Asociación Argentina de Astronomía
BAAA, Vol. 53, 2010
J.J. Clariá, M.V. Alonso, A.E. Piatti & F.A. Bareilles, eds.

PRESENTACIÓN MURAL

Determinación espectroscópica de parámetros fundamentales de 18 cúmulos abiertos de pequeño diámetro angular

A. Benítez-Llambay[1], A. E. Piatti[2,3], J. J. Clariá[1,3], T. Palma[1,3] & A. V. Ahumada[1,3,4]

(1) Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba
(2) Instituto de Astronomía y Física del Espacio, Buenos Aires
(3) CONICET
(4) European Southern Observatory, Santiago, Chile

Abstract. Following specific criteria, we have carefully selected objects catalogued as galactic open cluster candidates. Out of a total of 58 small angular diameter selected objects without previous studies, we obtained integrated spectra of 18 of them at CASLEO (San Juan, Argentina). Using a computational tool specially developed for the analysis of integrated spectra, reddenings and ages of the observed clusters were determined for the first time.

Resumen. Hemos realizado una cuidadosa selección de objetos catalogados como candidatos a cúmulos abiertos galácticos siguiendo criterios específicos. De un total de 58 objetos de pequeño diámetro angular seleccionados sin estudios previos, hemos obtenido espectros integrados de 18 de ellos en el CASLEO (San Juan, Argentina). Utilizando una herramienta computacional específicamente desarrollada para el análisis de espectros integrados, hemos determinado por primera vez enrojecimientos y edades de los cúmulos observados.

1. Introducción

Los cúmulos estelares pueden considerarse verdaderas unidades de población estelar, caracterizadas por una determinada edad y composición química. Esto es así sencillamente porque sus estrellas se formaron a partir de la misma nube de gas primigenia, aproximadamente al mismo tiempo. La determinación de parámetros fundamentales de cúmulos abiertos (CAs), tales como enrojecimiento, distancia, edad y metalicidad, es importante para comprender mejor la estructura y la evolución química del disco galáctico, ya que los CAs son excelentes trazadores de la historia de esta componente galáctica. La espectroscopía integrada ha mostrado ser una técnica particularmente útil y expeditiva para determinar enrojecimientos y edades de CAs de pequeño diámetro angular (e.g., Ahumada et al. 2007), siendo más eficiente esta técnica cuanto más pequeño es el cúmulo.

2. Enrojecimientos y edades a partir de espectroscopía integrada

Cuando la radiación proveniente de una estrella atraviesa el medio interestelar, el mismo la extingue selectivamente, de manera que:

$$\log(F_\lambda/F_{0\lambda}) = -0{,}4\xi_\lambda E(B-V), \tag{1}$$

en la cual F_λ y $F_{0\lambda}$ representan el flujo observado e intrínseco de la estrella, ambos normalizados en una determinada longitud de onda, $E(B-V)$ es el exceso de color y ξ_λ la curva de extinción media de nuestra Galaxia. En el marco de la espectroscopía integrada y, bajo ciertas hipótesis, $F_{0\lambda}$ queda determinado por algún espectro patrón. La determinación del enrojecimiento se basa entonces en encontrar el valor de $E(B-V)_j$, de manera que el flujo observado $F_{j\lambda}$, afectado por este $E(B-V)_j$, sea igual al flujo $F_{0k\lambda}$ de un determinado espectro patrón k. De este modo, se construye la siguiente sucesión:

$$\begin{aligned} F_\lambda &= F_{0k\lambda}10^{-0{,}4\xi_\lambda E(B-V)} \\ F_{1\lambda} &= F_\lambda 10^{-0{,}4\xi_\lambda E(B-V)_1} \\ F_{2\lambda} &= F_\lambda 10^{-0{,}4\xi_\lambda E(B-V)_2} \\ &\vdots \\ F_{N\lambda} &= F_\lambda 10^{-0{,}4E\xi_\lambda (B-V)_N} \end{aligned} \tag{2}$$

