

PRESENTACION MURAL

Últimos resultados en el análisis evolutivo del cúmulo abierto NGC 2527

F. Lovos¹, J. F. González^{2,3} & M. E. Veramendi^{2,3}

(1) *Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba*

(2) *Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET)*

(3) *Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), Argentina*

Abstract. We present a spectroscopic analysis of 13 ($V < 11$) stars in the open cluster NGC 2527. We carried out a study of radial velocity variability and kinematic membership of the observed stars. One of members is a blue straggler, for which we discuss possible formation scenarios. Furthermore, using the SPM4 catalog we perform a star count in order to determine the Initial Mass Function and to estimate the stellar mass loss in the cluster.

Resumen. Se presenta un análisis espectroscópico para 13 estrellas ($V < 11$) en el campo del cúmulo abierto NGC 2527. Analizamos variabilidad en velocidad radial y probabilidad cinemática de pertenencia al cúmulo. Se discuten los posibles escenarios de formación para un *blue straggler* miembro del cúmulo. Por último, el análisis de la función de masas ha revelado escasez de estrellas de baja masa en el cúmulo.

1. Observaciones espectroscópicas y velocidades radiales

Se presentan observaciones espectroscópicas de 13 estrellas brillantes en el cúmulo abierto austral NGC 2527 ($\alpha_{2000} = 08^{\text{h}} 04^{\text{m}} 58^{\text{s}}$, $\delta_{2000} = -28^{\circ} 08'48''$). Este cúmulo es interesante desde el punto de vista evolutivo ya que en él se presentan evidencias de diferentes procesos que tienen lugar simultáneamente en los sistemas estelares: evolución estelar, evolución dinámica, evolución orbital de binarias y generación de *blue stragglers* (BSs) por interacciones dinámicas. Este último es el caso de su estrella más brillante, la 213 (Ahumada & Lapasset 2007)

Se obtuvieron 148 espectros entre los años 2000 y 2011 con el espectrógrafo echelle REOSC del CASLEO. Los mismos se procesaron de manera estándar usando el programa IRAF. Las velocidades radiales (VRs) se midieron usando correlaciones cruzadas (Tonry & Davis 1979) y un método de separación espectral (González & Levato 2006). Para esto se utilizaron templates sintéticos de las bases de datos BLUERED (Bertone et al. 2008) y POLLUX (Palacios et al. 2010), los cuales se convolucionaron con perfiles rotacionales teniendo en cuenta el ensanchamiento de las líneas espectrales.

2. Análisis de variabilidad y pertenencia al cúmulo

Las velocidades medias obtenidas para cada estrella y su error ϵ se listan en la Tabla 1. En los objetos clasificados como sistemas binarios de doble línea (SB2), se consigna la velocidad del centro de masas. La columna 4 da el cociente entre el error externo ϵ_2 correspondiente a la dispersión de las observaciones y el error interno de las medición ϵ_1 . La variabilidad fue evaluada mediante la probabilidad $P(\chi^2)$ calculada de la misma manera que en [González & Lapasset \(2000\)](#). Se clasificó como variable a una estrella cuando la probabilidad de que su VR sea constante fue $P(\chi^2) < 1\%$. La clasificación de las estrellas 14, 156 y 160, que poseen sólo dos mediciones, debe ser considerada como provisoria.

Tabla 1. VRs medias y variabilidad y pertenencia cinemática.

Obj.	VR km/s	ϵ km/s	ϵ_2/ϵ_1	n	$P(\chi^2)$ (%)	var	σ km/s	$\frac{VR-VR_c}{\sigma}$ km/s	Mem.
10	40.9	0.5	1.2	6	35.7	cte	1.2	-0.0	m
14	39.3	7.7	0.5	2	88.6	cte	7.8	-0.2	m
16	41.5	0.7		21		SB2	1.3	0.4	m
28	-3.1	0.8		21		SB2	1.3	-34.5	m
43	33.0	16.3	11.9	5	0	var	16.1	-0.5	m
44	39.4	2.9	0.8	4	77.2	cte	3.1	-0.5	m
48	45.3	2.6	0.8	11	80.1	cte	2.8	1.6	m
57	39.9	1.1	0.4	7	99.6	cte	1.5	-0.7	m
63	41.2	0.8	0.5	15	99.9	cte	1.3	0.2	m
156	44.3	3.9	0.1	2	99.9	cte	4.0	0.8	m
160	40.7	4.6	0.2	2	98.3	cte	4.7	-0.1	m
203	40.6	0.5	1.5	6	9	cte	1.1	-0.4	m
213	41.5	0.7		46		SB2	1.3	0.4	no-m

