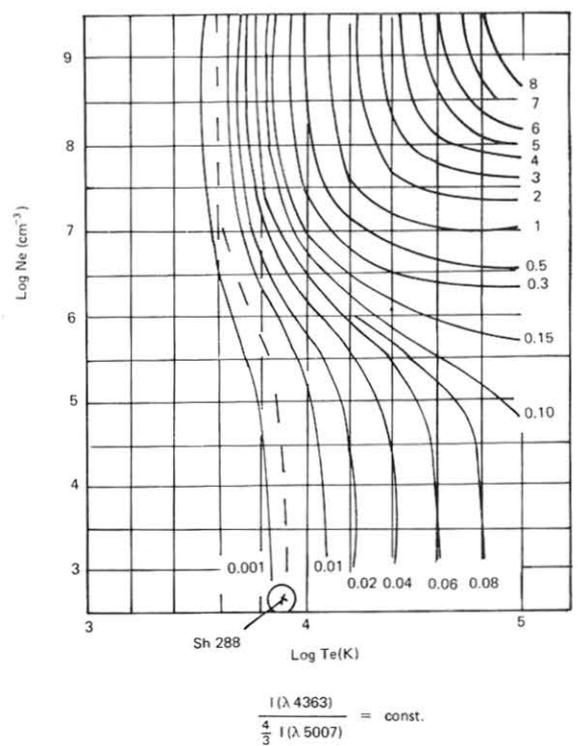


Figura 5.2. $\text{Log } N_e$ en función de $\text{log } T_e$, para una razón de [O III] constante.

La figura 5.2 muestra un muy buen acuerdo de los valores de Ne y Te deducidos en este trabajo. La línea punteada, representa la razón teórica del [OIII], I ($\lambda 4363$)/ I ($\lambda 4959$) + I ($\lambda 5007$) = 0.003.

La razón constante del [OIII], deducida en este trabajo es de 0.0036. El círculo representa la posición que ocupa Sh288, en el diagrama log Ne versus log Te.

Todo lo anterior muestra un buen acuerdo entre los análisis teóricos y lo deducido a partir de la observación de Sh288. Debido a que Sh288 es un objeto compacto, y que además las observaciones se hicieron sobre su parte central, no se registraron los $\lambda 5755$ y $\lambda 6561$ del [NII]. Las líneas de [NII] son generalmente débiles y tienden a predominar en la periferia nebulosa, donde la ionización es bastante débil.

En resumen, Sh288 es una región H II compacta de una temperatura de electrones Te (O III) = 8990 K, y de baja densidad de electrones, Ne (O II) = 322 cm^{-3} . No se tiene registro o información de la fuente que ioniza esta nebulosa, de modo que la naturaleza de este objeto aún no es clara.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. John Danziger, quien nos proporcionara los datos originales de Sh288, lo cual contribuye a nuestra estadística de análisis de regiones H II.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLER, L.H., CZYZAK, S.S., 1968, IAU Symposium 34, 209.
2. AWATT, E.H., 1976, editor, Frontiers of Astrophysics, Harvard University Press.
3. BROCKLHURST, 1971, M.N.R.A.S., 153, 471.
4. BURGISS, A., 1958, M.N. R.A.S., 118, 477.
5. CHURCHWELL, E., 1974, comunicación privada.
6. KALER, J.B., 1976, Ap. J. Suppl. 31, 517.
7. MONNET, G., 1971, Astron. Astrophys. 12, 379.
8. OSTERBROCK, D.E., 1974, Astrophysics of Gaseous Nebulae, W.H. Freeman and Co., San Francisco.
9. SEATON, M.J., 1974, Cl. Jl. R.A. Soc. 15, 370.
10. SHARPLESS, S., 1959, Ap. J. Suppl. 4, 257.
11. WHITFORD, A.E., 1948, Ap. J. 107, 102.