La determinación de la combinación más probable entre el espectro patrón y el enrojecimiento tiene entonces dos grados de libertad (j y k). No obstante ello, dada la naturaleza del problema, es posible fijar k y variar j hasta lograr que $F_{j\lambda} \sim F_{0k\lambda}$. En este contexto, la combinación de los valores de j y k más adecuados al problema en cuestión se encuentra minimizando la siguiente suma cuadrática de los residuos normalizada:

$$\chi^2(E(B-V)_j; F_{0k}) = \chi^2_{jk} = \sum_{i=1}^{m} \frac{(F_j(\lambda_i) - F_{0k}(\lambda_i))^2}{F_{0k}(\lambda_i)} \tag{3}$$

Para que el enrojecimiento resulte bien definido, imponemos además la condición de que $E(B-V)_j < 0$. De esta manera, si el ajuste entre el espectro observado y el patrón es suficientemente bueno, el enrojecimiento resultante para el cúmulo será positivo, siendo su valor $E(B-V) = \text{-}E(B-V)_j$, en tanto que la edad más probable será la asociada a la del *k-ésimo* patrón. Este procedimiento se ilustra en la Fig. 1.

En el presente estudio hemos aplicado el procedimiento descripto, esto es, hemos encontrado, para cada espectro integrado, la combinación de j y k que minimiza la función χ^2. La condición impuesta de que $E(B-V)_j$ debe ser negativo, asegura que el exceso de color $E(B-V)$ resultante está bien definido.

3. Observaciones espectroscópicas y resultados

Los 18 CAs seleccionados en el presente trabajo tienen diámetros aparentes típicamente menores que $3'$ y prácticamente no registran estudios previos, por lo

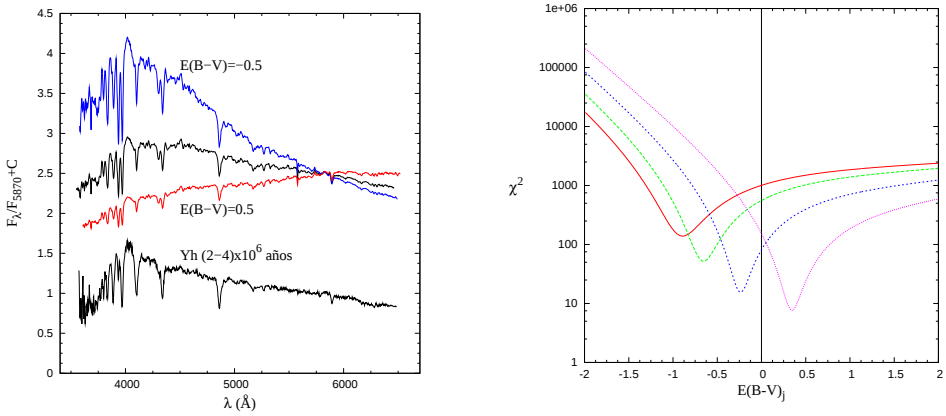


Figura 1. (*Izquierda*) Espectro integrado típico de un cúmulo abierto desafectado por distintos valores de $E(B-V)$, comparado con un espectro patrón de $(2-4)\times 10^8$ años. *(Derecha)* Variación de χ^2 en función de $E(B-V)_j$ para diferentes espectros patrones, o bien distintos valores de k.

que los valores del enrojecimiento y la edad acá determinados son los primeros en su especie. Las observaciones se realizaron en el Complejo Astronómico el Leoncito (CASLEO, San Juan, Argentina) en febrero de 2010, utilizando el telescopio *Jorge Sahade* de 2.15 m, en combinación con el espectrógrafo *REOSC* en el modo de dispersión simple. Los espectros tienen una resolución de $\sim$ 14 Å y cubren aproximadamente el rango espectral $(3500-7000)$ Å. La reducción de los datos se realizó en la manera usual usando el paquete *IRAF* (distribuido por NOAO, operado por AURA en convenio con NSF). La edad adoptada para cada cúmulo corresponde entonces a la del *k-ésimo* espectro patrón que mejor ajusta la distribución observada. Es decir, esta edad corresponde a la de un patrón k tal que, cuando se corrige el espectro observado por $E(B-V)_j$, el flujo residual definido como $\frac{F_{j\lambda}-F_{0k\lambda}}{F_{0k\lambda}}$ es suficientemente plano y cercano a cero en el intervalo de longitudes de onda considerado. El análisis se llevó a cabo utilizando un código computacional especialmente desarrollado para minimizar la función χ^2 (Benítez-Llambay et al. 2011). El enrojecimiento $E(B-V)_j$ resultante proviene de utilizar la ley de extinción de Seaton (1979). A manera de ejemplo, en la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos para el caso particular del CA ESO 332-11.