Se calculó la velocidad media del cúmulo promediando las velocidades de todas estrellas excepto la 28 y la 43, obteniéndose $VR_c = +41.0 \pm 0.1$ km/s. Para el análisis de pertenencia cinemática se asumió que la función densidad de probabilidad de pertenencia sigue una distribución gaussiana con un ancho σ , el cual incluye la dispersión de velocidades dentro del cúmulo (1 km/s), el error debido al cálculo del promedio del cúmulo, y la incerteza del promedio de la VR de cada estrella. Se consideró miembro a un objeto cuando la diferencia entre su VR y la media del cúmulo fue menor a 2σ (Tabla 1).

En el caso de los SB2, se obtuvieron sus parámetros orbitales mediante el ajuste de las curvas de VR. El sistema 16 presentó una órbita circular y una razón de masas $q \approx 0.94$, mientras que el BS binario 213 tiene una órbita elíptica ($e = 0.406 \pm 0.002$) y una $q \approx 0.49$. El sistema 28 no sería miembro del cúmulo, ya que su VR media (-3 km/s) es muy diferente de la del cúmulo ($+41$ km/s).

3. Discusión

3.1. Escenarios de formación de la BS 213

Es un sistema binario cuya primaria es un BS, ya que presenta una edad aparente de 280 millones de años, considerablemente más joven que el cúmulo (~ 630 millones de años). En principio, su carácter de binaria sugiere un escenario de transferencia de masa en el que la primaria podría estar acretando masa de la secundaria, la cual estaría llenando su lóbulo de Roche. En la Figura 1 se muestran los radios calculados para el lóbulo crítico de la secundaria (R_{LB}) en función de q y el semieje mayor a de la órbita. Puede verse que para que el radio de la secundaria sobrepase el R_{LB} y pueda comenzar a transferir masa, ésta debería haber sido una estrella gigante ($18 - 30 R_{\odot}$). Esto no se condice con los parámetros estimados ($R_B \sim 1.8R_{\odot}$), particularmente la baja luminosidad de la secundaria. Por otra parte, en este escenario la órbita se hubiera circularizado rápidamente por efectos de marea (Claret & Cunha, 1997), lo cual está en desacuerdo con la excentricidad observada ($e = 0.406$). Por lo tanto, consideramos probable que la BS 213 se haya originado dinámicamente, como resultado de la interacción de una binaria con una estrella simple (u otra binaria). De acuerdo con este escenario - avalado por las simulaciones numéricas de [Portegies Zwart et al. \(2001\)](#) y [Portegies Zwart et al. \(2004\)](#) - la primaria actual sería el resultado de la fusión de las componentes de la binaria original.