Los valores preliminares del enrojecimiento y la edad de los 18 cúmulos del presente estudio se presentan en la Tabla 1. Los errores asociados vienen dados por los tamaños de los intervalos en $E(B-V)$ barridos. El error típicamente asociado al enrojecimiento es $\Delta E(B-V) = \pm 0{,}02$. Los espectros patrones utilizados en las respectivas comparaciones han sido tomados de las bases de espectros patrones de Piatti et al. (2002) y Ahumada et al. (2007).

4. Conclusiones

Hemos desarrollado una herramienta computacional que permite sistematizar y automatizar la determinación de enrojecimientos y edades de CAs de pequeño diámetro angular observados con la técnica de espectroscopía integrada. May-

Tabla 1. Primeras determinaciones de enrojecimiento y edad (en millones de años) para los cúmulos observados.

Nombre	$E(B-V)$	Edad	Nombre	$E(B-V)$	Edad
Alessi 14	0.04	500	ESO 260-SC6	0.55	1000-4000
Alessi 15	0.07	1000	ESO 371-SC25	1.04	5-10
Alessi 16	0.26	1000-4000	ESO 211-SC09	0.87	3000-4000
Ruprecht 150	0.37	2000	vdB-Hagen 72	0.05	500
Ruprecht 14	0.46	4000	ESO 315-SC14	0.06	500
Ruprecht 17	0.11	500	ESO 502-SC19	0.02	1000
Ruprecht 38	0.05	1000	Lynga 4	0.63	1000
NGC 2459	0.01	1000	ESO 277-SC04	0.09	1000
ESO 313-SC03	1.00	1000-4000	ESO 332-11	0.36	5-10

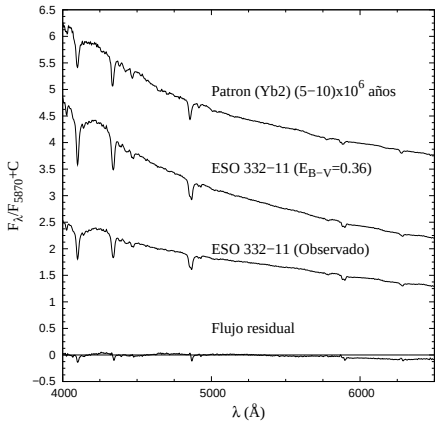


Figura 2. Espectro integrado del cúmulo abierto ESO 332-11 observado y corregido por *E(B-V)*=0.36 (*medio*), espectro patrón Yb2 de Piatti et al. 2002 (*arriba*) y flujo residual resultante (*abajo*).

ores detalles sobre este *software* pueden verse en Benítez-Llambay et al. (2011). Usando esta herramienta y algunas librerías de espectros patrones existentes en la literatura, hemos determinado enrojecimientos y edades de 18 CAs de pequeño diámetro angular, de características hasta el presente prácticamente desconocidas. Doce de estos 18 CAs tienen edades comprendidas entre 10^9 y $4x10^9$ años, lo que los hace particularmente interesantes para futuros trabajos de investigación. Los resultados preliminares acá presentados, juntamente con otros obtenidos para una muestra considerablemente mayor de CAs observados en el CASLEO, permitirán examinar algunas propiedades globales de los CAs en distintos sectores de la Vía Láctea.

Referencias

Ahumada A.V., Clariá J.J., Bica E., 2007, A&A, 473, 437
Benítez-Llambay, A., Piatti, A.E., Clariá, J.J., 2011, en preparación
Piatti A.E., Bica, E., Clariá J.J. et al., 2002, MNRAS, 335, 233
Seaton M.J., 1979, MNRAS, 187, 73