3.2. Evolución dinámica del cúmulo

Se realizó un recuento de estrellas en la región del cúmulo usando los datos del catálogo SPM4. Se determinó la distribución de estrellas por intervalos de masa, que posteriormente se comparó con la faunción de masa inicial de [Kroupa \(2001\)](#) para determinar el grado de evolución dinámica del cúmulo. Como resultado se obtuvo un radio de 0.45° (≈ 5 pc) y un total de 125 estrellas para el cúmulo, de las cuales más de la mitad tienen masas mayores a $1 M_{\odot}$. La masa actual del cúmulo sería de aproximadamente $168 M_{\odot}$. Del ajuste de la función de masas (Fig. 2) se estimó una cantidad inicial de estrellas de aproximadamente 3500, que corresponden a una masa total inicial del cúmulo de $1550 M_{\odot}$. Por lo tanto, actualmente el cúmulo habrá perdido cerca del 90 % de su masa inicial, mostrando una escasez de estrellas de baja masa. Este escenario podría haberse visto favorecido por una segregación de masa previa en el cúmulo, lo que habría llevado a que estrellas menos masivas se encuentren en los límites del cúmulo y se vean más afectadas por el campo de marea externo de la Galaxia. De acuerdo a los modelos evolutivos de [Portegies Zwart et al. \(2004\)](#), la tasa de pérdida de masa por evaporación de estrellas es lineal con el tiempo ($\sim 1 M_{\odot}/10^6$ años). Considerando esta tasa de pérdida y la masa actual del cúmulo, puede especularse que éste se disolvería en aproximadamente 130×10^6 años.

4. Conclusiones

De las 13 estrellas estudiadas 12 resultaron ser miembros del cúmulo. Entre ellas 3 serían binarias espectroscópicas (objetos 16, 43 y 213). El SB2 16 presenta una órbita circular con un período de 6.43 días. La escala de tiempo estimada

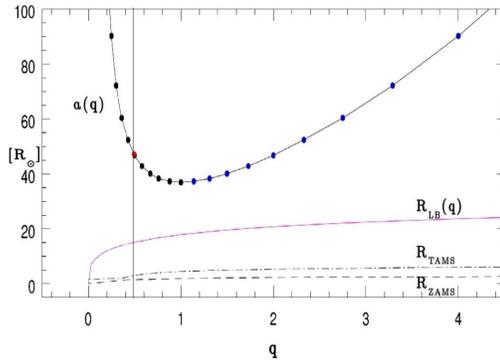


Figura 1. Posibles configuraciones para el sistema 213. Se muestra en función de la razón de masas el radio del lóbulo crítico de la secundaria (R_{LB}) el semieje orbital y, a modo comparativo, los radios correspondientes a la secuencia principal de edad cero (ZAMS) y la secuencia principal terminal (TAMS).

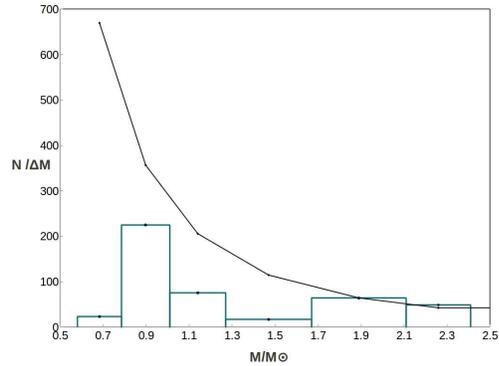


Figura 2. Histograma de número de estrellas por unidad de intervalo de masa. En negro se muestra la IMF ajustada al cúmulo.

para su circularización ($\tau_{\text{circ}} \sim 10^8$ años) es consistente con la edad del cúmulo, lo que indicaría que es una binaria primordial. Por el contrario, el BS 213 se habría formado por interacción dinámica de una binaria con una estrella simple (u otra binaria).

El contenido actual del cúmulo es de unas 125 estrellas, con una masa total de $\sim 168 M_{\odot}$, lo que representaría sólo el 10% de la masa original ($1500 M_{\odot}$ en 3500 estrellas).

Referencias

- Ahumada J. A., Lapasset E., 2007, *A&A*, 463, 789
 Bertone E., et al., 2008, *A&A*, 485, 823
 González J. F., Lapasset E., 2000, *AJ*, 119, 2296
 González J. F., Levato H., 2006, *A&A*, 448, 283
 Kroupa P., 2001, *MNRAS*, 322, 231
 Palacios A., et al., 2010, *A&A*, 516, A13
 Portegies Zwart S. F., et al., 2004, *MNRAS*, 351, 473
 Portegies Zwart S. F., et al., 2001, *MNRAS*, 321, 199
 Tonry J., Davis M., 1979, *AJ*, 84, 1511